

**FACULDADE DOCTUM DE JOÃO MONLEVADE
INSTITUTO ENSINAR BRASIL - REDE DOCTUM DE ENSINO**

**JAQUES MARTINS QUINTÃO
RAYLANDER DE FREITAS COURA**

**SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS –
AVALIAÇÃO DE PROJETO IMPLEMENTADO EM UMA EDIFICAÇÃO
INDUSTRIAL**

**JOÃO MONLEVADE
2019**

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL
FACULDADE DOCTUM JOÃO MONLEVADE**

**JAQUES MARTINS QUINTÃO
RAYLANDER DE FREITAS COURA**

**SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS –
AVALIAÇÃO DE PROJETO IMPLEMENTADO EM UMA EDIFICAÇÃO
INDUSTRIAL**

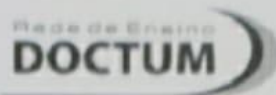
**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso
de Engenharia Elétrica Doctum de João
Monlevade, como requisito parcial para
a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Elétrica.**

**Área de Concentração: Sistemas de
Proteção.**

**Orientador: Prof. Rinaldo Nonato e
Silva.**

JOÃO MONLEVADE

2019



INSTITUTO ENSINAR BRASIL
FACULDADE DOCTUM JOÃO MONLEVADE

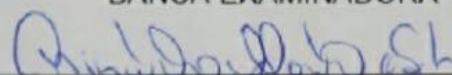
FOLHA DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS: AVALIAÇÃO DE PROJETO IMPLEMENTADO EM UMA EDIFICAÇÃO INDUSTRIAL, elaborado pelos alunos JAQUES MARTINS QUINTÃO e RAYLANDER DE FREITAS COURA foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de Engenharia Elétrica da Faculdade Doctum João Monlevade, como requisito parcial para obtenção do título de

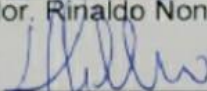
BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

João Monlevade, 12 de Dezembro 2019

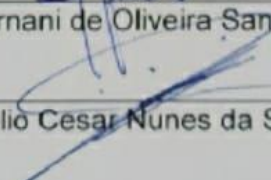
BANCA EXAMINADORA



Prof. Orientador, Rinaldo Nonato e Silva



Esp. Hernani de Oliveira Santiago



Esp. Júlio Cesar Nunes da Silva

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecemos a Deus por ter nos proporcionado saúde para chegar ao fim de mais esta etapa tão importante em nossas vidas.

Agradecemos aos nossos pais e familiares por toda dedicação, afeto, compreensão e acima de tudo paciência que tiveram conosco facilitando assim nosso caminho até aqui.

Agradecemos as nossas namoradas que estiveram ao nosso lado com todo amor, carinho e paciência.

Agradecemos aos nossos professores, pela dedicação e também pela ajuda cotidiana oferecida ao longo destes anos, facilitando assim nosso aprendizado.

Agradecemos a instituição por ter nos dado os recursos necessários para que pudéssemos concluir mais esta etapa em nossas vidas.

ABREVIATURAS E SIGLAS

SPDA – Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma Técnica Brasileira

IEC – International Electrotechnical Commission

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

MG – Minas Gerais

PRIMER – Dispositivo de Ionização

MASH – enlace de condutores conectados

PROX – Aproximado

CE – Comissão de estudos

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ocorrência de um raio.....	17
Figura 2 - Características da tensão de impulso de raio.....	21
Figura 3 - Funcionamento de um para-raio.....	27
Figura 4 - Principais partes de um para-raio.....	28
Figura 5 - Para-raio tipo Franklin.....	33
Figura 6 - Para-raio Gaiola de Faraday.....	34
Figura 7 - Para-raio Radioativo.....	36
Figura 8 – Predio da britagem.....	43
Figura 9 – Planta de cobertura	46
Figura 10 – Vista lateral do projeto SPDA.....	48
Figura 11 – Vista lateral do projeto SPDA (2).....	49
Figura 12 – Planta de aterramento.....	51
Figura 13 – Drone Mavic-Pro.....	52
Figura 14 – vista aérea frontal do mash de captação.....	53
Figura 15 – vista aérea completa do mash de captação.....	53
Figura 16 – Descida não natural.....	54
Figura 17 – Descida natural.....	55
Figura 18 – Galpão de oficina.....	56
Figura 19 – Containers.....	56
Figura 20 – Fluke 376.....	57
Figura 21 – Poço com haste acessível	62
Figura 22 – Conexão à lateral a haste	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Detalhes	45
Tabela 2 - Equipotencialização de estruturas e equipamentos	58
Tabela 3 - Fatores de ponderação para edificação.....	60
Tabela 4 - Resultado edificação.....	60
Tabela 5 - Fatores de ponderação para containers.....	64
Tabela 6 - Resultado containers.....	64
Tabela 7 - Fatores de ponderação para oficina.....	66
Tabela 8 - Resultado oficina.....	66

LISTA DE SÍMBOLOS

% – Por cento

Ω – Omhs

Hz – Hertz

$^{\circ}\text{C}$ – Graus Célsius

GA – Giga Amperes

MA – Mega Amperes

KA – Kilo Amperes

KHz – Quilo hertz

kW – Quilowatt

mA – Miliamper

J / m – Joule por Metro

MHz – Mega hertz

ms – Milissegundos

mV – Milivolt

THz – Tera hertz

W – Watt

Mw – Mega Watt

Km – Quilômetros

GV – Giga Volts

GW – Giga Watts

Cm – Centímetro

RESUMO

As descargas atmosféricas são fenômenos naturais causados pelo atrito das nuvens no céu, gerando um efeito de eletrização de grande diferença potencial. Os Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas podem minimizar os efeitos nas instalações, construções e proteger as pessoas, tendo como função dissipar para a terra a corrente elétrica, minimizando assim o impacto, sendo que a queda do mesmo pode causar danos a instalações, edifícios, indústrias e até mesmo morte de um ser humano por fibrilação ventricular ou parada respiratória. A NBR 5419 – Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas, descreve os parâmetros a serem seguidos para a devida elaboração de um projeto SPDA.

A pesquisa quanto à abrangência é qualitativa, quanto aos fins é descritiva, aos meios a coleta de dados foi feita por pesquisa de campo e pesquisas bibliográficas constituídas de livros e artigos científicos, o tamanho da população é indiferente, o tipo e tamanho da amostra não é probabilística, para coleta de dados foi feito um estudo de caso de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) em uma edificação em uma mineradora situada em São Gonçalo do Rio Abaixo- MG avaliando então as condições e adequações necessárias conforme as normas atuais. No estudo do projeto foi descrito o projeto elaborado no ano de 2009, a malha de captação, malha de descida e o aterramento, além de um levantamento de dados visando verificar anomalias em todo sistema de SPDA, por fim fora proposto as devidas oportunidades de melhorias em conformidade com a norma.

Palavras-chaves: SPDA, NBR 5419, aterramento.

