



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DO CABO DE SANTO AGOSTINHO
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Júlio Cesar Feitosa Leite

Análise de risco para readequação de sistema de proteção contra descargas
atmosféricas em uma Indústria

Cabo de Santo Agostinho – PE

2024

Júlio Cesar Feitosa Leite

Análise de risco para readequação de sistema de proteção contra descargas atmosféricas em uma Indústria

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho da Universidade Federal Rural de Pernambuco para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientadora: Prof. Dra. Ana Vitoria de Almeida Macêdo.

Cabo de Santo Agostinho – PE

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Rosimeri Couto – CRB-4 1395

L533a Leite, Júlio Cesar Feitosa.

Análise de risco para readequação de sistema de proteção contra descargas atmosféricas em uma Indústria / Júlio Cesar Feitosa Leite. – Cabo de Santo Agostinho, 2024.

76 f.; il.

Orientador(a): Ana Vitoria de Almeida Macêdo..

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica Cabo de Santo Agostinho - UACSA, Bacharelado em Engenharia Elétrica, Cabo de Santo Agostinho, BR-PE, 2026.

Inclui referências e anexo(s).

1. Descargas atmosféricas. 2. NBR 5419:2015. 3. Aterramento elétrico. 4. SPDA - Projeto de instalação 5. Sobreensões. I. Macêdo., Ana Vitoria de Almeida, orient. II. Título

CDD 621.3

Júlio Cesar Feitosa Leite

Análise de risco para readequação de sistema de proteção contra descargas atmosféricas em uma Indústria

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho da Universidade Federal Rural de Pernambuco para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovado em: 19/12/2024

Banca Examinadora

Profa. Dra. Ana Vitória de Almeida Macêdo
Orientadora - UACSA - UFRPE

Profa. Dra. Élide Fernanda Xavier Júlio
Examinadora Interna - UACSA - UFRPE

Prof. Dr. Rodrigo de Paiva Cirilo
Examinador Interno - UACSA - UFRPE

Dedico este trabalho à *Rosilane Feitosa Gomes*, mãe batalhadora e dedicada; esta é a minha fonte de inspiração para superar as adversidades da vida, é meu lugar de paz e meu maior presente.

Também dedico à *Livia Raquel* e à *Zenon Neto*, por terem me acolhido e por sempre estarem ao meu lado me ajudando nos momentos difíceis desta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente a Deus, por ter me sustentado durante essa caminhada e cujas bençãos foram incontáveis.

A meu pai, *Jofre Lenildo Souza Leite*, pela sua dedicação incansável, pela educação que me proporcionou e por nunca ter permitido que me faltasse nada.

A minha irmã, *Layann Rafaella Feitosa Leite*, por ser minha companhia, fonte de alegria e amor.

A minha orientadora, *Ana Vitoria de Almeida Macêdo*, por sua disponibilidade, paciência e direcionamento ao longo do curso e durante a elaboração deste trabalho.

RESUMO

As descargas atmosféricas são um fenômeno natural impressionante e imprevisíveis. O impacto gerado por ela a uma estrutura, equipamento ou ser vivo é devastador. Graças ao avanço da tecnologia é possível compreender melhor esse fenômeno, investigar locais de maior incidência e até mesmo proteger-se. O Brasil hoje possui o mais elevado índice de incidência de descargas atmosféricas do mundo, com isso se torna mais necessário a instalação do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA), esse sistema é basicamente composto por três partes, o sistema de captação, sistema de descida e o sistema de aterramento. A proposta deste sistema é proteger a edificação e tudo que estiver em seu interior, direcionando a corrente elétrica, proveniente da descarga atmosférica, por um caminho de baixa resistência até o solo, anulando seus efeitos destruidores. A proposta do estudo aqui apresentado é apresentar um projeto de instalação de SPDA em uma indústria localizada na cidade de Jaboatão dos Guararapes – PE, avaliando seus fatores de risco, necessidade de proteção, método de proteção e outras informações que se fazem pertinentes, levando em consideração a norma NBR 5419 de 2015.

Palavras-chave: descargas -atmosféricas; NBR 5419:2015; sistema -proteção; SPDA.

ABSTRACT

Lightning strikes are an impressive and unpredictable natural phenomenon. The impact it generates on a structure, equipment or living being is devastating. Thanks to advances in technology, it is possible to better understand this phenomenon, investigate places with the highest incidence and even protect oneself. Brazil today has the highest rate of incidence of lightning strikes, making it more necessary to install a lightning protection system (SPDA), this system is basically made up of three parts, the capture system, descent system and the grounding system. The purpose of this system is to protect the building and everything inside it, directing the electrical current, coming from atmospheric discharge, through a low resistance path to the ground, nullifying its destructive effects. The purpose of the study presented here is to present a SPDA installation project in an industry located in the city of Jaboatão dos Guararapes – PE, evaluating its risk factors, need for protection, protection method and other pertinent information, considering standards NBR 5419 of 2015.

Keywords: atmospheric -discharges; NBR 5419:2015; protection system; SPDA.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Incidência de raios no Brasil.....	17
Figura 2 - Princípio de proteção pelo método eletromagnético.	27
Figura 3 - Ângulo de proteção correspondente à classe de SPDA	28
Figura 4 - Representação do método de Franklin no qual o ângulo varia conforme a altura aumenta.....	29
Figura 5 - Representação do método da gaiola de Faraday	30
Figura 6 - Laço em um condutor de descida	31
Figura 7 - comprimento mínimo /l do eletrodo de aterramento de acordo com a classe do SPDA	33
Figura 8 - Composição do sistema de proteção contra descargas atmosféricas	37
Figura 9 - Distribuição das edificações na área industrial.....	41
Figura 10 - Mapa isoceraúnico do nordeste do Brasil	42
Figura 11 - Ilustração método da esfera rolante	58
Figura 12 - Raio da esfera rolante no aplicado no reservatório de água	59
Figura 13 - Malha captora do Galpão da Produção e detalhe de fixação ao telhado.....	60
Figura 14 - Interligação entre cobertura metálica e subsistema de descida.....	61
Figura 15 - Maneira de fixação da barra chata na estrutura de concreto	62
Figura 16 - Caixa de inspeção com conexão entre barra chata e cabo de cobre	63
Figura 17 - Malha de aterramento geral	64
Figura 18 - Caixa de inspeção, com haste e soldas exotérmicas	65
Figura 19 - Caixa de equalização BEP	66
Figura 20 - Medição de continuidade e valor de resistência	68
 Quadro 1 - Danos e perdas relevantes para uma estrutura para diferentes pontos de impacto de descarga atmosférica.....	 20
Quadro 2 - Componentes de risco para cada tipo de perda em uma estrutura	23
Quadro 3 - Relação entre níveis de proteção para descargas atmosféricas e classe de SPDA.	25
Quadro 4 - Materiais para SPDA e condições de utilização.....	34
Quadro 5 - Dimensões mínimas dos condutores que interligam diferentes barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL) ou que ligam essas barras ao sistema de aterramento	Erro!
Indicador não definido.	

Quadro 6- Fator de redução r_p em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio.	46
Quadro 7 - Fator de redução r_f em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura.	46
Quadro 8 -Fator h_z aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo	47
Quadro 9 - Fator de localização da estrutura CD	53
Quadro 10 - Fator de instalação da linha CI.....	55
Quadro 11 - Fator tipo de linha CT	55
Quadro 12 - Fator ambiental da linha CE.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores típicos de risco tolerável RT	24
Tabela 2 -Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção correspondentes a classe do SPDA.....	28
Tabela 3 - Ângulo de proteção e altura da construção.....	29
Tabela 4 - Valores típicos de distância entre os condutores de descida e entre os anéis condutores de acordo com a classe de SPDA	30
Tabela 5 - Material, configuração e área de seção mínima dos condutores de captação, hastes, captosres e condutores de descidas.	35
Tabela 6 - Material, configuração e dimensões mínimas de eletrodo de aterramento.....	36
Tabela 7 - Dimensões mínimas dos condutores que ligam as instalações metálicas internas aos barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL).	39
Tabela 8 -Valores médios típicos de LT, LF e LO	45
Tabela 9 - Fator de redução r_t em função do tipo da superfície do solo ou piso	46
Tabela 10 - Valores de probabilidade PTA de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque e de passo perigosas.....	48
Tabela 11 - Valores de probabilidade PB dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos.	49
Tabela 12 - Valores da probabilidade PTU de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque perigosas.	50
Tabela 13 - Valor da probabilidade PEB em função do NP para o qual os DPS foram projetados.	50
Tabela 14 - Valores da probabilidade PLD dependendo da resistência RS da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso UW do equipamento.	51
Tabela 15 - Valores dos fatores CLD e CLI dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento.....	51
Tabela 16 - Maior valor de resistência em cada edificação	68

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVO GERAL	14
2.1	OBJETIVO ESPECÍFICO	14
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
3.1	HISTÓRIA	15
3.2	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	16
3.3	INCIDÊNCIA DE RAIOS NO BRASIL	16
3.4	NECESSIDADE DE INSTALAÇÃO DOS SISTEMAS CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.....	17
3.5	DANOS E PERDAS CAUSADOS POR UMA DESCARGA ATMOSFÉRICA	18
3.6	GERENCIAMENTO DE RISCO	21
3.6.1	Componente de risco	21
3.6.2	Composição dos componentes de risco	22
3.6.3	Risco tolerável	24
4	MÉTODOS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.....	25
4.1	CLASSE DO SPDA.....	25
4.2	SISTEMA EXTERNO DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS ..	26
4.2.1	Subsistema de captação	26
4.2.2	Métodos de instalação.....	27
4.2.3	Subsistema de descida	30
4.2.4	Posicionamento.....	31
4.2.5	Subsistema de aterramento	32
4.2.6	Condição geral do aterramento	32
4.2.7	Componentes	33
4.2.8	Fixação.....	34
4.2.9	Conexões	35
4.2.10	Materiais e dimensões	35
4.2.11	Organização do conjunto do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas.	37
4.3	SISTEMA INTERNO DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS ..	37
4.3.1	Equipotencialização	38
5	ESTUDO DE CASO.....	40
5.1	DENSIDADE DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	41
5.2	CÁLCULO DO GERENCIAMENTO DE RISCO.....	42
5.3	RISCO TOLERÁVEL (<i>RT</i>)	43

5.4	CÁLCULO DAS COMPONENTES DE RISCO	44
5.5	CÁLCULO DE PERDAS	44
5.6	CÁLCULO DE PROBABILIDADE	48
5.7	NÚMERO ANUAL N DE EVENTOS PERIGOSOS.....	52
5.8	DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS	56
5.8.1	Metodologia e tipo de SPDA adotado	56
5.8.2	Subsistema de captação do SPDA projetado	59
5.8.3	Subsistema de descida do SPDA projetado	61
5.8.4	Susbsistema de malha de aterramento do SPDA projetado	63
6	TESTE DE CONTINUIDADE DO SISTEMA.....	67
7	MANUTENÇÃO DO SISTEMA	70
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
	REFERÊNCIAS	72
	ANEXO A – CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO MILI OHMIMETRO.....	73
	ANEXO B – VISTA FRONTAL E LATERAL DO GALPÃO DA PRODUÇÃO	74

1 INTRODUÇÃO

As descargas atmosféricas, também conhecidas como raios, são exemplos de fenômenos naturais que ocorrem no momento em que a eletricidade produzida no interior das nuvens é descarregada na atmosfera, provocando eventos impressionantes, mas também perigosos. Estes tipos de eventos naturais estão entre as principais causas de interrupção no fornecimento de energia e podem provocar grandes transtornos para os sistemas de transmissão e distribuição. Silva (2020) menciona que as descargas atmosféricas além representarem riscos à segurança de seres humanos e animais, também podem causar diversas falhas em equipamentos elétricos. Como são difíceis de prever o local de ocorrência e devido o alto grau de destruição, vale entender como esse processo funciona e quais medidas de proteção ajudam a reduzir os impactos.

Os relâmpagos geram impactos apenas nas redes de transmissão de energia; eles também impactam bastante a segurança das pessoas. Em dias de tempestade, é mais comum que ocorra a incidência de raios, e isso aumenta a probabilidade de acidentes graves, principalmente em locais abertos e sem proteção. É importante salientar, que a descarga pode gerar picos de tensão nos circuitos e provocar defeitos em aparelhos eletrônicos. Por isso, é importante instalar sistemas de proteção, como para-raios e dispositivos contra surtos, para diminuir os prejuízos e ajudar a manter a segurança das instalações elétricas e também as pessoas que dependem delas.

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

Os Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA) são importantes para manter as instalações elétricas seguras e reduzir riscos de danos à estrutura e às pessoas. A ideia é que o sistema “intercepte” a descarga e conduza essa energia de forma controlada até o solo, para que ela não atinja equipamentos nem coloque ninguém em perigo. Pela norma brasileira NBR 5419, que traz orientações para proteger edificações contra descargas atmosféricas, fazer um bom projeto, instalar direito e manter o SPDA em dia faz toda a diferença. A norma também orienta na escolha de materiais, na instalação de para-raios e no dimensionamento das descidas e do aterramento, para que o sistema funcione como esperado.

Além disso, a NBR 5419 destaca que é preciso avaliar o risco de descargas em cada tipo de edificação, para ajustar as medidas de proteção ao que aquele lugar realmente precisa. Ela separa as estruturas por níveis de risco e sugere soluções mais adequadas para cada caso, que podem envolver tanto proteção externa quanto interna. Seguir essas diretrizes ajuda a reduzir os efeitos das descargas atmosféricas, protegendo os equipamentos elétricos e, principalmente, ajudando a manter as pessoas seguras nesses ambientes.

2 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste estudo é fornecer uma análise de riscos direcionada a necessidade de readequação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), e ajudar os interessados na compressão das origens, efeitos, métodos de proteção e adequação para instalação conforme normas técnicas dos atuais sistemas de proteção contra descargas atmosféricas em estruturas. Buscando demonstrar a importância da manutenção do SPDA em indústrias que utilizam itens mais antigos, enfatizando a relevância deste sistema para a proteção de estruturas, equipamentos e vidas. Adicionalmente, será feita uma análise dos sistemas existentes em uma indústria com foco nos realinhamentos necessários para atendimento à Norma Brasileira NBR 5419:2015, incluindo uma discussão das principais alterações relacionadas à versão anterior da NBR 5419:2005.