ABSTRACT

Lightning strikes are a natural phenomenon caused by the friction of clouds in the sky, generating an electrification effect of great potential difference. Lightning protection systems can minimize the effects on installations, buildings and protect people. Their function is to dissipate the electric current to the earth, thus minimizing the impact. Failure to do so can cause damage to installations, buildings, industries. and even death of a human being by ventricular fibrillation or respiratory arrest. NBR 5419 - Protection of structures against lightning, describes the parameters to be followed. The research on the scope is qualitative, the ends are descriptive, the data collection was made by field research and bibliographic researches consisting of books and scientific articles, the population size is indifferent, the type and size of the sample isn't probabilistic, for data collection a case study of a Lightning Protection System (SPDA) of a mining company located in São Gonçalo do Rio Abaixo. In the study of the project the pickup mesh, descent mesh and grounding was described, besides a data survey to verify anomalies in all spda system, thus proposing the appropriate opportunities for improvements in accordance with the standard.

Keywords: SPDA, NBR 5419, grounding.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral	16
2.2 Objetivos específicos	16
3 MARCO TEÓRICO	17
3.1 Raio e seus efeitos sobre pessoas e propriedades	17
3.2 Sobretensões temporárias	20
3.3 Descarga atmosférica	21
3.3.1 Tipos de descarga atmosféricas	22
3.3.2 Características das descargas atmosféricas	23
3.3.3 Formação de uma descarga atmosférica	23
3.4 Para-raios	24
3.4.1 Histórico	24
3.4.2 Estrutura e operação	26
3.4.3. Principais componentes de um sistema de para-raios	28
3.4.3.1. <i>Dispositivos terminais</i>	29
3.4.3.2 <i>Condutores de descarga</i>	30
3.4.3.3 <i>Aterramento</i>	31
3.5 Tipos de para-raios	33
3.5.1 Passivos	33
3.5.1.1 Para-raios tipo Franklin	33
3.5.1.2 Para-raios tipo gaiola de Faraday	34
3.5.2 Para-raios radioativo	35
3.5.3 Para-raios piezoelétricos	36
3.5.4 Para-raios com dispositivo de escorva	36
3.5.5 Critérios para a localização de para raios	38
3.6 Normatividade dos sistemas para-raios	39
3.6.1 Norma Internacional: IEC 62305	39
3.6.2 A NBR 5419 – Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas	40
4 METODOLOGIA	42

5 ESTUDO DE CASO	43
5.1 Caracterização da edificação.....	43
5.2 Projeto de SPDA instalado na edificação (20/01/2009).....	44
5.2.1 Descritivo do subsistema de captação	46
5.2.2 Descritivo do subsistema de descidas.....	47
5.2.3 Descritivo do subsistema de aterramento.....	49
5.3 Levantamento de dados	52
5.3.1 Subsistema de captação.....	52
5.3.2 Subsistema de descidas	54
5.3.3 Subsistema de aterramento	55
5.3.4 Estruturas adjacentes a edificação	56
5.3.5 Equipotencialização de estruturas e equipamentos	56
5.4 Recomendações	58
5.4.1 Recomendações ao projeto.....	59
5.4.2 Recomendações ao subsistema de captação.....	61
5.4.3 Recomendações ao subsistema de Descidas.....	61
5.4.4 Recomendações ao subsistema de aterramento	61
5.4.5 Recomendações as estruturas adjacentes a edificação	63
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
REFERÊNCIAS.....	68

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios os fenômenos naturais ainda não compreendidos eram explicados de alguma forma mística. Os raios com seus efeitos devastadores sobre a terra tinham um aspecto mágico e ameaçador, que transparece em lendas e mitos de sociedades primitivas. Apenas a partir do século XVIII e com o aparecimento do iluminismo é que o homem começou a compreender e tentar controlar a natureza. O fenômeno das descargas atmosféricas pode ser definido como a movimentação de cargas negativas nuvem-solo que rompem a rigidez dielétrica do ar originando o fenômeno popularmente conhecido como raio, tem grande intensidade podendo provocar quedas de linhas de energia e incêndios. O americano Benjamin Franklin (1706-1790) foi o primeiro a projetar um experimento para tentar provar a natureza elétrica do relâmpago, no dia 15 de junho de 1752, na cidade de Filadélfia, em meio a uma tempestade, ele realizou uma perigosa experiência usando um fio de metal para empinar uma pipa de papel. Este fio estava preso a uma chave manipulada por um fio de seda, quando ele soltou a pipa observou que a carga elétrica dos raios descia pelo dispositivo, comprovando assim que o raio era um fenômeno elétrico. Ele demonstrou ainda que hastes de ferro ligadas a terra e posicionadas sobre ou ao lado de edificações serviriam de condutores de descargas elétricas atmosféricas. Em maio de 1752, Thomas-François repetiu o experimento de Franklin com o mastro metálico e comprovou que a hipótese estava correta.

Surgiram inúmeros estudos e normas sobre a descarga elétrica, atualmente conceituada como um fenômeno comum na natureza. Sendo um tema de ampla complexidade, tanto no que se refere aos seus efeitos destrutivos quanto a sua natureza física, onde as partículas de água que formam as nuvens, provocadas pelos ventos intensos, dão origem a uma grande quantidade de cargas elétricas. O Brasil é um dos países com maior incidência de raios do mundo e a preocupação com a segurança das pessoas nunca poderá deixar de ser prioridade, o SPDA (Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas), trata-se do conjunto de dispositivos instalados nos pontos mais altos das edificações e estruturas, conectados à terra por meio de condutores metálicos, e tem como principal objetivo direcionar e dissipar à terra as descargas atmosféricas ocasionadas pelas nuvens eletrificadas pelo atrito e pela movimentação, evitando

assim possíveis danos aos edifícios, as estruturas e às pessoas que podem ser afetadas com impacto direto/indireto e tensões de contato/degrau.

Tendo em vista os fatos descritos acima, o estudo e aplicação das normas se tornam fundamentais para atender as exigências mínimas de proteção. A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR 5419/2015 - Proteção contra descargas atmosféricas é a norma regulamentadora brasileira responsável por reduzir de forma significativa os riscos de danos nas estruturas. A mesma deve ser seguida corretamente, de forma a se obter o máximo de sua eficiência, estabelecendo também como deve ser o projeto, visando minimizar os riscos de morte e os danos materiais oriundos das descargas elétricas.

Neste contexto o objetivo deste trabalho é avaliar as condições de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) de uma edificação pertencente a planta de uma mineradora situada em São Gonçalo do Rio Abaixo- MG, bem como relatar possíveis não conformidades e suas correções. A edificação foi construída aproximadamente há 10 anos contemplando a norma vigente na época, o qual não foi atualizado. Dessa forma, foi realizado um estudo de possíveis melhorias e alterações necessárias ao projeto da edificação para adequação do mesmo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar um projeto de sistema de proteção contra descargas atmosféricas instalado em uma edificação industrial localizada em uma planta de beneficiamento de minério, compreendendo assim o conteúdo necessário para execução de um projeto SPDA.

2.2 Objetivos específicos

Realizar referencial teórico sobre sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, com ênfase em para-raios compreendendo seus variados princípios de funcionamento e suas aplicações.

Descrever e avaliar o projeto de SPDA já desatualizado que fora instalado em uma edificação industrial e recomendar alterações e possíveis melhorias para adequação do mesmo a versão mais atualizada da norma pertinente.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Raio e seus efeitos sobre pessoas e propriedades

Raio vem do latim "radiūs", que significa bastão pontiagudo. Esta palavra pode ter vários significados ou vários usos; um deles está no campo da meteorologia que descreve os raios como aquela poderosa descarga natural de eletricidade estática que atinge a atmosfera produzida entre duas nuvens ou entre uma nuvem e a terra, durante uma tempestade. Essa descarga elétrica do raio é acompanhada por uma emissão de luz, devido à passagem da corrente elétrica que ioniza as moléculas de ar e também pela passagem do trovão que se desenvolve através de uma onda de choque. A eletricidade que viaja pela atmosfera aquece e espalha o ar vertiginosamente, causando o ruído característico do raio, que é o trovão (PINTO, 2015). A Figura 1 mostra uma imagem de um raio, para tornar claro o que é este fenômeno visualmente.

Figura 1 – Ocorrência de um raio



Fonte: PINTO (2015, pág. 28)

Por outro lado, um raio também pode ser as linhas de luz que se originam de um corpo luminoso, fundamentalmente as do sol (LABURÚ et al., 2008).

Como o choque elétrico começa permanece uma questão de debate. Os cientistas estudaram as causas, desde distúrbios atmosféricos (vento, umidade e pressão) até os efeitos do vento solar e o acúmulo de partículas solares carregadas. Acredita-se que o gelo seja a componente chave no desenvolvimento, levando à separação de cargas positivas e negativas dentro da nuvem. Os raios podem ocorrer em nuvens de cinzas de erupções vulcânicas ou podem ser causados por violentos incêndios florestais que geram poeira capaz de criar carga estática (LABURÚ et al., 2008).

De acordo com a hipótese de indução eletrostática, as cargas são acionadas com processos ainda incertos. A separação das cargas parece exigir uma forte corrente ascendente que traga as gotas de água, resfriando-as entre 10 e 20 ° C abaixo de zero. Estes colidem com os cristais de gelo formando uma combinação de água e gelo chamada granizo. As colisões fazem com que uma carga levemente positiva seja transferida para os cristais de gelo e uma carga levemente negativa para o granizo. As correntes conduzem os cristais de gelo menos pesados para cima, fazendo com que cargas positivas se acumulem na parte de trás da nuvem. A gravidade faz com que o granizo mais pesado com carga negativa caia em direção ao centro e às partes mais baixas das nuvens. A separação de cargas e acumulação continua até que o potencial elétrico se torne suficiente para iniciar um choque elétrico, que ocorre quando a distribuição de cargas positivas e negativas forma um campo elétrico suficientemente forte (LIBRANTZ; LIBRANTZ, 2006).

Mattos (2009), diz que em relação aos efeitos nas pessoas existem dois meios principais que causam a morte de um ser humano quando atingidos por um raio:

O primeiro, para Mattos (2009), é a fibrilação ventricular que consiste na corrente que flui através do coração causa a perda de coordenação das fibras musculares do órgão e interrompe a circulação sanguínea, causando a morte em aproximadamente 4 minutos. O segundo é a parada respiratória onde a respiração é afetada de duas maneiras:

- Parada respiratória que persiste após o término da passagem da corrente.
- A passagem da corrente pode contrair os músculos do peito, inibindo o movimento respiratório, enquanto a corrente flui. Este efeito é insignificante devido à curta duração do fluxo de corrente.

Para que o primeiro meio ocorra, seguindo com Mattos (2009), a corrente deve passar pelo centro respiratório do cérebro, em sua parte inferior. Existem 4 maneiras pelas quais os raios podem prejudicar uma pessoa:

1. Impacto direto: o indivíduo conduz toda a corrente através do corpo, da cabeça ao chão. Nesse caso, a pessoa age como qualquer para-raios ou objeto pontiagudo. É produzido um arco fora do corpo que pode ou não produzir fibrilação (MATTOS, 2009).
2. Tensão de contato: ocorre quando o sujeito está tocando em um objeto condutor atingido por um raio. O indivíduo sofre uma diferença potencial entre o ponto de contato e o solo. A análise é semelhante ao conceito de “tensão de contato” no projeto de aterramento (MATTOS, 2009)
3. Impacto lateral: acontece quando uma pessoa está perto de um objeto onde o raio atinge, de modo que uma parte da corrente possa atravessar o espaço aéreo entre o objeto e a pessoa, descarregando-a pelo corpo até o solo (MATTOS, 2009).
4. Tensão do degrau: como em um curto-circuito de grandes proporções, quando um raio atinge, ele cria um perfil potencial no chão, para que uma pessoa possa estar sujeita a uma diferença potencial entre os pés enquanto caminha. É muito raro que esse efeito cause a morte do sujeito devido às baixas correntes que circulam entre as pernas, contra a queda de um raio nas proximidades (MATTOS, 2009).

No que diz respeito aos efeitos sobre os bens materiais, destaca-se os danos a instalações, edifícios e indústrias, a presença de dispositivos eletrônicos e dispositivos em nossa vida diária é cada vez mais difundida. Esses sistemas são particularmente vulneráveis aos efeitos dos raios, que geram surtos (PUNEKAR; KANDASAMY, 2011).

3.2 Sobretensões temporárias

De acordo com Gostimirovic (2012), sobretensão temporária é uma sobretensão oscilatória de curto prazo fortemente amortecida, cuja duração não excede alguns milissegundos. Picos temporários são causados por manobras, falhas elétricas ou fenômenos não lineares. As sobretensões temporárias são caracterizados por sua largura, sua frequência de oscilação e seu tempo total de duração.

As sobretensões tempo são classificados de acordo com a sua forma e origem, de tal forma que se tem as seguintes descrições:

De acordo com sua forma:

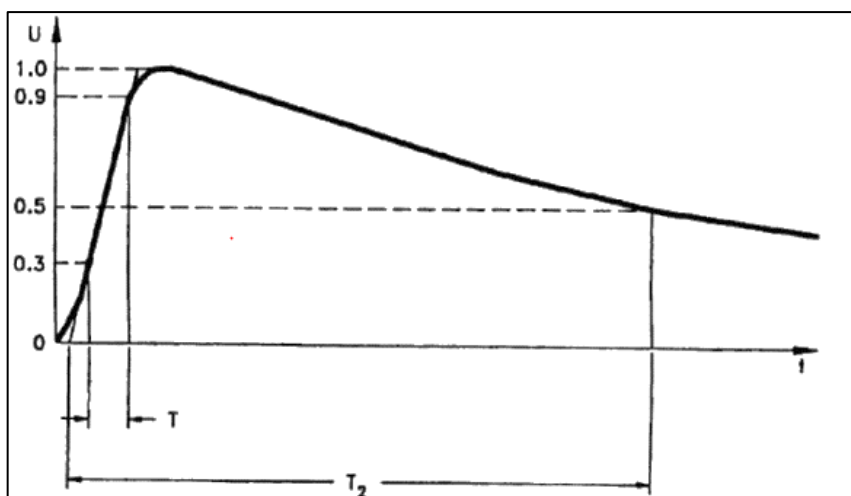
- Simples (impulsos). - Quando eles têm uma frente ascendente e uma frente descendente, a partir da qual e sem oscilações subsequentes, a tensão retorna ao seu valor normal (LIMA 2006).
- Oscilatórias. - Caracterizado por uma frente ascendente seguida por oscilações que são amortecidas em um determinado período de hora (LIMA 2006).

De acordo com sua origem:

- Externo ao sistema elétrico - cuja fonte principal são descargas atmosféricas ou raios (LIMA 2006).
- Interno ao sistema elétrico - cujas fontes podem ser incluídas sob a designação de manobras (LIMA 2006).