2.1 OBJETIVO ESPECÍFICO

Como objetivos específicos têm-se:

- a) Realizar a análise de risco sobre a necessidade de instalação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas segundo a NBR 5419 de 2015;
- b) Apresentar os tipos, classes e componentes de um SPDA segundo a norma NBR 5419 de 2015;
- c) Realizar análise de risco do atual Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) instalado na indústria;
- d) Apresentar projeto executivo de readequação demonstrando a escolha de classes e tipos de SPDA em cada estrutura da indústria;
- e) Realização de teste de continuidade do sistema instalado;
- f) Apresentação dos resultados

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 HISTÓRIA

Os primeiros estudos sobre raios vêm de tempos antigos, quando filósofos e estudiosos tentavam entender esse fenômeno da natureza, muitas vezes ligado à ideia de poder divino. Mesmo assim, só no século XVIII as descargas atmosféricas passaram a ser analisadas de um jeito realmente científico. Em 1748, Benjamin Franklin já estudava eletricidade e fez descobertas importantes, como a noção de cargas positivas e negativas, o que acabou trazendo reconhecimento internacional. Em 1752, durante uma tempestade, Franklin empinou uma pipa com seu filho e percebeu pequenas descargas elétricas ao longo da linha, o que ajudou a confirmar a ligação entre eletricidade e raios. Essa experiência foi decisiva para a criação do para-raios do tipo Franklin, pensado para proteger casas, prédios e outras instalações. (Isaacson, 2015).

A partir disso, Franklin apresentou a ideia do para-raios: um dispositivo com uma haste de metal que “chama” o raio e conduz essa energia de forma segura até o solo, reduzindo os danos nos edifícios. Esse invento marcou o começo da proteção contra descargas atmosféricas e, desde então, passou a ser usado com frequência em construções, incluindo prédios altos e arranha-céus (Coelho *et al.*, 2012).

Ao longo dos séculos XIX e XX, com o avanço da ciência e da engenharia, o SPDA foi sendo melhorado para lidar não só com os efeitos diretos das descargas, mas também com impactos indiretos, que podem prejudicar equipamentos elétricos e eletrônicos. Surgiram normas técnicas, como a NBR 5419, para orientar instalações mais seguras e eficientes, considerando o tipo de construção, o nível de risco e os materiais usados na obra (Coelho *et al.*, 2012).

Hoje, o SPDA segue regras bem definidas, aplicáveis tanto a grandes instalações industriais quanto a residências, e é uma medida importante de segurança em regiões com muita incidência de raios. Com a tecnologia atual, ficou mais fácil captar e dissipar essas descargas com mais precisão, o que ajuda a reduzir riscos e a proteger pessoas e patrimônio.

3.2 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Os relâmpagos surgem por causa de interações bem complexas entre pedacinhos de gelo, gotas de água e granizo dentro das nuvens cumulonimbus. Esse tipo de nuvem aparece quando a atmosfera está muito instável, com bastante umidade, calor e correntes de ar fortes subindo. Nesse cenário, as cargas elétricas vão se separando na nuvem: as partículas menores e mais leves, com carga positiva, tendem a subir, enquanto as maiores, com carga negativa, ficam mais concentradas na parte de baixo, formando um campo elétrico bem intenso.

Quando esse campo elétrico chega a um nível alto demais, o ar deixa de “segurar” e acontece a descarga elétrica que vira o raio. Essa descarga pode aparecer de vários jeitos, mas os mais comuns são os raios dentro da própria nuvem e os raios que vão da nuvem até o solo, que costumam ser os mais perigosos para pessoas, animais e estruturas. Em geral, tudo começa com um “caminho” em etapas que vai descendo em direção ao chão, até que uma carga positiva do solo sobe para encontrar esse caminho e se ligar a ele, fechando o trajeto por onde o raio passa.

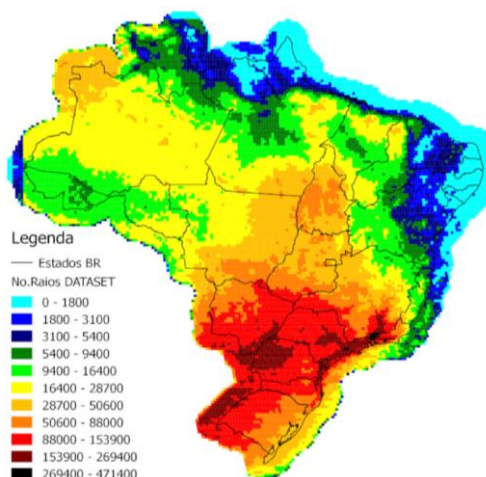
3.3 INCIDÊNCIA DE RAIOS NO BRASIL

A ocorrência de descargas atmosféricas ou raios é um fenômeno natural amplamente registrado e monitorado em diversas partes do mundo, principalmente nos trópicos. O Brasil, por exemplo, tem a maior taxa de raios de qualquer país do planeta, com uma média de cerca de 77,8 milhões de descargas atmosféricas por ano. Os dados foram confirmados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que coordena o monitoramento de raios no país, e destacaram que o Brasil é particularmente vulnerável a tempestades severas e descargas persistentes devido ao seu clima tropical e localização geográfica, especialmente na região Norte, onde a frequência dos relâmpagos é mais alta (Pinto Junior, 2018).

Estudos históricos mostram que essa alta incidência vem aumentando no Brasil. Dados do INPE mostram que os relâmpagos aumentaram cerca de 5% nas últimas décadas à medida que o aquecimento global intensifica a formação de nuvens de tempestade. Este fenômeno não apenas aumenta a frequência dos relâmpagos, mas também aumenta a chance de quedas de raios mais fortes. As regiões com maior incidência de raios no Brasil estão principalmente no norte e sudeste, seguidas pelo centro e oeste. Essa alta frequência é explicada por características climáticas específicas dessas regiões, como a combinação de altas temperaturas e alta umidade,

condições que favorecem a formação de nuvens cumulonimbus, que levam às descargas atmosféricas, conforme Figura 1.

Figura 1 - Incidência de raios no Brasil



Fonte: INPE, 2019.

3.4 NECESSIDADE DE INSTALAÇÃO DOS SISTEMAS CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

A instalação de Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) em estruturas prediais, sejam elas industriais ou residenciais, é de extrema importância para proteger a edificação, os equipamentos e os ocupantes. A principal função do sistema é captar a energia do raio e direcioná-la com segurança até o solo, evitando que a descarga cause danos físicos à estrutura, como incêndio, explosão ou até mesmo colapso estrutural. Em edifícios industriais, onde estão presentes equipamentos de grande porte e materiais inflamáveis, a falta de SPDA pode comprometer não só a segurança operacional, mas também o funcionamento de equipamentos críticos e a integridade dos trabalhadores e profissionais no local.

Nas residências, a instalação de SPDA também é fundamental porque raios podem danificar equipamentos eletrônicos e sistemas elétricos, causando graves acidentes aos moradores. Além disso, o sistema proporciona proteção adicional contra descargas indiretas, que podem se propagar pelas redes de energia e telecomunicações e causar danos mesmo que não atinjam diretamente o edifício.

As descargas atmosféricas são responsáveis por parcela significativa dos distúrbios nas redes elétricas, podendo ocasionar desligamentos ou queima de equipamentos tanto das concessionárias quanto dos consumidores. Os distúrbios nas redes de distribuição causados por descargas atmosféricas podem ser causados tanto por descargas diretas como indiretas (próximas a rede). As descargas diretas na rede de baixa tensão são raras pelo fato de os condutores estarem posicionados em alturas inferiores aos condutores da rede primária e pelo fato desta última normalmente presente, blindando a rede secundária (Neto A.S.; Piantini, 2007).

Assim, o SPDA é um elemento indispensável para a segurança dos edifícios e a proteção do patrimônio, cumprindo as normas técnicas que regulam a instalação destes sistemas de acordo com as características específicas de cada edifício.

A norma 5419:2015 menciona que as correntes atmosféricas são uma importante fonte de danos a estruturas e equipamentos. Em alguns casos, a localização do ponto de impacto em relação à estrutura em análise deve ser levada em consideração:

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

3.5 DANOS E PERDAS CAUSADOS POR UMA DESCARGA ATMOSFÉRICA

Quando ocorrem descargas atmosféricas próximas a fios elétricos e tubos metálicos em contato com uma estrutura, pode ocorrer falha em sistemas internos devido a sobretensões induzidas nas linhas que penetram na estrutura. Portanto, a Norma 5419:2015 menciona três tipos de danos:

- a) D1: danos às pessoas devido a choque elétrico;
- b) D2: danos físicos (fogo, explosão, destruição mecânica, liberação de produtos químicos) devido aos efeitos das correntes das descargas atmosféricas, inclusive centelhamento;

- c) D3: falhas de sistemas internos devido a LEMP (*Lightning Eletromagnetic Impulse*).

A NBR 5419-1:2015 destaca que descargas atmosféricas podem causar diversos tipos de danos às estruturas, instalações elétricas e a segurança das pessoas, resultando em prejuízos físicos, econômicos e sociais. Danos diretos incluem perdas físicas a uma estrutura, que ocorrem quando um raio atinge diretamente um edifício, o que pode resultar em fissuras, lascamento de material e, em casos mais graves, colapso parcial ou total. Este impacto é mais severo em instalações industriais que manuseiam materiais inflamáveis ou explosivos, onde as descargas atmosféricas podem aumentar o risco de incêndio e explosão, com graves consequências para a segurança e integridade do edifício.

A norma igualmente considera emissões diretas e indiretas e examina as perdas econômicas associadas a danos em sistemas elétricos e eletrônicos. Descargas indiretas nas proximidades de edificações podem induzir sobretensões capazes de afetar equipamentos sensíveis e sistemas de automação, o que tende a se traduzir em perdas financeiras relevantes, seja pela necessidade de reparo ou substituição, seja por eventuais interrupções de operação. Tais perdas assumem maior gravidade em setores que dependem de instrumentação e infraestrutura de alta precisão, a exemplo de hospitais, centros de dados e instalações industriais, nos quais a indisponibilidade de sistemas pode comprometer processos críticos e acarretar prejuízos substanciais.

A NBR 5419-1:2015 também trata das perdas ligadas à segurança das pessoas e dos impactos sociais causados por raios. A norma vai além dos danos materiais e chama atenção para o risco à vida, já que uma descarga atmosférica pode provocar ferimentos e, em alguns casos, levar à morte, seja por contato direto ou indireto.

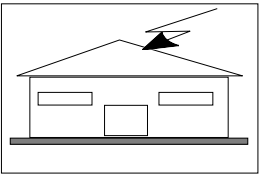
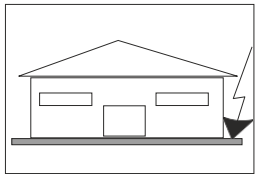
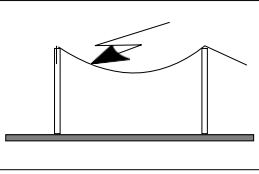
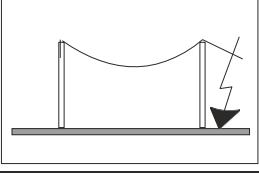
Para reduzir esse tipo de risco, a NBR 5419-1:2015 define regras para implantar um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA), prevendo medidas como a delimitação de áreas mais seguras e a sinalização de pontos vulneráveis. Por isso, seguir a NBR 5419:2015 é importante para proteger pessoas, diminuir prejuízos financeiros e manter as instalações mais seguras.

São considerados pela norma os seguintes tipos de perdas:

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

No Quadro 1 são identificados os tipos de danos e perdas que podem ocorrer em diferentes pontos da estrutura devido às descargas atmosféricas.

Quadro 1 - Danos e perdas relevantes para uma estrutura para diferentes pontos de impacto de descarga atmosférica

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

Fonte: NBR 5419-1, 2015.

^a Somente para propriedades onde pode haver perdas de animais.

^b Somente para estruturas com risco de explosão, hospitais ou outras estruturas nas quais falhas em sistemas internos colocam a vida humana diretamente em perigo.

3.6 GERENCIAMENTO DE RISCO

A gestão de riscos prevista na NBR 5419-2:2015 é um dos pilares para garantir a prevenção dos efeitos das descargas atmosféricas. Envolve uma análise detalhada dos riscos enfrentados pela estrutura, tendo em conta fatores como a probabilidade de ocorrência de uma descarga, possíveis danos associados e medidas de proteção necessárias.

O objetivo da gestão de riscos é determinar se é necessária a instalação de um SPDA e, em caso afirmativo, definir os parâmetros para sua efetiva implementação. A norma introduz um modelo baseado no cálculo de risco (R) e comparação com valores de referência aceitáveis (RA). Se o valor R calculado exceder o RA, devem ser tomadas medidas de mitigação.

Os principais tipos de risco avaliados incluem:

- R1: Risco de perda de vidas humanas.
- R2: Risco de interrupção de serviços públicos.
- R3: Risco de dano ao patrimônio cultural.
- R4: Risco de perdas econômicas.

Para cada tipo de risco são considerados componentes específicos, como os relacionados com as emissões diretas ou indiretas e as características da estrutura, dos seus ocupantes e das atividades. A NBR 5419-2:2015 disponibiliza convenientes ferramentas de cálculo e tabelas, envolvendo fatores como densidade de emissões atmosféricas na área, dimensões estruturais, tipos de proteção e medidas de segurança adotadas.

3.6.1 Componente de risco

Conforme afirma a NBR 5419-2:2015, os componentes de risco são os elementos básicos para o cálculo do gerenciamento de riscos. Representam diferentes formas de perdas associadas às emissões atmosféricas e variam dependendo do tipo de estrutura, da sua ocupação e do ambiente em que está inserida. Cada componente reflete um aspecto específico do impacto potencial causado por um raio.

- Componentes de risco relacionados a descargas atmosféricas na estrutura:

R_A : refere-se ao risco de danos aos seres vivos devido a tensões de toque e tensões de passo dentro de um edifício e dentro de 3 metros de condutores de descida. Este risco pode

resultar em perda do tipo L1 (vida humana) e, em estruturas com animais vivos, perda do tipo L4 (animal).

R_B : Relacionado a danos físicos a uma estrutura, como incêndio ou explosão causada por faíscas perigosas. Esses eventos podem causar danos ao meio ambiente e causar qualquer tipo de perda (L1, L2, L3 e L4)

R_C : Indica uma falha interna do sistema causada por efeitos eletromagnéticos (LEMP). Além das perdas L1 em situações críticas (como explosões ou fechamentos de hospitais), também podem ocorrer perdas L2 (serviços públicos) e L4 (animais). Componentes de risco associados às descargas atmosféricas próximas às estruturas:

R_M : Envolve falha interna do sistema devido aos efeitos do LEMP. Em todos os casos é possível causar perdas do tipo L2 e L4, enquanto em estruturas sensíveis como hospitais e instalações com risco de explosão é possível causar perdas do tipo L1.

- Componentes de risco relacionados às emissões atmosféricas provenientes das tubulações de ligação estrutural:

R_U : Indica o risco de danos aos seres vivos devido ao contato e tensões de degrau dentro da estrutura. Este risco pode resultar em perda de L1 e, para propriedades agrícolas, perda de L4 devido à morte de um animal.

R_V : refere-se a danos físicos, como incêndio ou explosão, causados por uma corrente de descarga transmitida através da fiação até um ponto de entrada em uma estrutura. Este risco pode resultar em qualquer tipo de perda (L1, L2, L3 e L4).

R_W : Envolve falha interna do sistema devido a sobretensão induzida nas linhas que entram na estrutura. Além das perdas L1 em situações críticas, como instalações hospitalares ou locais com risco de explosão, também pode resultar em perdas L2 e L4.

3.6.2 Composição dos componentes de risco

As componentes de risco para cada tipo de perda em uma estrutura estão apresentadas no Quadro 2:

Quadro 2 - Componentes de risco para cada tipo de perda em uma estrutura

Fonte de danos	Descarga atmosférica na estrutura S1			Descarga atmosférica perto da estrutura S2	Descarga atmosférica em uma linha conectada à estrutura S3			Descarga atmosférica perto de uma linha conectada à estrutura S4
	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	*	*	*

Fonte: NBR 5419-2, 2015.

O cálculo das componentes de risco é efetuado através das equações:

a) R_1 : Riscos de perda de vida humana:

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1}^1 + R_{M1}^1 + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1}^1 + R_{Z1}^1 \quad (3.1)$$

b) R_2 : Risco de perdas de serviço ao público:

$$R_2 = R_{B2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{V2} + R_{W2} + R_{Z2} \quad (3.2)$$

c) R_3 : Risco de perdas de patrimônio cultural:

$$R_3 = R_{B3} + R_{V3} \quad (3.3)$$

d) R_4 : Risco de perdas de valor econômico:

$$R_4 = R_{A2}^2 + R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{U4}^2 + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4} \quad (3.4)$$

- Análise dos componentes de risco

Cada componente de risco R_A , R_B , R_C , R_M , R_U , R_V , R_W e R_Z , como descrito acima, pode ser expressa pela seguinte equação geral:

$$R_X = N_X \times P_X \times L_X \quad (3.)$$

^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.internos colocam a vida humana diretamente em perigo.

¹ Aplicável apenas a estruturas com risco de explosão e hospitais com equipamentos elétricos salva-vidas ou outras estruturas onde a falha dos sistemas internos colocaria imediatamente a vida humana em perigo.

² Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.

em que:

N_X é o número de eventos perigosos por ano;

P_X é a probabilidade de dano à estrutura;

L_X é a perda consequente.

3.6.3 Risco tolerável

Segundo a NBR 5419:2015, Risco Tolerável (RT) é o nível de risco aceitável sem medidas de proteção adicionais. Este valor é determinado com base em normas de segurança, onde o risco calculado (R) para uma determinada estrutura não deve exceder o risco tolerável. Na Tabela 1 estão apresentados os valores típicos de RT

Tabela 1 - Valores típicos de risco tolerável RT

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

Fonte: NBR 5419-2, 2015.

A proteção contra descargas atmosféricas mostra-se indispensável quando o risco R (R_1 a R_4) ultrapassa o risco tolerado R_T :

$$R > R_T$$

Nessa situação, devem ser implementadas medidas de proteção para atenuar o risco R (R_1 a R_3) até que ele atinja um nível considerado aceitável, ou seja:

$$R \leq R_T$$

4 MÉTODOS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

A criação do primeiro dispositivo de proteção contra raios por Benjamin Franklin ajudou a impulsionar os avanços científicos e tecnológicos que levaram aos sistemas de proteção contra raios que usamos hoje. As invenções dele abriram caminho para melhorias ao longo do tempo, deixando essas medidas de proteção mais seguras e mais eficientes em diferentes usos.

Os sistemas de proteção contra raios são importantes para reduzir os danos que os raios podem causar nas estruturas e, na prática, são a principal forma de desviar a energia dessas descargas. A ideia central do SPDA é conduzir com segurança as descargas atmosféricas até o solo pelo trajeto mais curto possível, seja em casos de descargas diretas ou indiretas. Segundo a NBR 5419:2015, o SPDA reúne dois sistemas que se completam: a proteção interna, voltada a resguardar equipamentos e as instalações elétricas dentro da edificação, e a proteção externa, que recebe a descarga e a leva até o solo.

4.1 CLASSE DO SPDA

A NBR 5419:2015 divide os sistemas de proteção contra descargas atmosféricas em quatro níveis de proteção, denominados categorias SPDA, que variam de acordo com o grau de risco e importância da estrutura protegida, conforme mostra o Quadro 3. Estas categorias são definidas com base no nível de segurança necessário para minimizar o impacto das emissões atmosféricas, garantindo que o sistema é adequado ao tipo de edifício, localização e atividades desenvolvidas. Cada nível representa uma margem de proteção específica e corresponde aos parâmetros técnicos que determinam as características do SPDA, como altura, materiais e métodos de instalação.

Quadro 3 - Relação entre níveis de proteção para descargas atmosféricas e classe de SPDA.

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

Fonte: NBR 5419-2, 2015.

O SPDA de Classe I é usado em instalações onde se quer o nível mais alto de proteção contra descargas atmosféricas, como em locais com alto risco de explosão ou em prédios de grande importância para a sociedade, por exemplo hospitais e centros de processamento de dados. A Classe II é indicada para estruturas que não precisam do nível máximo, mas que ainda têm um risco relevante, como fábricas e prédios comerciais com equipamentos sensíveis. A Classe III é voltada para edificações com risco moderado, incluindo casas e comércios menores, enquanto a Classe IV costuma ser aplicada quando uma proteção mais básica é considerada suficiente, geralmente em áreas com menos raios e pouca circulação de pessoas.

De acordo com a NBR 5419:2015, cada classe de SPDA tem exigências próprias de instalação e manutenção, pensadas de acordo com as características do prédio e com os tipos de perdas que podem acontecer, como perdas humanas, financeiras ou culturais. A ideia dessa classificação é ajudar a escolher e instalar o SPDA mais adequado, buscando manter a segurança da edificação e proteger a vida conforme o nível de risco daquele lugar. Nesse sentido, a norma ajuda a deixar as práticas de instalação mais padronizadas, seguir orientações de segurança e reduzir os danos causados por eventos atmosféricos.

4.2 SISTEMA EXTERNO DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Os sistemas externos de proteção contra raios são responsáveis por captar a energia do raio e conduzi-la com segurança até o solo, evitando danos diretos às edificações decorrentes das descargas. O sistema consiste em detectores que interceptam raios, condutores de descida que direcionam a corrente e um sistema de aterramento que dispersa a energia para o solo. A sua instalação é fundamental para minimizar o impacto físico das emissões no edifício, protegendo a estrutura e reduzindo o risco de incêndio e outros danos graves.

4.2.1 Subsistema de captação

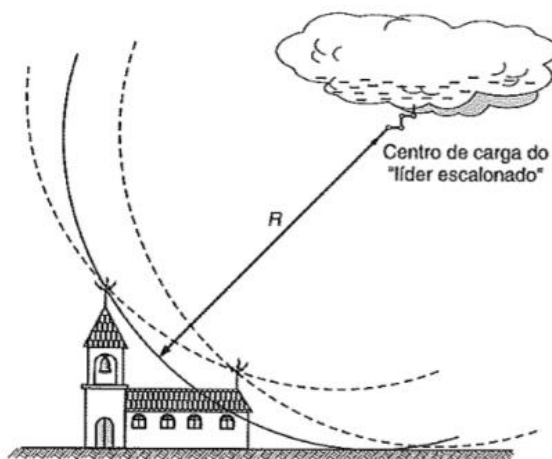
O sistema para-raios é composto por detectores, condutores de descida e dispositivos de aterramento, que são os componentes básicos para capturar, conduzir e dissipar com segurança a energia das descargas atmosféricas.

4.2.2 Métodos de instalação

Para otimizar a proteção, os para-raios devem ser posicionados estrategicamente conforme normas nos pontos mais altos, extremidades expostas e bordas da estrutura. Servem para garantir que as emissões sejam interceptadas diretamente antes de atingirem outras partes vulneráveis do edifício. Esta localização elevada e centralizada maximiza a proteção e direciona a corrente para o solo, evitando danos estruturais e reduzindo o risco de acidentes. O sistema deve ser instalado de acordo com um ou uma combinação de três métodos de instalação, são eles:

- O método da esfera rolante ou modelo eletromagnético utiliza uma esfera imaginária de raio específico para simular o alcance dos raios, ajudando a definir a localização dos captores de maneira a cobrir totalmente a estrutura, conforme Figura 2. Segundo Creder (2016) O modelo eletromagnético é adequado para instalações suscetíveis a descargas atmosféricas laterais devido à sua altura elevada e ao subsistema de captação localizado no topo da estrutura. No entanto, esse modelo não oferece proteção completa, já que as descargas podem atingir as laterais da edificação. O ângulo de proteção, raio da esfera rolante podem ser e tamanho da malha para cada classe podem ser observados no Tabela 2 e Figura 3.

Figura 2 - Princípio de proteção pelo método eletromagnético.



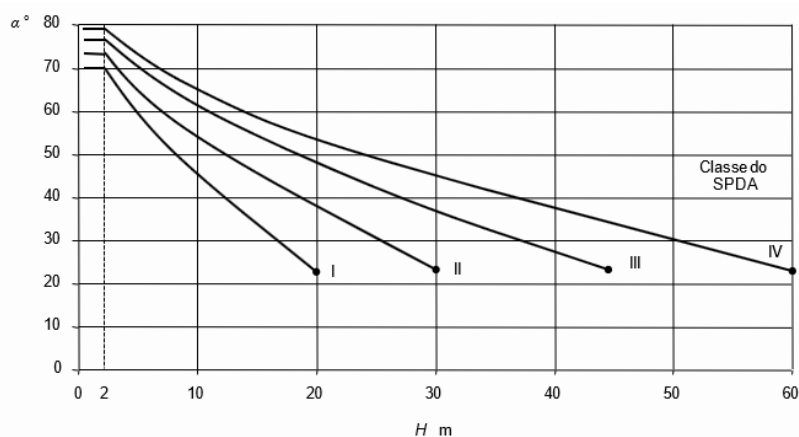
Fonte: Creder, 2016.

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

-	Métodos de proteção		
Classe do SPDA	Raio da esfera rolante – R m	Máximo afastamento dos condutores da malha m	Ângulo de proteção m
I	20	5 x 5	Ver figura 3
II	30	10 x 10	
III	45	15 x 15	
IV	60	20 x 20	

Fonte: NBR 5419-3, 2015.

Figura 3 - Ângulo de proteção correspondente à classe de SPDA



Fonte: NBR 5419-3, 2015.

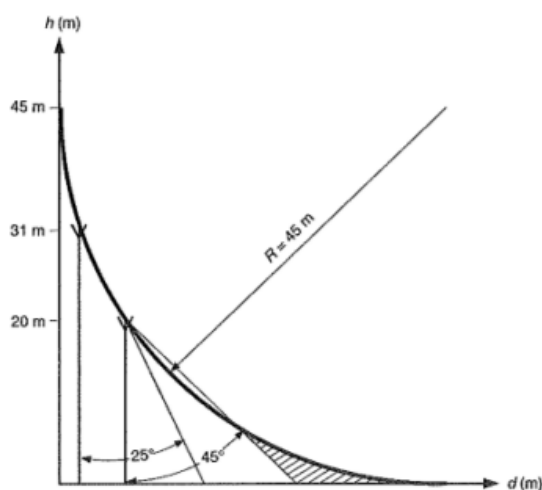
- O Método Franklin é um sistema de proteção contra descargas atmosféricas que utiliza detectores de metais pontiagudos montados nos pontos mais altos dos edifícios para atrair raios e guiá-los com segurança até o solo. Segundo Mamede (2010) “Consiste em determinar o volume de proteção proporcionado por um cone cujo ângulo de geratriz em relação à vertical varia em função do plano horizontal desejado e da altura do edifício dada.”. Conforme Figura 4.

Tabela 3 - Ângulo de proteção e altura da construção

Nível de proteção	Altura do captor (m)				
	0-20	20-30	31-45	46-60	>60
	Ângulo de proteção em graus				
I	25	(A)	(A)	(A)	(B)
II	35	25	(A)	(A)	(B)
III	45	35	25	(A)	(B)
IV	55	45	35	25	(B)

Fonte: Mamede, 2010.

Figura 4 - Representação do método de Franklin no qual o ângulo varia conforme a altura aumenta



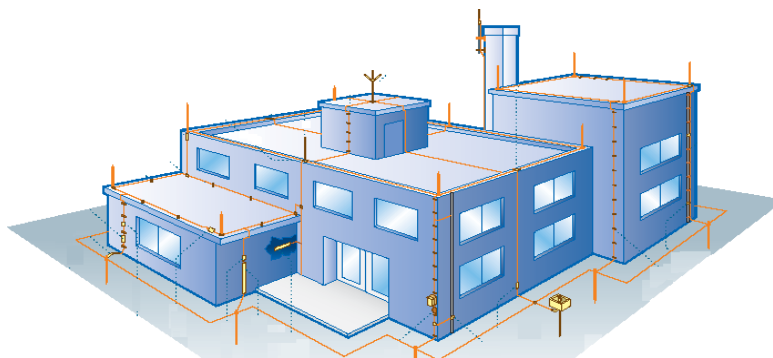
Fonte: Creder, 2016.

- No método da Gaiola de Faraday, trata-se de uma grade de condutores que é instalada ao redor da edificação, formando uma espécie de “gaiola” conforme mostrado na Figura 5, que intercepta as descargas atmosféricas e direciona a corrente para o solo através de condutores de descida conectados ao sistema elétrico. Esta abordagem é particularmente eficaz para proteger estruturas grandes ou complexas, como indústrias, armazéns e hangares, onde é necessário garantir uma proteção uniforme contra emissões diretas. As gaiolas de Faraday também minimizam os efeitos das correntes induzidas e reduzem o impacto das descargas nos sistemas elétricos e eletrônicos internos.

(A) Aplica-se somente os métodos eletromagnéticos, malha ou gaiola de Faraday.

(B) Aplica-se somente o método da gaiola de Faraday.

Figura 5 - Representação do método da gaiola de Faraday



Fonte: Energia Atual. Disponível em: <https://energiaatual.com.br/malha-ou-gaiola-de-faraday/>

4.2.3 Subsistema de descida

O subsistema de descida é um componente essencial do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) e é responsável por conduzir a corrente do captador para o sistema de aterramento. É composto por condutores de descida instalados ao longo das paredes ou estruturas verticais de uma edificação, garantindo que a energia captada seja direcionada de forma segura e controlada. Esses condutores devem ser distribuídos simetricamente e a uma distância suficiente entre si para minimizar os efeitos das correntes induzidas e reduzir o risco de arco elétrico e outros danos estruturais.