Como fenômeno físico, um raio é equivalente a um pulso de corrente unidirecional, resultado da transferência entre nuvens e o ponto de impacto, em um curto período de tempo, com valores máximos correspondentes a 10 e 250 kA. A Figura 2 mostra a caracterização das sobretensões de acordo com a IEC 60060-1 (WANG, 2015).

Figura 2 - Características da tensão de impulso de raio



Fonte: WANG (2015, pág. 67)

3.3 Descarga atmosférica

De acordo com o Pinto (2005) a definição de descarga atmosférica é "Centelha elétrica de alta intensidade produzida por uma descarga entre duas nuvens ou entre uma nuvem e a terra. Por outro lado, na eletricidade, a descarga atmosférica é entendida como a passagem de um fluxo de corrente elétrica de um ponto para outro.

A descarga atmosférica conhecida como raio, é a violenta equalização de cargas de um campo elétrico que foi criado entre uma nuvem e a terra ou, entre nuvens. Os raios que nos interessam por seu efeito são os da nuvem para a terra e, nesses se pode encontrar 4 tipos: 2 iniciados nas nuvens e 2 iniciados na terra, pois podem ser positivos ou negativos. Os mais comuns, sendo 90% dos raios detectados, são de uma nuvem negativa para o solo (MAGARÃO et al., 2011).

Os raios que começam na terra são relativamente raros e geralmente ocorrem em montanhas ou estruturas altas, portanto não os levaremos em consideração no decorrer deste trabalho. Os raios iniciados nas nuvens negativas geralmente aparecem em nuvens de tempestade, também conhecidas como cumulonimbus convectivas, que geralmente medem de 3 a mais de 50 km de comprimento e são o resultado de uma quebra dielétrica atmosférica (MANGILI, 2012).

Essa interrupção, uma vez iniciada, avança em zigue-zague a uma taxa de cerca de 50 metros por microssegundo com quebras de 50 microssegundos (NAG, 2010).

Uma vez que a ruptura criou uma coluna de plasma no ar, o choque elétrico surgirá imediatamente dentro de um hemisfério a cerca de 50 m de raio do ponto mais alto potencial. E qualquer objeto pode ser o foco dessa descarga ascendente de partículas positivas, mesmo de uma parte de metal sob uma torre (NAG, 2010).

3.3.1 Tipos de descarga atmosféricas

Entre os tipos mais comuns de descarga elétricas, Macedo (2005) destaca:

- Descarga intra-nuvem
- Descarga nuvem-solo
- Descarga solo-nuvem
- Descarga nuvem-ar

Uma descarga ocorre quando as cargas entre as nuvens são separadas, gerando que o ar seja ionizado e a constante dielétrica é superada, permitindo a passagem da descarga. As descargas ocorrem principalmente em nuvens de tempestade ou cumulonimbus. No entanto, elas também podem ocorrer em tempestades de neve ou nuvens que se formam perto de vulcões devido a erupções (MACEDO, 2005).

As descargas nuvem-solo é a variante de raio mais intensos, com galhos quebrados brilhantes do céu para o chão. Está associado a fortes chuvas ou granizo, ventos fortes devido à tempestade. Os raios geralmente caem em qualquer lugar sólido que seja um bom condutor de eletricidade (MACEDO, 2005).

A cor do raio nos dará uma indicação sobre o conteúdo do ar circundante. O raio nuvem-solo se origina quando a carga elétrica se move entre a base de uma nuvem carregada negativamente e o solo, com carga positiva (GOSTIMIROVIC, 2012).

Cada descarga dura uma fração de segundo. Às vezes, são necessárias várias descargas para equilibrar a carga elétrica, com os raios piscando levemente. Uma variante deste raio também pode ocorrer, a descarga positiva, quando as cargas positivas do topo da nuvem reagem com as negativas do solo, enviando assim um grande feixe do topo da nuvem para o solo (RAKOV, 2010).

A Descarga nuvem–ar é um tipo de raio que se caracteriza por possuir menos energia que o feixe tipo nuvem-terra, sendo necessária apenas uma descarga para que a energia nos dois pontos seja idêntica. É por isso que o mais frequente é observar pouquíssimos flashes na mesma trajetória. Pode-se observar o raio nuvem-ar com frequência e a uma grande distância, como geralmente ocorre nas proximidades do topo do cúmulo-nimbo. É por isso que se diz que o observador pode se tornar testemunha de "uma tempestade silenciosa: embora a tempestade esteja longe o suficiente para não ouvir trovões, será capaz de visualizar os raios (HILL et al., 2011).

3.3.2 Características das descargas atmosféricas

Os raios atingem intensidades de 200KA a 500KA, dissipando energia através do canal de descarga de 105 J / m. Não é rentável proteger uma instalação contra a queda de descarga atmosférica, mas é rentável proteger as instalações contra os efeitos de 95% dos raios sobre os bens, considerados em tensões superiores a 5KV e correntes de 6KA (LIMA, 2006).

3.3.3 Formação de uma descarga atmosférica

Essa descarga conhecida como raio ocorre quando o campo elétrico entre os centros de carga de uma nuvem é muito intenso. No processo de formação de raios, existem inúmeras descargas entre nuvens com cargas de sinais opostos, ou entre nuvens e terra (MACEDO, 2005).

Os campos elétricos estão entre nuvens eletrificadas e a terra, alguns dados nos mostram que as tensões incluídas antes de uma descarga entre uma nuvem eletrificada e a terra oscilam na faixa de 10 MV a 1 GV (LIMA, 2006).

Esse tipo de descarga ocorre em três etapas:

Primeira etapa: A intensidade muito alta do campo elétrico e uma ionização dão lugar aos primeiros choques elétricos conhecidos como descargas iniciais do piloto. Posteriormente, é definida a descarga escalonada, que é uma sequência de descargas com origem aparente no vento que não possuem um fluxo de corrente alto e mostram flashes de luz em seu caminho (MATTOS, 2009).

Segunda etapa: É produzido com uma descarga de alta intensidade através do canal de plasma formado entre a Terra e a nuvem, onde uma enorme quantidade de carga positiva é transferida da Terra para a nuvem para neutralizar a origem do raio. Esses raios são altamente destrutivos, pois possuem potências que variam de 10 a 1000 GW (MATTOS, 2009).

Terceira etapa: O conflito entre os downloads é tão forte que geralmente causa uma segunda descarga, chamada descarga secundária. Existem até downloads de outros centros de carga devido ao potencial diferencial na mesma nuvem (MATTOS, 2009).

Esses três estágios podem ser repetidos, usando o canal que já foi formado ou até mesmo formando um novo canal de plasma; o número de vezes que o processo é repetido depende do nível de eletrificação que tem a nuvem ou a tempestade.

Relâmpago é realmente a troca de cargas entre nuvens e terra. Essa troca leva à neutralização de ambas as cargas e à dissipação de parte da energia anteriormente acumulada pela nuvem. Vários estudos sobre raios foram realizados, obtendo diversas curvas que buscam descrever a intensidade da corrente transportada pelos diferentes raios, além do tempo de duração e de sua frequência (LABURÚ, 2008).