A norma determina alguns valores de distância entre os condutores de descida e entre os anéis condutores horizontais, a valores estão apresentados no Tabela 4:

Tabela 4 - Valores típicos de distância entre os condutores de descida e entre os anéis condutores de acordo com a classe de SPDA

Classe do SPDA	Distâncias (m)
I	10
II	10
III	15
IV	20

Fonte: NBR 5419-3, 2015.

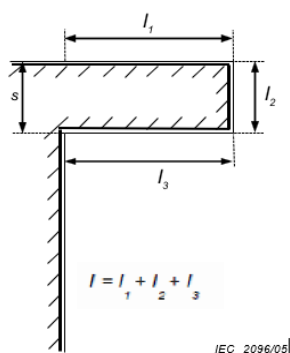
Nota: É aceitável que o espaçamento dos condutores de descidas tenha no máximo 20% além dos valores apresentados na tabela 4.

4.2.4 Posicionamento

A instalação e o posicionamento do sistema de descida precisam seguir normas técnicas específicas, para que o SPDA funcione bem e seja seguro. Pela NBR 5419:2015, os condutores de descida devem ser instalados de modo a manter o caminho mais direto e confiável entre o captador e o aterramento, buscando reduzir ao máximo a resistência na passagem da energia elétrica.

Os condutores de descida devem ficar distribuídos de forma bem espaçada, para ajudar a corrente a se dividir de maneira mais uniforme. O ideal é colocar esses condutores em pontos que façam sentido, como ao longo da fachada do prédio, para que a estrutura toda fique atendida. Em construções com mais de 20 metros de altura, costuma-se recomendar mais descidas, assim cada condutor carrega menos corrente. Também é importante prender os condutores em suportes isolantes, evitando contato desnecessário com outras partes metálicas da edificação. Por fim, o material e a seção do condutor de descida devem ser escolhidos de acordo com a corrente prevista, pensando na segurança e na vida útil do sistema.

Figura 6 - Laço em um condutor de descida



Fonte: NBR 5419-3, 2015.

A NBR 5419:2015 determina a forma como os condutores de descida do SPDA não isolados devem ser localizados e como atender aos critérios estabelecidos por essa norma.

- Se a parede for de material incombustível, poderão ser colocados condutores de descida na superfície ou no interior da parede;

- Se a parede for de materiais combustíveis, poderão ser colocados condutores de descida na superfície da parede, desde que o aumento de temperatura provocado pela passagem da corrente atmosférica pelo condutor de descida não represente perigo para o material da parede;
- Se a parede for feita de material inflamável e o aumento de temperatura no condutor de descida criar um perigo, o condutor de descida deverá ser instalado a pelo menos 0,1 m de distância da parede. O suporte de montagem pode entrar em contato com a parede.

4.2.5 Subsistema de aterramento

O subsistema de aterramento é uma das partes mais importantes de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas. É o responsável por dissipar no solo a descarga de corrente das descargas atmosféricas que atingem o sistema de forma segura e eficiente. O aterramento é caracterizado por eletrodos enterrados conectados às descidas, fornecendo um caminho com pouca resistência elétrica para evitar uma diferença de tensão que possa danificar a estrutura e os equipamentos, bem como oferecer perigo às pessoas. De maneira simplificada, seu projeto deve ter a menor resistência elétrica, a fim de reduzir o máximo possível a tensão no solo para garantir que a corrente se dissipe rapidamente, reduzindo os riscos de acidentes.

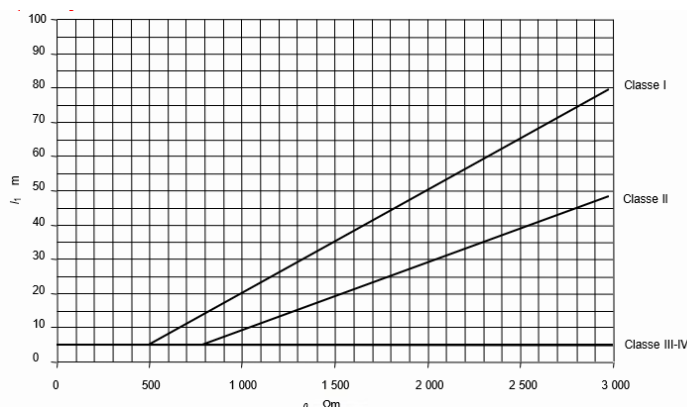
Outra prática comum e eficaz pautada pela NBR 5419:2015, que dá margem para considerável otimização do sistema, é a utilização da fundação do prédio como parte do aterramento. Esse método utiliza as armaduras de concreto armado já existentes para realizar a condução da corrente elétrica, desde que estas estejam devidamente conectadas e suas instalações estejam compatíveis com as normas técnicas. Dessa maneira é possível reduzir custos de instalação, e possibilita uma área de contato maior com o solo, o que permite uma melhor dispersão da corrente elétrica. É importante salientar, que para tal instalação a fundação deve estar protegido contra corrosão.

4.2.6 Condição geral do aterramento

Quando não for possível utilizar a fundação como sistema de aterramento, deverá ser utilizado um dispositivo em anel, que deverá ser instalado ao redor da estrutura a ser protegida. Este arranjo deve estar conectado à fundação ou ter pelo menos 80% de seu comprimento em contato com o solo. Também é importante tomar precauções para reduzir o risco de tensões

superficiais perigosas, como tensão de degrau e tensão de contato. O comprimento do eletrodo terra depende da categoria do SPDA, conforme mostrado na Figura 7.

Figura 7 - comprimento mínimo /l do eletrodo de aterramento de acordo com a classe do SPDA



Fonte: NBR 5419-3, 2015.

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

4.2.7 Componentes

Os materiais que constituem um SPDA precisam ser selecionados com base na sua capacidade de resistir aos efeitos eletromagnéticos e mecânicos das descargas atmosféricas, além de garantirem alta durabilidade em condições ambientais adversas, no Quadro 4 estão apresentados os materiais.

Nota: no gráfico da figura 7, as classes III e IV são independentes da resistividade do solo.

Quadro 4 - Materiais para SPDA e condições de utilização

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

Fonte: NBR 5419-3, 2015.

4.2.8 Fixação

A fixação dos captores e condutores no SPDA é necessária para garantir a estabilidade e eficiência do sistema. O captor deve ser montado com segurança no topo de um edifício com um suporte resistente à corrosão, capaz de suportar os esforços mecânicos causados pelas descargas atmosféricas. Por sua vez, os condutores devem ser fixados com suportes adequados para manter a continuidade elétrica e evitar danos mecânicos.

Recomenda-se a utilização de materiais como aço galvanizado para fixação, e as ligações entre os componentes devem ser boas para garantir baixa resistência e eficácia do sistema de aterramento.

Nota 1: o quadro 7 fornece somente um guia geral. Em circunstâncias especiais, considerações de imunização de corrosão mais cuidadosas são requeridas.

Nota 2: no quadro 7, os condutores encordoadados são mais vulneráveis à corrosão do que condutores sólidos. Condutores encordoadados são também vulneráveis quando eles entram ou saem nas posições concreto/terra.

Nota 3: no quadro 7, o aço galvanizado a quente pode ser oxidado em solo argiloso, úmido ou com solo salgado.

4.2.9 Conexões

De acordo com a NBR 5419:2015, as emendas e conexões em condutores do SPDA devem ser realizadas de forma que garanta a continuidade elétrica e mecânica do sistema. Estas juntas requerem a utilização de materiais e técnicas adequadas para evitar falhas condutivas, tais como a utilização de conectores adequados e a aplicação de processos eficazes de soldadura ou fixação.

4.2.10 Materiais e dimensões

Os materiais utilizados são dados nas Tabelas 5 e 6, estes foram escolhidos levando em consideração o desgaste sofrido e os esforços.

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

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

Fonte: NBR 5419-3, 2015.

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

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

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

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

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

Tabela 6 - Material, configuração e dimensões mínimas de eletrodo de aterramento

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

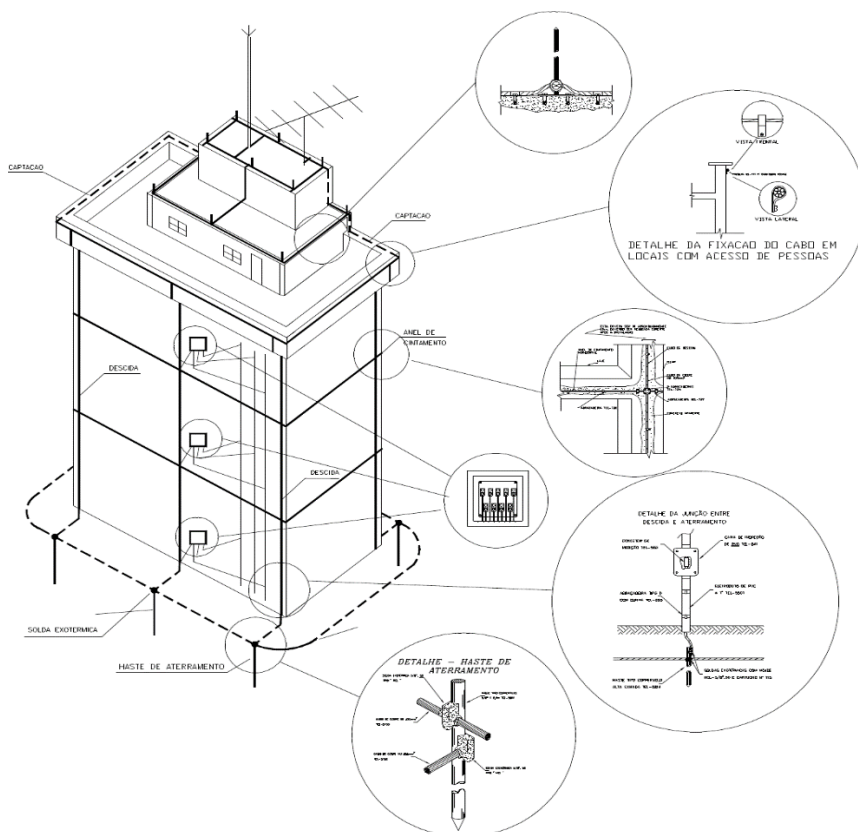
Fonte: NBR 5419-3, 2015.

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

4.2.11 Organização do conjunto do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas.

Observando a Figura 8, podemos ter uma melhor compreensão de como é realizada a disposição dos dispositivos que compõem os subsistemas de descida e de aterramento do SPDA.

Figura 8 - Composição do sistema de proteção contra descargas atmosféricas



Fonte: Termotécnica, 2015.

4.3 SISTEMA INTERNO DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Os Sistemas Internos de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SIPDA) são projetados para proteger equipamentos, pessoas e instalações dos efeitos secundários dos raios, como sobretensões e efeitos eletromagnéticos. Complementa o sistema externo (SPDA) e tem como foco a instalação de dispositivos de proteção como DPS (dispositivos de proteção contra surtos), redes equipotenciais e blindagens eletromagnéticas, visando minimizar riscos internos.

Para a implementação do sistema interno de proteção contra descargas atmosféricas, deve-se estabelecer a equipotencialização em todas as partes metálicas da instalação, utilizando barramentos principais e dispositivos de proteção que minimizem os surtos elétricos e outros efeitos gerados pelas descargas." (ABNT, 2015).

4.3.1 Equipotencialização

A equipotencialização no sistema de proteção contra descargas atmosféricas é uma das medidas importantes para garantir a segurança elétrica do dispositivo, podendo minimizar o impacto da corrente causada pela descarga atmosférica.

A equipotencialização é alcançada conectando-se eletricamente todas as partes metálicas e sistemas condutores de forma a reduzir diferenças de potencial durante a incidência de uma descarga atmosférica. Essa prática é fundamental para prevenir tensões de toque e de passo que podem causar danos a pessoas e equipamentos (Nunes, 2012).

De acordo com o estabelecido na NBR 5419:2015, o processo de equipotencialização requer a utilização de condutores adequados e equipamentos de conexão certificados. A norma estabelece que todas as conexões devem garantir a integridade elétrica e mecânica mesmo sob condições extremas, como altas correntes transitórias. Isto é especialmente importante para instalações que incluem subsistemas aterrados e outros componentes metálicos expostos.

Os condutores que conectam os diferentes barramentos equipotenciais e os condutores que os interligam ao sistema de aterramento devem obedecer a determinadas seções transversais mínimas. Esses valores estão detalhados na tabela 7.

Tabela 7 - Dimensões mínimas dos condutores que interligam diferentes barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL) ou que ligam essas barras ao sistema de aterramento

Nível do SPDA	Modo de instalação	Material	Área da seção reta mm ²
I a IV	Não enterrado	Cobre	16
		Alumínio	25
		Aço galvanizado a fogo	50
	Enterrado	Cobre	50
		Alumínio	Não aplicável
		Aço galvanizado a fogo	80

Fonte: NBR 5419-3, 2015.

No Tabela 8, estão apresentados os valores mínimos da seção dos condutores que ligam as instalações metálicas internas aos barramentos de equipotencialização.

Tabela 8 - Dimensões mínimas dos condutores que ligam as instalações metálicas internas aos barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL).

Nível do SPDA	Material	Área da seção reta mm²
I a IV	Cobre	6
	Alumínio	10
	Aço galvanizado a fogo	16

Fonte: NBR 5419-3, 2015.

NOTA: Na parte 4 da NBR 5419:2015, estão detalhados os parâmetros para um sistema de equipotencialização apresentados na tabela 7.

5 ESTUDO DE CASO

A indústria a ser analisada encontra-se na Rodovia BR 101 Sul, KM 86,2 no bairro de Prazeres em Jaboatão do Guararapes - PE, localiza-se em uma área plana e é composta por 17 edificações e um fluxo diário de 1930 pessoas. As edificações estão relacionadas a seguir:

- Administração;
- Centro de gestão (SPW);
- Manutenção;
- Refeitório;
- ETA;
- Portaria antiga;
- Galpão de apoio a expedição;
- Sala de compressores;
- Depósito inflamável;
- Depósito de pintura;
- Produção;
- Recebimento e expedição
- Vestiário;
- Subestação;
- Reservatório Superior;
- Vestiário da produção;
- Portaria Nova.

A distribuição das edificações listadas está representada na Figura 9.

Figura 9 - Distribuição das edificações na área industrial



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

O estudo de caso sobre proteção contra descargas atmosféricas começa com uma análise detalhada da norma ABNT NBR 5419:2015, que regula os sistemas de SPDA. A partir disso, os cálculos relacionados ao gerenciamento de risco fornecerão os parâmetros essenciais para a implementação de um sistema de proteção eficaz.

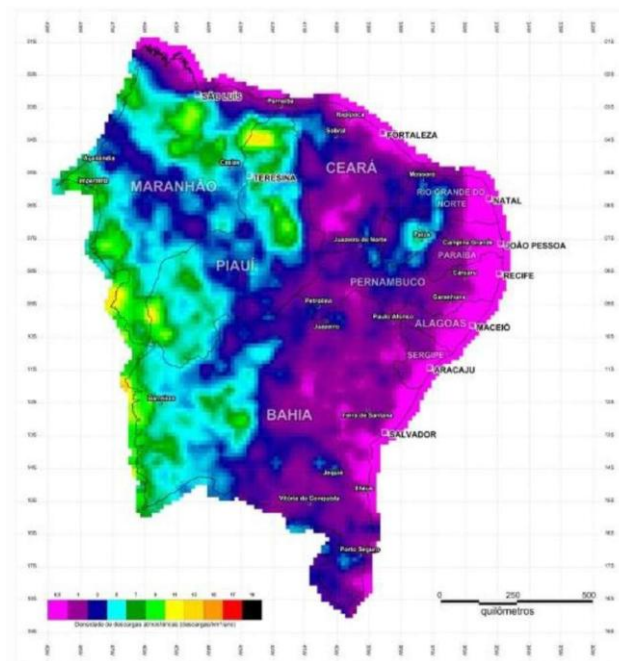
5.1 DENSIDADE DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

O mapa de densidade de descargas atmosféricas foi gerado pelo ELAT/INPE abrangendo todo o território brasileiro, tomando como base registros de pulsos luminosos captados do espaço pelo sensor *Linghtinig Imaging Sensor (LIS)*, instalado no satélite TRMM, da NASA, ao longo do período de 1998 a 2011.

Para estimativa do percentual médio de descargas do tipo nuvem-solo, foram consideradas dados coletados a partir de redes de detecção instaladas na superfície disponíveis nesse intervalo. Após análise dessas informações, foi produzida uma grade de densidade composta por células com resolução espacial de 12,5 km por 12,5 km, e cada célula deve apresentar um valor médio anual de densidade de descargas atmosféricas.

De acordo com as informações do mapa da Figura 10, a cidade de Jaboatão dos Guararapes - PE, possui um índice de 0,37 descargas/km²/ano.

Figura 10 - Mapa isoceraúnico do nordeste do Brasil



Fonte: NBR 5419-2, 2015.

5.2 CÁLCULO DO GERENCIAMENTO DE RISCO

A norma ABNT NBR 5419-2:2015 define requisitos de análise de risco para estruturas afetadas por descargas atmosféricas e esta abordagem será aplicada no estudo de caso desenvolvido neste trabalho. Como os cálculos de gerenciamento de riscos foram introduzidos como “novo” conteúdo na reformulação da norma de 2015, os parâmetros e métodos a seguir serão detalhados para facilitar o entendimento. Para fins de análise e demonstração foi levado em consideração apenas o galpão da produção, tendo em vista que nele estão abrigados a maior quantidade de pessoas e equipamentos. Além disso os cálculos utilizados nele podem ser replicados para as demais estruturas, respeitados suas características individuais.

Para determinar o gerenciamento de risco e a necessidade de um sistema de SPDA para a estrutura residencial em questão, foram considerados os seguintes parâmetros:

- Riscos

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

- Perdas

L1: perda de vida humana.

- Danos

D1: ferimentos aos seres vivos por choque elétrico.

D2: danos físicos

D3: falhas de sistemas eletroeletrônicos.

Os riscos de interrupção dos serviços públicos (R2) e de danos ao patrimônio cultural (R3) e perda de L2 e L3 não se aplicam a tais estruturas e, portanto, não são abordados neste estudo. Os componentes de risco relevantes para cada tipo de perda na estrutura estão detalhados no Quadro 2.

Os componentes de risco considerados no estudo foram R_A , R_B , R_U e R_V , associados ao risco R1. Outras se aplicam a situações específicas como explosões e hospitais.

5.3 RISCO TOLERÁVEL (R_T)

As necessidades de proteção da estrutura são avaliadas comparando os riscos R1, R2 e R3 com o risco tolerável R_T , conforme apresentado no Quadro 3. Considerando apenas a perda de vidas humanas (L1), o risco tolerável de uso é $R_T = 10^{-5}$.

De acordo com a NBR 5419-2:2015:

Se $R \leq R_T$, não é necessária a implementação de proteção contra descargas atmosféricas.

Se $R > R_T$, devem ser adotadas medidas de proteção para reduzir o risco R até que ele seja inferior ou igual ao risco tolerável R_T , de forma a minimizar as possíveis perdas para todos os riscos aos quais a estrutura está exposta.

Estas medidas podem incluir a instalação de sistemas de proteção como para-raios, sistemas de aterramento e dispositivos de proteção contra surtos (DPS), dependendo das características da estrutura e do tipo de risco envolvido. O objetivo é garantir que o risco global para vidas humanas, danos materiais e interrupção de serviços seja mantido dentro de níveis aceitáveis, conforme especificado na norma.

5.4 CÁLCULO DAS COMPONENTES DE RISCO

A seguir, o componente de risco da estrutura estudada é calculado e comparado com o risco tolerável de R_T para determinar se a implementação de um sistema SPDA é necessária.

- Componentes de risco devido as descargas atmosféricas na estrutura (S1). Componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico (D1):

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A \quad (5.1)$$

Componente relacionado a falha de sistemas internos (D2):

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B \quad (5.2)$$

- Componentes de risco devido a descargas atmosféricas em uma linha conectada à estrutura (S3).

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

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U \quad (5.3)$$

Componente relacionado a danos físicos (D2):

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V \quad (5.4)$$

5.5 CÁLCULO DE PERDAS

Nessa etapa serão calculados os valores de perdas L_A , L_B , L_U e L_V de acordo com as Equações 5.5, 5.6 e 5.7:

$$L_A = r_t \times L_T \times \frac{n_z}{n_t} \times \frac{t_z}{8760} \quad (5.5)$$

$$L_B = L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times \frac{n_z}{n_t} \times \frac{t_z}{8760} \quad (5.6)$$

$$L_U = r_t \times L_T \times \frac{n_z}{n_t} \times \frac{t_z}{8760} \quad (5.7)$$

n_z : Indica o número de pessoas presentes na zona de risco.

n_t : Refere-se ao número total de pessoas dentro da estrutura.

t_z : Representa o tempo durante o qual as pessoas permanecem na zona de risco, expresso em horas por ano.

L_T : Refere-se ao número médio típico de vítimas feridas por choque elétrico (D1) devido a um evento perigoso, conforme especificado no Tabela 9.

L_F : Indica o número médio típico de vítimas por danos físicos (D2) decorrentes de um evento perigoso, conforme o Tabela 9.

r_t : É um fator que reduz a perda de vidas humanas com base no tipo de solo ou piso da estrutura, conforme o Tabela 10.

r_p : Refere-se a um fator de redução de danos físicos, dependendo das medidas adotadas para minimizar as consequências de um incêndio, conforme o Quadro 5.

r_f : Representa um fator de redução de danos físicos baseado no risco de incêndio ou explosão da estrutura, conforme o Quadro 6.

h_z : É um fator de aumento da perda de danos físicos quando um perigo especial estiver presente, conforme o Quadro 7.

Tabela 9 -Valores médios típicos de L_T , L_F e L_O

Tipos de danos	Valor de perda típico	Tipo da estrutura
D1 ferimentos	L_T	10^{-2} Todos os tipos
		10^{-1} Risco de explosão
		10^{-1} Hospital, hotel, escola, edifício cívico
D2 danos físicos	L_F	5×10^{-2} Entretenimento público, igreja, museu
		2×10^{-2} Industrial, comercial
		10^{-2} Outros
D3 falhas de sistemas internos	L_O	10^{-1} Risco de explosão
		10^{-2} Unidade de terapia intensiva e bloco cirúrgico de hospital
		10^{-3} Outras partes de hospital

Fonte: NBR 5419-2, 2015.

Os valores obtidos são: $L_T = 10^{-2}$ (todos os tipos) e $L_F = 2 \times 10^{-2}$ (industrial).

Tabela 10 - Fator de redução r_t em função do tipo da superfície do solo ou piso

Tipo de superfície (b)	Resistência de contato k (a)	r_t
Agricultura, concreto	≤ 1	10^{-2}
Marmore, cerâmica	1 - 10	10^{-3}
Cascalho, tapete, carpete	10 - 100	10^{-4}
Asfalto, linóleo, madeira	≤ 100	10^{-5}

Fonte: NBR 5419-2, 2015.

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

Quadro 5- Fator de redução r_p em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio.

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 (c)	0,2

Fonte: NBR 5419-2, 2015.

Os edifícios possuem um sistema de combate a incêndio automático, utiliza-se $r_p = 0,2$.

Quadro 6 - Fator de redução r_f em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura.

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

Fonte: NBR 5419-2, 2015.

a - Valores medidos entre um eletrodo de 400 cm^2 comprimido com uma força uniforme de 500 N e um ponto considerado no infinito.

b - Uma camada de material isolante, por exemplo, asfalto, de 5 cm de espessura (ou uma camada de cascalho de 15 cm de espessura) geralmente reduz o perigo a um nível tolerável

c - Somente se protegidas contra sobretensões e outros danos e se os bombeiros puderem chegar em menos de 10 min.

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

Quadro 7 -Fator h_z aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo

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

Fonte: NBR 5419-2, 2015

Como a edificação não se enquadra em nenhuma das categorias do Quadro 8, ela não possui nenhum perigo especial. Portanto, $h_z=1$.

Realizando os cálculos de L_A , L_B , L_U e L_V com os valores obtidos dos Quadros:

Obs: $n_t=1930$ pessoas, $n_z=1930$ pessoas e $t_z = 8760$ (horas por ano)

$$L_A = r_t \times L_T \times \frac{n_z}{n_t} \times \frac{t_z}{8760}$$

$$L_A = 10^{-2} \times 1 \times 1$$

$$L_A = 10^{-2}$$

$$L_B = L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times \frac{n_z}{n_t} \times \frac{t_z}{8760}$$

$$L_B = L_V = 0,5 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^{-2} \times 1 \times 1 \times 1$$

$$L_B = L_V = 10^{-5}$$

$$L_U = r_t \times L_T \times \frac{n_z}{n_t} \times \frac{t_z}{8760}$$

$$L_U = 10^{-2} \times 1 \times 1$$

$$L_U = 10^{-2}$$

5.6 CÁLCULO DE PROBABILIDADE

Nessa etapa serão calculados os valores das probabilidades P_A , P_B , P_U e P_V de acordo com as equações:

$$P_A = P_{TA} \times P_B \quad (5.8)$$

PTA: Relevante para medidas de proteção adicionais contra tensão de toque e tensão de passo, conforme descrito no Tabela 11.

Tabela 11 - Valores de probabilidade PTA de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque e de passo perigosas

Medida de proteção adicional	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

Fonte: NBR 5419-2, 2015.

O edifício não possui nenhuma medida de proteção adicional, consideremos $P_{TA} = 1$.

P_B : É estabelecido levando em consideração a NBR 5419-3:2015, que diz respeito ao nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) adotado em projetos SPDA. Os valores de P_B são apresentados no Tabela 12.

Tabela 12 - Valores de probabilidade PB dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos.

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

Fonte: NBR 5419-2, 2015.

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

$$P_A = P_{TA} \times P_B \quad (5.9)$$

$$P_A = 1 \times 1$$

$$P_A = 1$$

Para cálculo do valor de P_U e P_V , utiliza-se a Equação 5.9 e 5.10:

$$P_U = P_{TU} \times P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (5.10)$$

$$P_V = P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (5.11)$$

P_{TU} : Está associado às medidas de proteção contra tensões de toque, como barreiras físicas ou sinais de alerta visíveis. Os valores para P_{TU} estão no Tabela 13.

Tabela 13 - Valores da probabilidade PTU de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque perigosas.

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

Fonte: NBR 5419-2, 2015.

P_{EB} : Refere-se à ligação equipotencial (EB) de proteção contra descargas atmosféricas definida na NBR 5419-3:2015, e ao nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) utilizado no projeto do DPS. Os valores do P_{EB} podem ser encontrados no Tabela 14.

Tabela 14 - Valor da probabilidade PEB em função do NP para o qual os DPS foram projetados.

Nível de Proteção	P_{EB}
Sem DPS	1
III - IV	0,05
II	0,02
I	0,01

Fonte: NBR 5419-2, 2015.

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

P_{LD} : Indica a probabilidade de falha interna do sistema causada por descargas atmosféricas nas linhas de ligação, dependendo das características dessas linhas. Os valores de P_{LD} podem ser encontrados no Tabela 15.

Tabela 15 - Valores da probabilidade PLD dependendo da resistência RS da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso UW do equipamento.

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

Fonte: NBR 5419-2, 2015.

O edifício possui as linhas de energia enterradas e não blindadas. De acordo com o Tabela 15, independentemente do valor de tensão suportável admite-se $P_{LD} = 1$.

C_{LD} : Corresponde a um coeficiente que varia em função das condições de blindagem, aterramento e isolamento da linha. Os valores de C_{LD} podem ser encontrados no Tabela 16.

Tabela 16 - Valores dos fatores CLD e CLI dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento.

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 multi-aterrado	Nenhuma	1	0,2
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o e equipamento	1	0,3
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,1
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0

Fonte: NBR 5419-2, 2015.

Admite-se $C_{LD} = 1$ (Linha enterrada não blindada, conexão de entrada indefinida).

Calculado o valor de PU e PV:

$$P_U = P_{TU} \times P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (5.12)$$

$$P_U = 1 \times 1 \times 1 \times 1$$

$$P_U = 1$$

$$P_V = P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (5.13)$$

$$P_V = 1 \times 1 \times 1$$

$$P_V = 1$$

5.7 NÚMERO ANUAL N DE EVENTOS PERIGOSOS

Neste tópico serão calculados o número de eventos N_D , N_{DJ} , N_L levando em consideração as equações a seguir apresentadas:

- Número de eventos perigosos ND para a estrutura.

$$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6} \quad (5.14)$$

N_G - é a densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/km^2 \cdot \text{ano}$);

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

C_D - é o fator de localização da estrutura (ver Quadro 8).

A densidade de descarga atmosférica (N_G) pode ser obtida através do site do INPE ELAT, ou através do mapa de descargas atmosféricas disponibilizado na NBR 5419-2:2015. Como estamos estudando a situação real de indústria, a densidade de descarga atmosférica na cidade de Jaboatão dos Guararapes PE é de $N_G=0,37 \text{ km}^2/\text{ano}$.