3.4 Para-raios

Um para-raios é um instrumento cujo objetivo é atrair um raio de ar ionizado para conduzir a descarga ao solo, para que não cause danos a pessoas ou edifícios (ALMEIDA, 2009).

3.4.1 Histórico

Em 1752, Franklin publicou em Londres, em seu famoso almanaque (Por Richard's Almanack), um artigo em que ele propunha a ideia de usar hastes de aço pontiagudas, nos telhados, para proteger contra raios. Sua teoria foi testada na Inglaterra e na França antes mesmo de ele executar seu famoso experimento com uma pipa em 1752 (ALMEIDA, 2009).

Naquele ano, Benjamin Franklin empinou uma pipa durante uma tempestade. Com isso, ele queria demonstrar a natureza elétrica dos raios e conseguiu. Por mais de uma década, ele vinha trabalhando em experimentos relacionados à eletricidade,

um assunto na época desconhecido e atribuído (erroneamente) aos poderes divinos (MARTINEZ; DURBAK, 2005).

Naquele dia em que a manhã tempestuosa amanheceu na Filadélfia, o cientista achou que era o dia ideal para realizar seu experimento e, assim, poder demonstrar que suas conjecturas, que garantiam que os raios estavam cheios de carga elétrica, estavam corretas. Para esse fim, Franklin construiu uma pipa, cuja estrutura era feita de varas de metal e mantida por um longo fio de seda. No outro extremo, ele amarrou uma chave de metal. Ele empinou a pipa e pôde ver como, em pouco tempo, atraiu um raio que atingiu a estrutura metálica e cujo choque elétrico atingiu a chave (MUNUKUTLA, 2010).

O mais sortudo desse experimento, segundo o próprio Franklin, foi que ele sobreviveu ao teste, já que outros que tentaram mais tarde foram mortos. Franklin concluiu imediatamente essa investigação teórica com uma aplicação prática. Ele criou o "para-raios", que era simplesmente uma barra de ferro localizada no ponto mais alto de um edifício e conectada com fio terra. Sua extremidade pontiaguda canalizava as cargas elétricas das nuvens, Franklin demonstrou experimentalmente e, quando atingiu o feixe, a carga deslizou para o chão sem causar danos. Os estragos causados pelos raios caíram drasticamente quando essas barras subiram acima dos edifícios da Europa e da América (LIMA, 2006).

O experimento de Franklin teve dois efeitos eletrizantes. Primeiro, o mundo ficou subitamente interessado em eletricidade. Por outro lado, as colônias americanas começaram a contar no aspecto cultural. Pela primeira vez, um americano evidenciou capacidade científica suficiente para impressionar os cultos europeus do enciclopedismo. Vinte e cinco anos depois, quando, em busca de ajuda, Franklin representou os incipientes Estados Unidos em Versalhes, ganhou o respeito de todos, não apenas como enviado de uma nova República, mas também como o sábio que domara o raio, derrubando-o humildemente a terra (MUNUKUTLA, 2010).

A partir de então, nasceram os para-raios que, ao contrário do que o nome indica, foram projetados para excitar e atrair a descarga, levando-a à aterrissagem, onde não causa danos. A confiança na proteção era tão grande na sociedade que, inconscientemente, eles não contemplavam seus riscos, e até guarda-chuvas estéticos com para-raios incorporados foram projetados (LAAN et al., 2013).

Em 1753, o russo Georg Wilhelm Richmann acompanhou as investigações de Franklin para verificar o efeito da proteção, mas, em sua investigação, um relâmpago

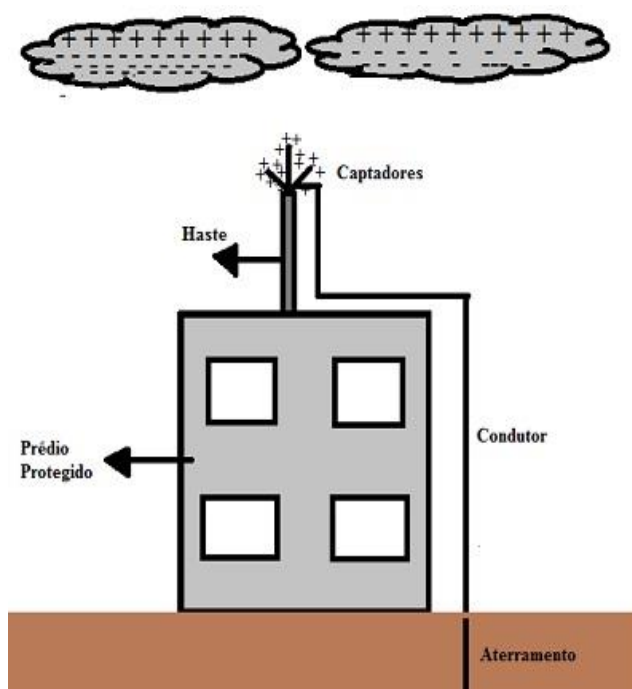
atingiu-o quando ele estava excitado e atraído pelo para-raios, e recebeu um choque elétrico mortal ao manipular parte de Instalação de para-raios (LAAN).

Em 1919, Nikola Tesla definiu corretamente o princípio de operação do para-raios e refutou as teorias e técnicas de Benjamin Franklin e sua patente. Desde então, a indústria de para-raios evoluiu e são fabricados modelos de design diferente, como para-raios de uma extremidade, para-raios com multipontos ou para-raios com picos eletrônicos, mas todos com o mesmo princípio físico de operação: ionizar o ar de um campo Elétrico natural gerado no solo pela tempestade, com o princípio de excitar e capturar os raios que poderiam cair na área que você deseja proteger (BRITO, 2012; GOSTIMIROVIC, 2012).

3.4.2 Estrutura e operação

O para-raios nada mais é do que um dispositivo que, colocado no topo de um edifício, direciona o feixe através de um cabo para o chão, para que não cause danos. Já comentamos que normalmente as nuvens de tempestade têm sua base carregada negativamente, enquanto a região de terra abaixo delas, devido à indução eletrostática, tem uma carga positiva. As cargas negativas da nuvem se repelem e são atraídas pelas cargas positivas da terra (BRITO, 2012), como mostra a Figura 3.

Figura 3 – Funcionamento de um para-raios



Fonte: BRITO (2012, pág. 27)

Tassi (2012), como o para-raios é aterrado, seus elétrons são repelidos por aqueles na nuvem, que são carregados positivamente como a terra sob a nuvem. Devido à forma e às características do para-raios (efeito de ponta), a densidade de carga na ponta do para-raios é tal que ioniza o ar circundante, de modo que as partículas de ar com carga positiva são repelidas pela haste e atraídas pela nuvem, alcançando assim um duplo objetivo:

- a) Por um lado, a compensação do potencial elétrico é produzida quando esses íons são atraídos pela nuvem, neutralizando parcialmente a carga. Dessa forma, o potencial nuvem-solo é reduzido para valores abaixo de 10.000 V que marcam o limite entre o comportamento dielétrico e o condutor de ar e, portanto, impedem a formação de raios.
- b) Por outro lado, conduzem à viga de terra oferecendo um caminho de menor resistência. Esse caminho é formado pelo para-raios, pelo condutor de descarga e pelas conexões de aterramento.