Podemos obter A_D realizando alguns cálculos, onde L, W e H são respectivamente, comprimento, largura e altura da edificação analisada:

$$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2 \quad (5.15)$$

$$A_D = 168 \times 12 + 2 \times (3 \times 12) \times (168 + 100) + \pi \times (3 \times 12)^2$$

$$A_D = 25383,5\text{m}^2$$

Quadro 8 - Fator de localização da estrutura CD

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

Fonte: NBR 5419-2, 2015.

Para obter o fator N_D:

$$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6} \quad (5.16)$$

$$N_D = 0,37 \times 25383,5 \times 0,5 \times 10^{-6}$$

$$N_D = 4,69 \times 10^{-3}$$

- Número de eventos perigosos N_{DJ} em estruturas adjacentes.

A estrutura em estudo possui edificações próximas, portanto a NBR 5419 exige a contagem do número de eventos N_{DJ} para estruturas adjacentes:

$$N_{DJ} = N_G \times A_{DJ} \times C_{DJ} \times C_T \times 10^{-6} \quad (5.17)$$

A_{DJ} - área exposta equivalente de estruturas contíguas, expressa em metros quadrados (m²);

C_{DJ} - é o coeficiente de localização das estruturas adjacentes (ver Quadro 8);

C_T - é o coeficiente do tipo de linha (ver Quadro 11);

A área exposta das estruturas adjacentes é calculada utilizando a Equação 5.15, com base nas informações da norma foi levada em consideração as medidas da subestação da indústria:

Altura = 5 metros;

Comprimento = 20 metros

Largura = 10 metros.

$$A_{DJ} = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2 \quad (5.18)$$

$$A_{DJ} = 20 \times 10 + 2 \times (3 \times 5) \times (20 + 5) + \pi \times (3 \times 5)^2$$

$$A_{DJ} = 1656,85\text{m}^2$$

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

$$N_L = N_G \times A_L \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \quad (5.19)$$

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

N_G – é a densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1\text{km}^2 \times \text{ano}$);

A_L – é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha;

C_I – é o fator de instalação da linha (ver Quadro 9);

C_E – é o fator ambiental (ver Quadro 11).

Para a área exposta equivalente de uma linha, onde L_L é o comprimento da seção da linha em metros (m), aplica-se a fórmula:

Nota: Quando o comprimento do segmento de reta é desconhecido, pode-se assumir que $L_L = 1000 \text{ m}$.

$$A_L = 40 \times L_L \quad (5.20)$$

$$A_L = 40 \times 1000$$

$$A_L = 40000\text{m}$$

Quadro 9 - Fator de instalação da linha CI

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

Fonte: NBR 5419-2, 2015.

Como as linhas do sistema aqui estudado encontra-se enterradas, o $C_I = 0,5$.

Quadro 10 - Fator tipo de linha CT

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

Fonte: NBR 5419-2, 2015.

A estrutura aqui estudada por se tratar de uma indústria possui transformador em sua linha de energia, por isso $C_T = 0,5$.

Quadro 11 - Fator ambiental da linha CE.

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

Fonte: NBR 5419-2, 2015.

A edificação estudada neste relatório está localizada em um ambiente urbano. Desta forma, $C_E = 0,1$.

Calculando N_L :

$$N_L = N_G \times A_L \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \quad (5.21)$$

$$N_L = 0,37 \times 40000 \times 0,5 \times 0,1 \times 0,5 \times 10^{-6}$$

$$N_L = 3,7 \times 10^{-4}$$

Por fim, é calculado R_A , R_B , R_U , R_V e deve-se comparar os valores obtidos com o risco tolerável (RT).

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A \quad (5.22)$$

$$R_A = 4,69 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^{-2}$$

$$R_A = 4,69 \times 10^{-5}$$

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B \quad (5.23)$$

$$R_B = 4,69 \times 10^{-2} \times 1 \times 10^{-5}$$

$$R_B = 4,69 \times 10^{-8}$$

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U \quad (5.24)$$

$$R_U = (3,7 \times 10^{-4} + 1,53 \times 10^{-4}) \times 1 \times 10^{-2}$$

$$R_U = 5,23 \times 10^{-6}$$

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V \quad (5.25)$$

$$R_V = (3,7 \times 10^{-4} + 1,53 \times 10^{-4}) \times 1 \times 10^{-5}$$

$$R_V = 5,3 \times 10^{-4}$$

$$R_A + R_B + R_U + R_V = 5,8 \times 10^{-4} \quad (5.26)$$

Como $5,8 \times 10^{-4} > R_T (10^{-5})$, o sistema de SPDA é necessário.

5.8 DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS

5.8.1 Metodologia e tipo de SPDA adotado

O nível de proteção escolhido, de acordo com a NBR 5419:2015, foi o nível III, para a maioria das edificações, com exceção, do Depósito de Inflamáveis e Galpão de Pintura, os quais são do nível II.

O método adotado no projeto para captação das descargas atmosféricas para a maioria das edificações, foi o da gaiola de Faraday, o qual permite a distribuição da proteção por toda a estrutura, aumentando a eficiência do SPDA quando comparado ao método de Franklin. Já no reservatório de água foi utilizado um método diferente, o da esfera rolante, a escolha se deu devido a altura elevada da edificação e sua área horizontal ser menor se comparada com as demais edificações.

O método da gaiola de Faraday apresenta nível de proteção elevado, onde consiste no envolvimento da parte superior da construção (coberta) com uma malha de condutores elétricos nus, denominada de Malha Captora, a qual tem seu fechamento em anel, onde todos os pontos da captação estarão no mesmo diferencial de potencial (ddp). Essa malha será interligada a malha de aterramento por meios de descidas utilizando barras chatas de alumínio.

Levando-se em consideração que a altura do para-raios, que será instalado no reservatório elevado é de 40 metros em relação ao solo e que o método de Franklin tem limitações quanto a altura do para-raios do sistema, em relação à laje (plano a ser protegido). Sendo assim, para um sistema SPDA Classe III esta altura não pode ser maior que 30m. Para casos como este, o método Franklin, não poderá ser aplicado isoladamente (premissas de projeto), sendo aplicado também, os métodos de esfera rolante e gaiola de Faraday para tais situações, o que pode ser evidenciado pelo gráfico da Figura 3, extraído da NBR 5419:2015.

O método de gaiola de Faraday, ao contrário do método de Franklin (com as suas limitações, já mencionadas acima), é indicado justamente para casos em que há grandes edificações, com grandes áreas horizontais a serem atendidas pela área de cobertura do sistema SPDA, nas quais seriam necessários uma grande quantidade de captadores do tipo Franklin, tornando o projeto muito oneroso.

Esta metodologia (Gaiola de Faraday), é fundamentada na teoria pela qual o campo eletromagnético é nulo no interior de uma estrutura metálica ou envolvida por uma superfície metálica ou por uma malha metálica, quando são percorridas por uma corrente elétrica de qualquer intensidade.

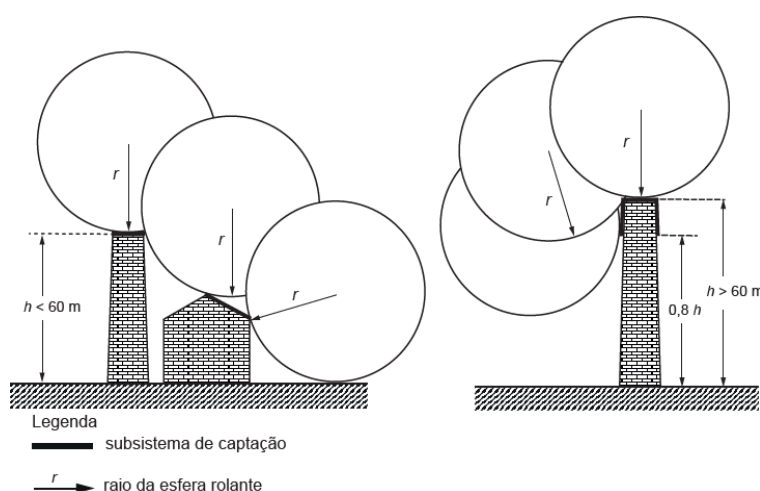
Para implementações do método de Faraday, para um sistema SPDA classe III, a norma recomenda a utilização de uma malha de no máximo 15mx15m, para o sistema de captação, de acordo com o Quadro 5.

Em complemento às informações já apresentadas, como são várias edificações a serem protegidas, a norma recomenda além da gaiola de Faraday, a utilização do método de esfera rolante (também conhecido como método eletrogeométrico), para verificação de eficiência de cobertura e possível verificação de pontos descobertos, onde que para sistemas SPDA de classe

III, como neste caso, utilizando-se para esta análise, esfera rolante de raio $R=45\text{m}$, de acordo com o Quadro 05, extraído da NBR 5419:2015.

O adequado posicionamento do subsistema de captação na aplicação deste método ocorre se nenhum ponto da estrutura a ser protegida entrar em contato com uma esfera fictícia rolando ao redor e no topo da estrutura em todas as direções possíveis. O raio (R), dessa esfera depende da classe do SPDA (ver Tabela 2). Sendo assim, a esfera somente poderá tocar o próprio subsistema de captação (ver Figura 11).

Figura 11 - Ilustração método da esfera rolante



Fonte: NBR 5419, 2015.

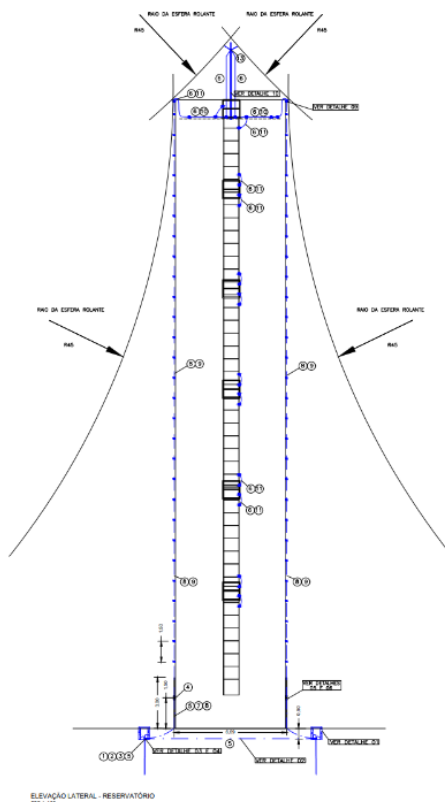
Pode ocorrer impacto direto nas laterais de todas as estruturas com altura maior que o raio (R), da esfera rolante. Cada ponto lateral tocado pela esfera rolante é um ponto possível de ocorrência de impacto direto. Entretanto, a probabilidade de ocorrência de descargas laterais é, geralmente, desprezível para estruturas com altura inferior a 60 metros, como no caso das edificações implementadas com este projeto.

Além disso, estatísticas mostram que a probabilidade de as descargas atmosféricas ocorrerem na lateral das estruturas aumenta consideravelmente em função da altura do ponto de impacto, nas estruturas de altura elevada, quando medidas a partir do solo.

Por esta razão, a instalação de captação na lateral da parte superior das estruturas altas (tipicamente a 20 % do topo da altura da estrutura) deve ser considerada. Neste caso, o método da esfera rolante é aplicado somente para o posicionamento do subsistema de captação na parte

superior da estrutura, onde podemos mencionar que no nosso caso, a Estrutura Vertical (Torre metálica) já existe, ou seja, fizemos a análise eletrogeométrica, considerando a situação atual da edificação.

Figura 12 - Raio da esfera rolante no aplicado no reservatório de água



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

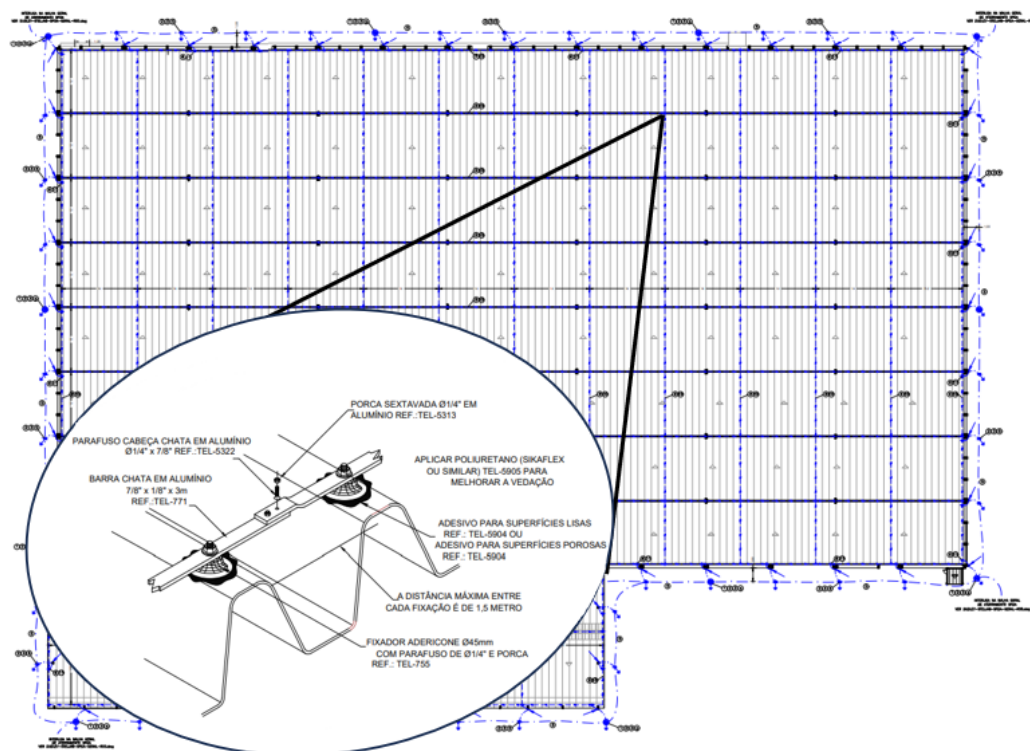
Portanto, como já descrito anteriormente, um sistema SPDA é composto de 3 (três) subsistemas: subsistema captor, subsistema de descida e subsistema de aterramento. Descreveremos os mesmos como deverão ser implementados, divididos por subsistema, conforme projeto de SPDA elaborado.

5.8.2 Subsistema de captação do SPDA projetado

Em todas as cobertas não metálicas, deverão ser lançados barras chatas de Alumínio 7/8"x1/8" (70mm²), formando as quadrículas das malhas captoras, devendo ser interligadas, seguindo o modelo da Gaiola de Faraday, como é possível observar na Figura 13.