Um fenômeno que deve-se levar em consideração é o da "dissipação natural", produzida por árvores, cercas, pedras e outros objetos de maneira pontual, natural ou

artificial, sujeita ao campo elétrico da nuvem de tempestade, que irá produzindo essa compensação potencial de maneira natural, produzindo a neutralização da carga da nuvem, ou menor, reduzindo-a significativamente, reduzindo assim o risco de atingir a nuvem sobre áreas habitadas ou perigosas (KHODSUZ et al., 2015).

3.4.3. Principais componentes de um sistema de para-raios

Silveira (2013) traz que um sistema de proteção é composto pelas seguintes partes:

- Dispositivos terminais para interceptação de descargas e condutores de interconexão entre eles.
- Os condutores descendentes que conectam os dispositivos terminais na terra.
- Aterramento que são conexões primárias para sistemas de proteção contra raios.

A Figura 4 apresenta as principais partes de um sistema de para-raios.

Figura 4 – Principais partes de um para raio



Fonte: SILVEIRA (2013, pág. 42)

3.4.3.1. Dispositivos terminais

Os dispositivos terminais para interceptação de descargas (dispositivos de terminação de ataque), são os componentes do sistema destinados a interceptar as descargas, a fim de permitir sua condução à terra através de condutores apropriados. Os dispositivos terminais incluem: terminais aéreos, mastros metálicos, cabos aéreos entre mastros de suporte, partes metálicas estruturais do edifício e dispositivos terminais especiais (COSTA, 2012).

Das partes que constituem um sistema de proteção contra choques elétricos de origem atmosférica, o que mais causa controvérsias é o dispositivo terminal de interceptação de descargas, principalmente porque muitos fabricantes oferecem projetos especiais aos quais atribuem propriedades que aumentam a proteção que pode fornecer um simples para-raios Franklin. Abaixo são apresentados os diferentes tipos componentes e terminais utilizados para interceptar as descargas elétricas de origem atmosférica (MIGUEL, 2013).

Terminais aéreos: Um terminal aéreo é uma ponta de metal feita de um bico ou uma haste sólida. A NBR 5419 especifica o uso de terminais aéreos distribuídos nos telhados dos edifícios, na quantidade e localização indicadas pela norma. Em geral, um terminal aéreo é uma ponta, geralmente de baixa altura, que se projeta não menos de 25 cm (10 polegadas) acima da área ou objeto a ser protegido. Esses terminais aéreos podem ser passivos ou ativos, dependendo da falta ou não de um sistema capaz de criar o canal condutor ou o traçador anterior, o que atrai raios (MIGUEL, 2013).

Mastros: Um mastro com ponta de metal é um dispositivo terminal cuja altura é determinada com o objetivo de criar uma zona de segurança de extensão suficiente para obter proteção adequada da estrutura. Os terminais aéreos e os mastros pontiagudos são dispositivos semelhantes aos para-raios propostos por Franklin (ABDUL-MALEK et al., 2010).

Cabos aéreos colocados entre mastros: Um cabo aéreo situado entre os mastros é um dispositivo terminal que, em vez de um ponto, oferece uma linha para a interceptação de descargas atmosféricas e cria uma zona de proteção mais extensa do que um único ponto. Este dispositivo é amplamente utilizado por empresas que fornecem eletricidade, em suas estações e subestações de transformação externas e

linhas de transmissão. Eles também são usados para proteger estruturas que contêm materiais inflamáveis ou explosivos (WEN, 2010).

Dispositivos terminais especiais: Dentro dessa denominação está incluído um grande número de dispositivos, aos quais seus respectivos fabricantes atribuem propriedades especiais. As controvérsias são numerosas e, em geral, a agressividade dos departamentos de vendas ignora a base científica de seus produtos, cujas propriedades são muito mais uma expressão de desejos do que uma realidade confirmada (TUCZEK; HINRICHSEN, 2013)

3.4.3.2 Condutores de descarga

Os condutores descendentes destinam-se a aterrar as descargas elétricas atmosféricas capturadas pelos dispositivos terminais. São feitos de elementos metálicos (principalmente cobre) que permitem a passagem de corrente elétrica. O comportamento desses condutores tem características muito diferentes dos condutores comumente usados em instalações internas de distribuição de energia elétrica. A diferença se deve ao fato de que na distribuição de energia elétrica é operada em frequência industrial, ou seja, de forma estacionária a 50 ou 60 Hz, dependendo do país, enquanto no caso de descargas atmosféricas os fenômenos elétricos ocorrem com correntes transitórias muito altas, que se desenvolvem em tempos muito curtos (MIGUEL, 2013).

A corrente que produz uma descarga elétrica atmosférica tem um rápido crescimento atingindo seu pico em cerca de 2 microssegundos, diminuindo então em uma velocidade mais lenta. A polaridade da descarga é mantida em todo o pulso, pois não há inversão na direção da corrente. A maior parte da energia é devido a um componente contínuo importante, mas também existem componentes importantes de radiofrequência. Esses componentes produzem efeitos importantes de autoindução e indução mútua e efeito de filme (WEN, 2010).

Sob tais condições, os condutores se comportam de maneira muito diferente. De fato, na frequência industrial, um condutor de curta extensão de uma instalação interior se comporta como uma resistência ôhmica simples, enquanto no caso de uma descarga atmosférica, devido às características elétricas disso, os fenômenos de autoindução são muito importantes, indução mútua e efeito de filme, que afetam o comportamento do driver de queda de descarga (MIGUEL, 2013).

O circuito equivalente de um condutor descendente em sua configuração mais simples pode ser considerado como a série de um resistor e uma indutância. É por isso que é tão importante que as descidas sejam o mais diretas possível, com o mínimo de curvas, pois elas contribuem para aumentar o comprimento e, se forem inevitáveis, seu raio de curvatura deve ser o maior possível e, em nenhum caso, inferior a 20 cm (METWALLY, 2011).

Quando se tem dois condutores de descargas próximos, durante uma descarga, suas diferentes impedâncias podem criar diferenças laterais potenciais que causam as chamadas descargas laterais com o conseqüente risco de incêndio. Portanto, eles devem ser interconectados em seções cujo comprimento não é excessivo (NAFAR et al., 2011).

Sempre deve haver pelo menos dois caminhos de descarga para aterrar e, se a estrutura tiver grandes dimensões, serão necessários mais. Quando ocorre uma descarga, a corrente é drenada para o solo, distribuindo-se entre os condutores descendentes e, nessas condições, ocorrem fenômenos de indução mútua entre as descidas. A indução mútua aumenta a impedância que as descidas apresentam à corrente de descarga, pela qual os condutores descendentes devem estar o mais longe possível um do outro (SILVA, 2013).

3.4.3.3 *Aterramento*

Cada condutor de descarga deve terminar em um terminal de aterramento ou eletrodo de aterramento, dedicado ao sistema de proteção de descarga atmosférica. O aterramento compreende todo um conjunto de elementos metálicos; seção apropriada, acoplada a um eletrodo ou grupo deles, a fim de eliminar diferenças de potenciais perigosos (SUGIMOTO, 2010).

Devido ao caráter de impulso da corrente elétrica e para garantir o caminho mais fácil possível para o aterramento, é importante lidar com a forma e as dimensões do aterramento, bem como o valor de sua resistência. Para facilitar a dispersão da corrente de raios no solo em um período muito curto de tempo, uma superfície de contato mínima do eletrodo de terra no solo deve ser assegurada (PEPPAS, 2012).

O aterramento possui as seguintes finalidades, de Miguel (2013):

- Dar segurança às pessoas;

- Proteger instalações, equipamentos e mercadorias em geral, facilitando e garantindo o correto funcionamento dos dispositivos de proteção;
- Estabeleça a permanência de um potencial de referência estabilizando a tensão elétrica na terra, em condições operacionais normais;
- Melhore a qualidade do serviço elétrico, dissipe a corrente associada às descargas atmosféricas e limite-as às tensões geradas;
- Manter os potenciais produzidos pelas correntes de falha dentro dos limites de segurança, para que as tensões de passagem ou toque não sejam perigosas para os seres humanos.

Quanto ao conhecimento dos terras, estes deverão atender aos seguintes critérios, de acordo com Wen (2010):

- Um aterramento será feito para cada condutor descendente.
- A resistência será menor e o mais próximo possível de 8Ω . Este valor deve ser medido na terra isolado de todos os outros elementos de natureza condutora
- O valor da impedância ou indutância da onda será o mais baixo possível, para minimizar a força contra-eleto-motriz que é adicionada ao potencial ôhmico no momento da descarga do raio. Portanto, é conveniente evitar o aterramento composto por um único elemento de grande comprimento, horizontal ou vertical.

As conexões de aterramento devem ser feitas e dispostas de acordo com as indicações acima, seguindo a norma NBR 5419 - Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas (SILVEIRA, 2013).

Neste contexto, ressalta-se que o uso de para-raios é necessário em edifícios ou áreas abertas com atendimento público; prédios e, em geral, construções altas (pilares, tanques de água, faróis, antenas, torres, etc.); construções e depósitos em que materiais perigosos são manipulados e / ou contidos (explosivos, inflamáveis, tóxicos, etc.); edifícios que contenham equipamentos ou documentos especiais vulneráveis ou valiosos (instalações de telecomunicações, computadores, arquivos, musas, monumentos históricos, patrimônio cultural) e, em geral, estruturas utilizadas

para fins comerciais, industriais, agrícolas, administrativos ou residenciais (COSTA, 2012).

3.5 Tipos de para-raios

3.5.1 Passivos

Eles concentram a ionização e a excitação constante dos raios na ponta, descarregando-os no solo, onde são instalados apenas pelo efeito de pontas, de modo que se espera que raio caia onde o sistema é instalado (TUCZEK; HINRICHSEN, 2013).

3.5.1.1 Para-raios tipo Franklin

É o para-raios típico formado por uma haste de metal terminada em um ou várias pontas. É baseado na teoria do “efeito de pico”, ou seja, as cargas se acumulam nas partes pontiagudas de um condutor e os campos elétricos são mais intensos lá. Portanto, choques elétricos são direcionados para a ponta do para-raios, o ponto mais alto. A área protegida por um para-raios Franklin clássico é cônica (METWALLY, 2011), como mostra a Figura 5.

Figura 5 – Para-raios tipo Franklin



Fonte: METWALLY (2011, pág. 37)

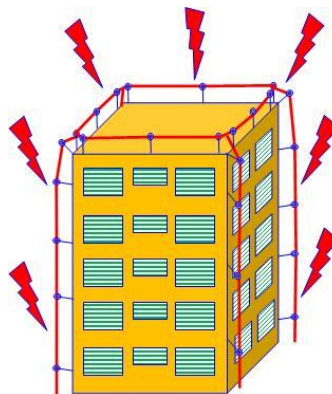
Nesse tipo de para-raios, o potencial efeito de compensação é muito pequeno; portanto, em outras áreas de alto risco, outros tipos de para-raios são frequentemente usados (NAFAR et al., 2013).

O campo de proteção é determinado por um cone, tendo como vértice o ponto mais alto do para-raios e cuja geratriz forma um ângulo de 60° em relação ao vértice. Instalado adequadamente, um sistema de para-raios pode oferecer um ângulo de proteção de aproximadamente 45 a 60 graus. Estatisticamente, ficou provado que seu campo de proteção deve ser calculado aproximadamente com um raio igual à sua altura. ($A = R$) (NAFAR et al., 2013).

3.5.1.2 Para-raios tipo gaiola de Faraday

O sistema consiste em receber o feixe por meio de um conjunto de pontas de captação conectadas por cabo condutor, formando uma malha e derivando-o ao solo por meio de uma rede de condutores. A área protegida é o volume coberto pela malha. Este sistema apresenta problemas de execução e estética em alguns edifícios, sendo muito escasso o seu uso (SILVA, 2013). A Figura 6 traz o princípio da Gaiola de Faraday.

Figura 6 – Para-raios Gaiola de Faraday.



Fonte: SILVA (2013, pág. 68)

Eles geram ionização e excitação por impulsos de alta tensão superiores a 10 KV na ponta, esse fenômeno é representado a partir de um valor de campo elétrico-atmosférico natural. O objetivo deste processo é tentar excitar e capturar a descarga elétrica, conduzir todo o seu potencial de alta tensão à terra por um condutor ativo instalado, com o resultado da sobretensão e indução geradas (SUGIMOTO, 2010).

O resultado é uma corrente de falha de alta tensão que circula através de um condutor desencapado, excedendo a energia de descarga do raio. Eles tentam facilitar

o caminho do raio positivo, direcionando-o ou causando um caminho de baixa resistência, atuando com o gradiente eletrostático da atmosfera, descarregando o local onde estão instalados, impedindo a ocorrência de raios naquele local, tornando-se preventivo, além do encontro entre os raios positivo e negativo é aumentado, afastando assim o ponto de temperatura mais alta da descarga atmosférica (PEPPAS, 2012).

Esse fenômeno pode criar, em momentos críticos da descarga, correntes de contato com intensidades de falha maiores do que aquelas permitidas consideradas muito graves que podem afetar a segurança das pessoas (SUGIMOTO, 2010).

3.5.2 Para-raios radioativo

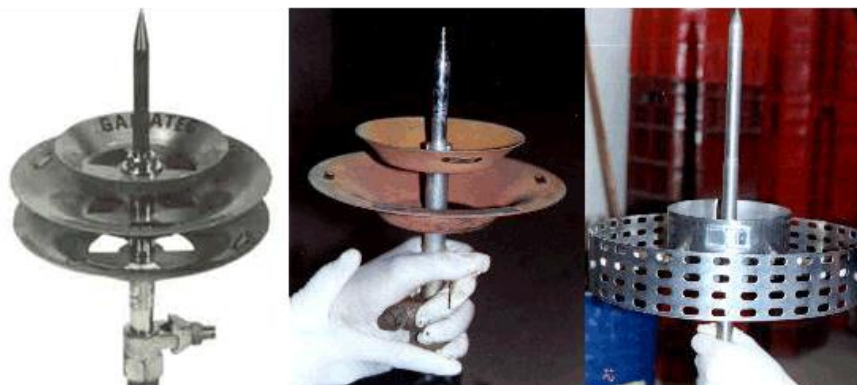
Foi o húngaro Szillard quem iniciou a aplicação de materiais radioativos para gerar uma excitação artificial da atmosfera e uma produção de íons para proteção contra descargas atmosféricas. Por isso, ele fez um para-raios composto por uma barra de 4 metros de altura e nela um prato com 2mg de brometo. É uma barra de metal no final da qual existe uma caixa com isótopo radioativo, com o objetivo de ionizar o ar ao seu redor, liberando partículas alfa. Estes para-raios foram descontinuados (BASSI; TATIZAWA, 2016).