As referidas barras chatas de alumínio, deverão ser fixados a cada 1,00m através de presilhas de latão com fixadores tipo Adericone ou Aderidisco ou similar, a fim de evitar furos nas telhas e na cobertura (impermeabilização) e possíveis pontos de vazamentos nas mesmas.

Figura 13 - Malha captora do Galpão da Produção e detalhe de fixação ao telhado



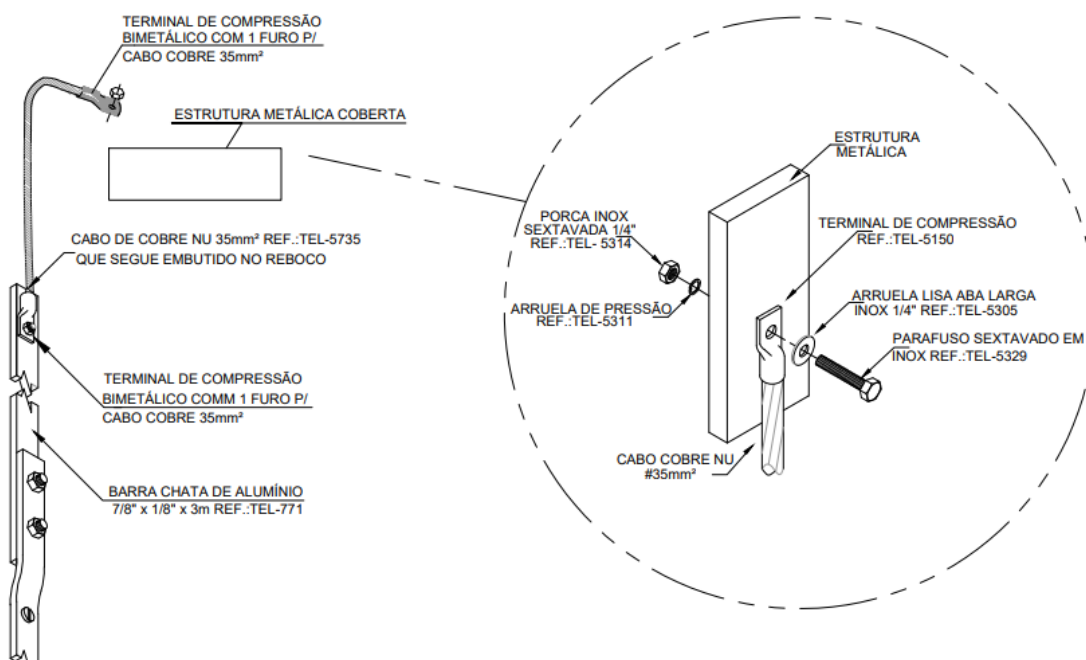
Fonte: elaborado pelo próprio autor.

No caso de colocação de antenas ou outras estruturas metálicas, acima do volume protegido, deve-se providenciar a instalação de jumpers, de cabo de aço galvanizado à fogo ou aço inoxidável de 50mm², interligando estas estruturas ao subsistema de captação projetado.

Todas as estruturas metálicas existentes na cobertura das edificações (antenas, escadas, mastros, equipamentos metálicos, carcaças metálicas, tubos, esteiramentos, guarda corpos, chaminés, dentre outros) deverão ser interligados ao ponto mais próximo do sistema de captação para equalização de potencial e escoamento de alguma possível descarga, através da instalação jumpers, de cabo de aço galvanizado à fogo ou aço inoxidável de 50mm².

Para as edificações com cobertas com telhas metálicas em aço galvanizado com espessura acima de 0,50mm, as mesmas serão utilizadas como elementos de captação natural, não havendo necessidade de instalação das barras chatas de alumínio descritas acima. As telhas deverão ser interligadas ao subsistema de descida através de cabos de cobre nu #35mm², conforme figura 14.

Figura 14 - Interligação entre cobertura metálica e subsistema de descida

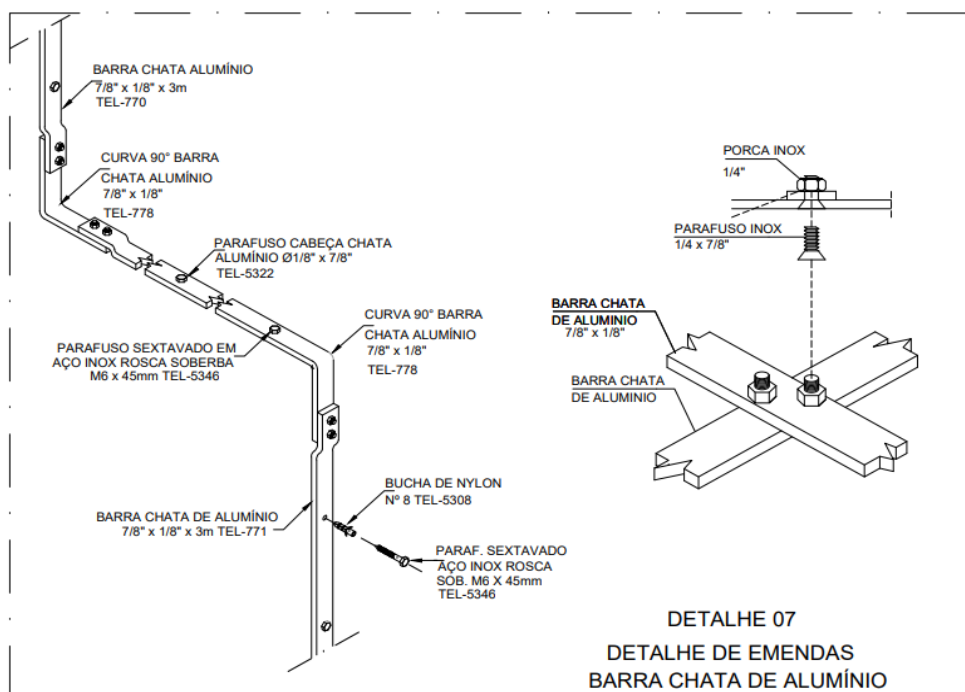


Fonte: elaborado pelo próprio autor.

5.8.3 Subsistema de descida do SPDA projetado

Com exceção da edificação Apoio da Expedição, as descidas do SPDA serão realizadas através de barras chatas de alumínio 7/8" x 1/8" x 3,00m fixadas diretamente nas estruturas de concreto/alvenaria através de buchas de nylon nº 8 com parafusos sextavados, conforme Figura 15, a cada 1,50m até 1,50 m do solo. As interligações das barras chatas serão realizadas através de parafusos sextavados de alumínio.

Figura 15 - Maneira de fixação da barra chata na estrutura de concreto



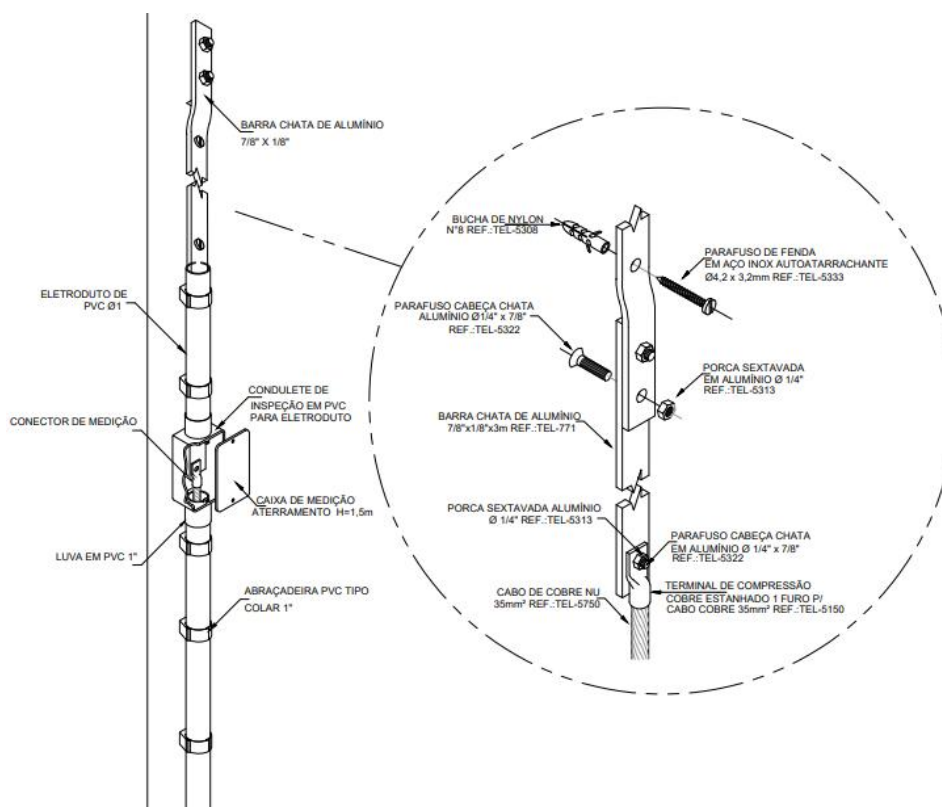
Fonte: elaborado pelo próprio autor.

De acordo com a Figura 16 e seguindo as recomendações normativas, as interligações das barras chatas de alumínio com os cabos do subsistema de captação serão através de terminais de compressões bimetálicos #35mm² ou terminais de medição apropriados, utilizando e acondicionando os mesmos em uma caixa de medição, sobreposta na parede, onde haverá a transição, entre as barras chatas de alumínio e o cabo de cobre nu de 50mm², da malha de aterramento, evitando a formação de par galvânico.

As interligações das barras chatas de alumínio com os cabos do subsistema de aterramento serão também através de terminais de compressões bimetálicos de #50mm² ou terminais de medição apropriados, evitando a formação de par galvânico.

Como os pilares da estrutura da edificação, Apoio da Expedição, são metálicos, eles serão elementos do subsistema de descida, onde os cabos do subsistema de aterramento serão conectados através de terminais de compressões bimetálicos de #50mm², evitando a formação de par galvânico.

Figura 16 - Caixa de inspeção com conexão entre barra chata e cabo de cobre



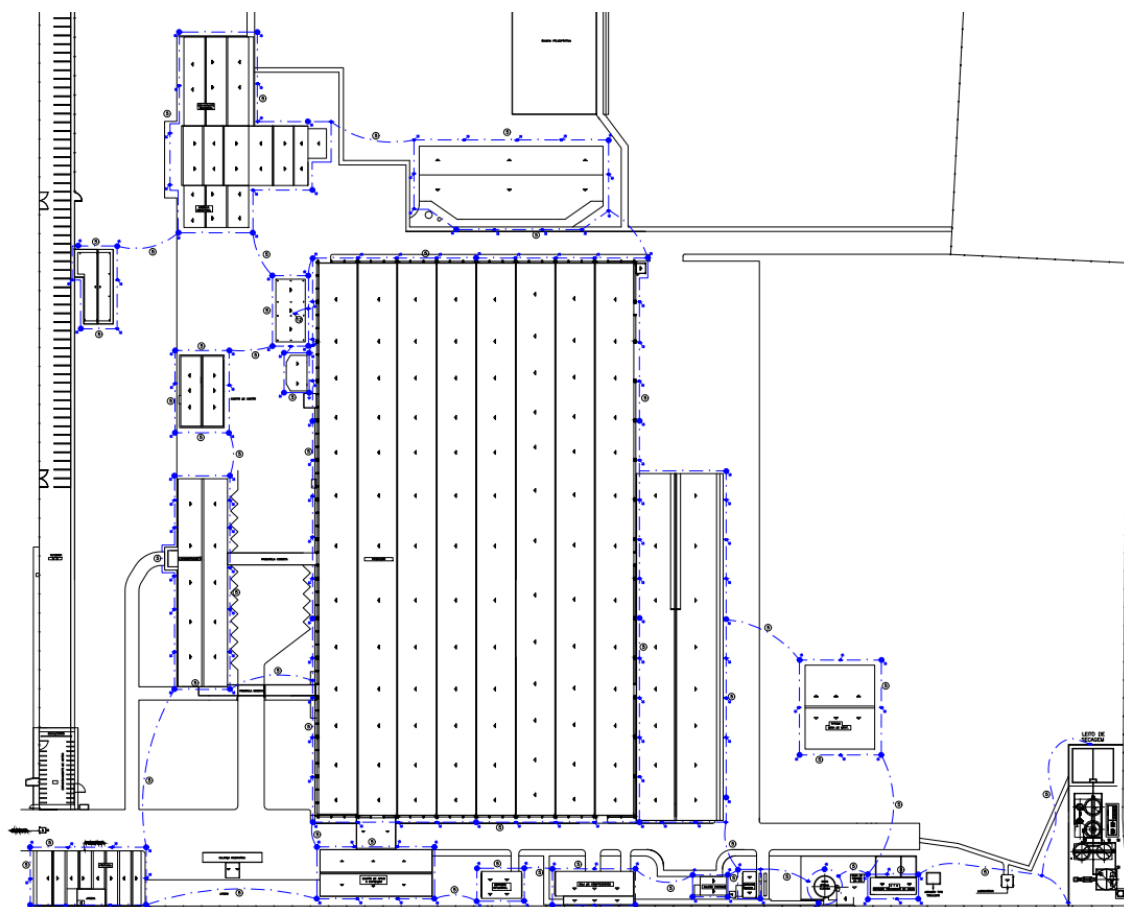
Fonte: elaborado pelo próprio autor.

5.8.4 Subsistema de malha de aterramento do SPDA projetado

Deverá ser aplicado o modelo da figura 17, onde os eletrodos serão dispostos ao longo de todos os perímetros, fechando o anel, conforme exigência da norma NBR 5419:2015, pois as estruturas a serem protegidas possuem perímetro com mais de 25m.

As malhas de terra fechando os anéis em todos os perímetros das edificações serão executadas com cabos de cobre nu de #50mm², instalados a uma profundidade de 0,50m, onde deverão ser implementadas interligando todas as malhas, previstas em projeto, à malha de aterramento geral.

Figura 17 - Malha de aterramento geral

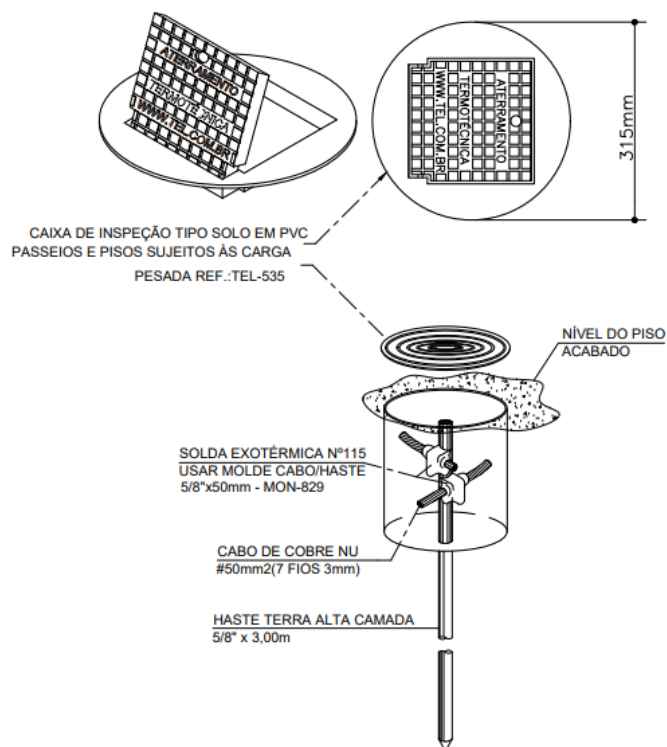


Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Nos pontos de descidas, previstos em projeto, deverão ser instaladas caixas de inspeção tipo solo em PVC com tampa em ferro fundido reforçada com bocal inferior quadrado articulado e borda exterior redonda de 300mm para passeios e pisos sujeitos a carga pesada, conforme Figura 18. Deverão ser utilizadas hastes de terra tipo *copperweld* de camada alta (254 micros) de dimensões Ø 5/8" x 2,40m.

As malhas de terra do SPDA das edificações deverão ser interligadas entre si com dois cabos de cobre nu de #50mm², a fim de garantir a equipotencialidade do sistema de aterramento.

Figura 18 - Caixa de inspeção, com haste e soldas exotérmicas

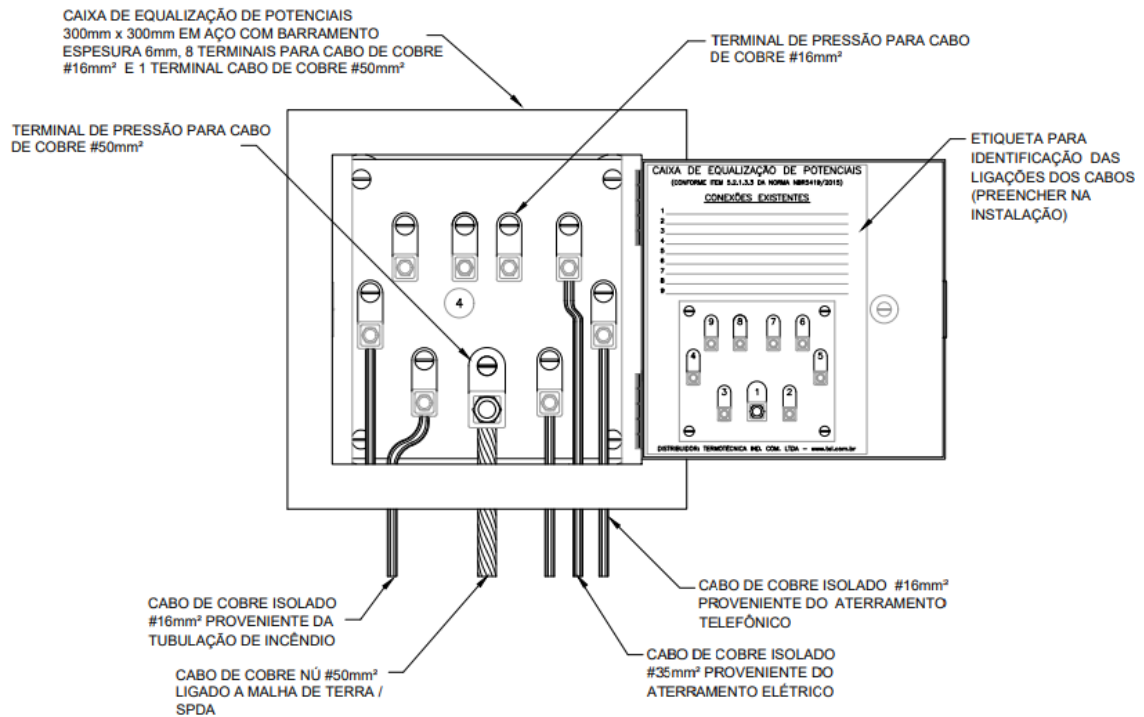


Fonte: elaborado pelo próprio autor.

As conexões dos cabos da malha de terra com as hastes e demais conexões subterrâneas, deverão ser do tipo exotérmica, utilizando moldes apropriados, como é possível verificar na Figura 18.

Todos os aterramentos existentes na edificação, como centro de medição, telefonia etc., deverão ser conectados a BEP, de acordo com a Figura 19. Todas as tubulações metálicas que cruzarem com o anel de aterramento deverão ser interligadas a esse ponto de cruzamento.

Figura 19 - Caixa de equalização BEP



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

6 TESTE DE CONTINUIDADE DO SISTEMA

O teste de continuidade é realizado para verificar a integridade elétrica do SPDA, esse tipo de teste garante que os componentes, como captadores, condutores de descida e aterramento, estão interligados. Através deste teste podemos garantir que a corrente elétrica das descargas atmosféricas poderam fluir sem altas resistências ou impedimentos.

O teste é realizado utilizando equipamentos específicos como o Mili-ohmímetro, para realizar a medição de continuidade elétrica entre as diferentes edificações que compõem o sistema. Esse tipo de medição deve ser realizado de forma periódica, conforme orienta a NBR 5419:2015, e sempre que ocorrer alterações ou manutenções no sistema. Quando não há continuidade no sistema, é indicação clara de falha, como conexões mal feitas, corrosão ou rompimento de condutores, as quais devem ser corrigidas imediatamente para manter a eficácia do SPDA.

No fim da execução do projeto descrito anteriormente, foram realizadas as medições de continuidade do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA), em todas as 17 edificações, o que soma uma área construída de 25.510,48 m². Foram inspecionados todos os 146 pontos de caixa de medição, localizadas nas paredes das edificações, as quais abrigam a interligação entre o cabo de cobre nu e a barra chata de alumínio, conforme Figura 16.

De acordo com a norma NBR 5419:2015, o teste deve comprovar baixa resistência do SPDA. Embora a norma não especifique um valor exato de resistência para o teste de continuidade, espera-se que a resistência entre os elementos do sistema seja próxima de zero, geralmente abaixo de 1 Ω .

Foi utilizado um Mili-ohmímetro digital para realização do teste, foram medidas a continuidade do sistema instalados em cada prédio e a continuidade entre o sistema de captação e a malha de aterramento. Para tal são desfeitas todas as interligações entre a barra chata e o cabo de cobre, os alicates são interligados em pontos diferentes da edificação, o instrumento injeta uma corrente de 1A no sistema e é medido o valor de resistência do sistema no outro ponto de conexão. O instrumento possibilita medir resistência no limite de 200m Ω , idealmente todos os pontos medidos devem mostrar valores de resistência próximos a zero.

Na Figura 20, é possível visualizar como exemplo um ponto medição do Galpão da Produção. Foi realizada a conexão ao sistema utilizando as duas garras, e foi retornado o valor de resistência de 10,2m Ω um valor muito inferior a 1 Ω . O que indica que o sistema está em perfeito estado e possui baixa resistência para corrente elétrica.

Figura 20 - Medição de continuidade e valor de resistência



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Na Tabela 10, estão apresentados os maiores valores de resistência medidos em todas as 17 edificações, todos os valores medidos foram inferiores a 200m Ω . Portanto, todo o sistema instalado está de acordo com a norma 5419:2015 e em pleno funcionamento.

Tabela 17 - Maior valor de resistência em cada edificação

Edificação	Valor de resistência (m Ω)
Administração	50,9
Centro de gestão (SPW)	6,4
Manutenção	7,0
Refeitório	18,8
ETA	21,3
Ambulatório	13,8
Expedição	5,7
Sala de compressores	10,3
Depósito inflamável	10,2
Depósito de pintura	16,6
Produção	16,7
Métodos	10,9
Vestiário	10,4
Subestação	91,8

Tabela 17 (Continuação) - Maior valor de resistência em cada edificação

Edificação	Valor de resistência (mΩ)
Reservatório Superior	116,5
Portaria 1	10,7
Portaria 2	6,5

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

7 MANUTENÇÃO DO SISTEMA

A manutenção do SPDA é importante para manter o sistema funcionando bem e em acordo com a NBR 5419:2015. Ela precisa ser feita de tempos em tempos, sempre que o sistema for atingido por um raio ou quando passar por situações de clima mais pesado, como tempestades fortes ou ventos intensos. Em geral, a manutenção começa com uma verificação visual, olhando se há corrosão, danos, ligações soltas ou rompidas, além de mudanças na estrutura que possam atrapalhar o desempenho do SPDA.

Além dessa checagem a olho nu, dá para fazer alguns testes para confirmar se a parte elétrica do sistema está ok. O teste de continuidade serve para ver se não existe nenhuma interrupção nos condutores e nas conexões. Já a medição da resistência de aterramento mostra se o aterramento está dentro do valor considerado aceitável, que costuma ser até 10Ω , ajudando a garantir que a corrente seja dissipada no solo de forma eficiente. Se aparecerem falhas ou resultados fora do esperado, é necessário fazer os ajustes e correções para que o sistema volte a operar como deve.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quando se trata de descargas atmosféricas, a prevenção é apresentada como principal maneira de se antecipar aos efeitos destas situações. A instalação de um Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA) em concordância com a norma NBR 5419:2015, acarreta diversos benefícios para as edificações no qual o sistema se encontra instalado. Tendo em vista que o sistema aqui estudado foi instalado em uma indústria podemos citar como benefícios, a proteção dos colaboradores e de todo o parque tecnológico que a empresa abriga em seu interior.

Vale a pena ressaltar que os estudos sobre a instalação do sistema de proteção contra descargas atmosféricas devem ser realizados durante as etapas dos projetos da edificação. No entanto, como a edificação aqui estudada é datada do século XX, o SPDA nela instalado estava em inconformidade com a norma atual, fazendo necessário realizar um novo projeto e consequentemente uma nova instalação.

O projeto de SPDA apresentado neste trabalho foi desenvolvido no ano de 2021 e executado no ano de 2024. Toda a instalação foi testada e encontra-se em acordo com norma NBR 5419:2015 e em plenas condições de uso. Todo planejamento e serviço foi acompanhado por profissional habilitado e capacitado para tal atividade.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5419**: proteção de estruturas contra descargas atmosféricas: Parte 1: princípios gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5419**: proteção de estruturas contra descargas atmosféricas: Parte 2: gerenciamento de risco. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5419**: proteção de estruturas contra descargas atmosféricas: Parte 3: danos físicos a estruturas e perigos à vida. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5419**: proteção de estruturas contra descargas atmosféricas: Parte 4: sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

COELHO, P. C.; SILVA, J. R.; ALMEIDA, R. P. **Proteção contra descargas atmosféricas**: uma visão geral dos SPDA. São Paulo: Ed. Técnico, 2012.

CREDER, Hélio. **Instalações elétricas**. 12. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1999.

ISAACSON, Walter. **Benjamin Franklin**: uma vida americana. São Paulo: Schwarcz, 2015.

MAMEDE, Hélio Augusto Ribeiro. **Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas**: fundamentos e aplicações. São Paulo: Érica, 2009.

SOUZA, André Nunes. **SPDA – Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas**: teoria, prática e legislação. 2. ed. São Paulo: Érica, 2020.

OLIVEIRA, José Barbosa de. **A visão da nova ABNT NBR 5419 sobre os materiais**. O setor elétrico, [2015]. Disponível em: <https://www.osetoelettrico.com.br/a-visao-da-nova-abnt-nbr-5419-sobre-os-materiais/> . Acesso em: 16 nov. 2024.

PINTO JUNIOR, Osmar. **O que são os raios?** São Paulo: Oficina de textos, 2018.

PORTIER, Michel. **Proteção de sistemas contra descargas atmosféricas**: teoria e prática. São Paulo: Nova Técnica Editorial, 2010.

RAKOV, V. A.; UMAN, M. A. **Lightning**: physics and effects. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

UMAN, M. A. **The Lightning Discharge**. New York: Dover Publications, 2001.

ANEXO A – CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO MILI OHMIMETRO

Figura A.1 - Certificado de calibração do Mili ohmímetro

instrum	
Certificado de Calibração N°: 08282/2023	
Instrumento : MILLI-OHMIMETRO Digital	Marca : INSTRUM
Modelo : MILLI-OHM 1	N° de Série : IN 026071-26861
Solicitante : GRAVATEC CONSULTORIA EM GESTÃO LTDA	
Endereço : Rua Professor Mario Ramos, 215 Jaboatão dos Guararapes - PE	
Condições Ambientais : Temperatura : 23 °C ± 5 °C - Umidade : Inferior a 70 %	
Precisão : ± 1% do valor de leitura ± 1% do fundo de escala.	
Procedimento de Calibração : 06-101 (rev. 2)	
Medida direta dos padrões de Laboratório, rastreados a RBC. Foram realizados 3 (três) medidas de cada ponto apresentado, sendo informado o valor médio.	
Padrões Utilizados : Calibrador de Processo Multifunção, marca: FLUKE, modelo: 744	
Certificado de Calibração da Socintec N° RI 2418/23	
Data da Calibração : 18/04/2023 e Data de Validade : 18/04/2025	
Laboratório de Calibração acreditado pela Cgcre/INMETRO	
de acordo com ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o n° CAL 250	

Resultados Obtidos

ESCALA	Valor da Resistência Padrão	Valor Medido	Incertezdas Medições ± (%)
200 mΩ	100,60 mΩ	100,6 mΩ	0,05
200 mΩ	167,20 mΩ	167,2 mΩ	0,05
2 Ω	0,2500 Ω	0,250 Ω	0,05
2 Ω	1,0030 Ω	1,003 Ω	0,05
2 Ω	1,5050 Ω	1,505 Ω	0,05

Os resultados apresentados referem-se exclusivamente ao objeto ensaiado, nas condições especificadas, não sendo extensivo a quaisquer lotes. A sua reprodução poderá somente ser completa e dependerá da autorização formal da INSTRUM DO BRASIL INDÚSTRIA ELETRÔNICA LTDA

Executado em : 18/08/2023 Com Validade até : 18/08/2024
Por Emmanuel Fabiano Pereira CFT: 31254201807

Rafael Nunes De Vita
Diretor Técnico

Página 1 de 1

INSTRUM DO BRASIL INDÚSTRIA ELETRÔNICA LTDA
Av. Morumbi N° 7.948 - Conj. 03 - Brooklin - São Paulo - SP - CEP : 04703-001
Fone : 11 5543-6100 Site: www.instrumbrasil.com.br