O uso de para-raios radioativos é proibido em muitos países, devido ao perigo representado pelo uso de uma substância radioativa de maneira dispersa e descontrolada. No entanto, essa proibição não é global e seu uso foi generalizado desde 1930 até sua proibição em 1986, onde milhares de para-raios radioativos foram instalados somente na França (NAG, 2010).

O para-raios radioativo consiste em uma barra de metal no final da qual existe uma caixa que contém uma pequena quantidade de isótopo radioativo, cujo objetivo é ionizar o ar ao seu redor, liberando partículas alfa. Esse ar ionizado favorece a geração do canal de raios para o solo, obtendo uma área protegida de formato esférico-cilíndrico. Os isótopos de rádio mais comuns usados nos sensores desses para-raios radioativos são o Rádio 226, Americium 241, etc. Este sistema foi amplamente utilizado até sua proibição, devido ao perigo de emissões radioativas que poderiam ocorrer em caso de quebra do invólucro do material radioativo, e também quanto ao seu descarte, que ao ser realizado de forma irresponsável poderia acometer

diversos riscos de contaminação (RAKOV, 2010). A Figura 7 apresenta um modelo de para-raios radioativo.

Figura 7 – Para- raio radioativo



Fonte: (RAKOV, 2010)

3.5.3 Para-raios piezoelétricos

Baseia-se na capacidade de materiais piezoelétricos produzirem carga elétrica a partir de mudanças em sua estrutura devido a pressões externas (como as produzidas pelo vento durante uma tempestade). Para que esse sistema seja eficaz, é necessário que exista vento que oscila a haste que suporta a haste de raio. Por esse motivo, pode haver períodos de inatividade da ação de proteção, motivo pelo qual a instalação não é frequente ou eficaz. Atualmente, está fora de serviço (MUNUKUTLA, 2010).

3.5.4 Para-raios com dispositivo de escorva

Um para-raios com dispositivo de escorvamento é um para-raios que incorpora um dispositivo de escorvamento, eletrônico ou não, que garante uma altura mais alta do ponto de queda de raios, aumentando assim a área de cobertura e facilitando a proteção de grandes áreas, simplificando e reduzindo os custos de instalação (KHODSUZ et al., 2015).

Os para-raios com dispositivo de escorva são o sistema de proteção externa mais eficaz, pois podem garantir um raio de proteção variável, dependendo do seu avanço de preparação, medido em microssegundos. Normalmente, os fabricantes,

dependendo do progresso de preparação de cada um de seus modelos, indicam em uma tabela o raio de cobertura, sempre de acordo com a norma NBR 5419 (ALMEIDA, 2009).

São formados por eletrodos de aço ou materiais similares acabados em uma ponta. Eles incorporam um sistema eletrônico que gera um avanço teórico da plotadora; outros incorporam um sistema piezoelétrico que gera um efeito semelhante. Os dois sistemas são caracterizados por antecipar o tempo na captura do feixe, uma vez que ocorre a carga do dispositivo de excitação eletrônica (primer). Os tamanhos das cabeças variam de acordo com o modelo de cada fabricante. Eles não incorporam nenhuma fonte radioativa (GOSTIMIROVIC, 2012).

Seu princípio de funcionamento permanece o mesmo que os para-raios do tipo Franklin, a diferença tecnológica desses equipamentos está no sistema eletrônico, que aproveita a influência elétrica aumento potencial entre a nuvem e a terra para alimentar automaticamente o primer. Estes que são componentes eletrônicos que normalmente alojados dentro de um recipiente de metal e colocados na parte mais próxima da ponta do para-raios e servem para excitar a avalanche de elétrons (ionização) (GOSTIMIROVIC, 2012).

A excitação do raio é efetuada ionizando o ar por impulsos repetitivos. À medida que a diferença de potencial entre o para-raios e a nuvem aumenta gradualmente, aparece um efeito de ionização natural ou corona. São mini descargas que deixam a ponta com mais intensidade para ionizar ainda mais o ar. Este fenômeno é o princípio da excitação para traçar um caminho condutor intermitente que facilitará a descarga do fenômeno de raios (HILL et al., 2011).

O dispositivo de escorva eletrônico é conectado em série entre a cabeça de ar e a ponta. Funciona apenas com raios negativos. O dispositivo de escorva consiste em pequenos componentes eletrônicos sensíveis aos campos eletromagnéticos, constituídos por: diodos, bobinas, resistores e capacitores isolados um do outro por uma resina. Alguns fabricantes recomendam em seus catálogos a revisão do dispositivo eletrônico de ferragem cada vez que recebe um impacto ou um raio na para-raios, para garantir a eficácia do mesmo. O objetivo desses para-raios é excitar a descarga e capturar o impacto do feixe de terra negativo, para direcionar seu potencial de alta tensão para o aterramento elétrico (MACEDO, 2005).

3.5.5 Critérios para a localização de para raios

Basicamente, existem dois métodos para fazer os projetos e definir a localização e a quantidade do para-raios, é o método do cone de proteção e a esfera de rolamento (MIGUEL 2013).

Método do cone

Esse método consiste em definir um cone ao redor do para-raios, assumindo que as estruturas e superfícies que estão dentro desse cone serão protegidas. A NBR 5419, indica dois tipos de ângulos, para estruturas menores que 7,6 m deve ser de 63 graus (relação 1 a 2), em estruturas de até 15 m, pode ser usada uma abertura de 45 ° (relação 1 para 1) (MIGUEL 2013).

Este método é uma aproximação teórica e o feixe não pode necessariamente se comportar como previsto. Este conceito de proteção não implica segurança para as pessoas, pois as tensões de toque e de passo podem afetá-las. Por fim, o ângulo de proteção é função da altura da estrutura (MIGUEL 2013).

Método da esfera de rolamento

Deriva do chamado modelo eletro geométrico (EGM), que prevê que, considerando uma esfera imaginária de um determinado raio, o raio terá maior probabilidade de tocar as superfícies ou objetos que estão dentro da esfera ou "tocar" sua superfície. A área ou volume sendo protegido fora dela (PINTO, 2005).

Este método é uma aproximação teórica e o feixe não pode necessariamente se comportar como previsto. Este conceito de proteção não implica segurança para as pessoas, pois as tensões de toque e de passo podem afetá-las. O raio da esfera varia de acordo com os códigos ou padrões usados (PINTO, 2005).

3.6 Normatividade dos sistemas para-raios

O objetivo dos atuais padrões de proteção do sistema de para-raios é salvaguardar a vida de pessoas e instalações. Note-se que, em maior ou menor grau, deve ser esclarecido que não há proteção absoluta contra raios, mas apenas proteção adequada (LABURÚ; LIBRANTZ, 2006)

3.6.1 Norma Internacional: IEC 62305

IEC 62305-1 Proteção contra raios - Parte 1: Princípios gerais:

Não existem dispositivos ou métodos capazes de modificar os fenômenos atmosféricos naturais a ponto de impedir raios. Os impactos de raios nas estruturas ou nas proximidades (ou nos serviços a eles relacionados) são perigosos para as pessoas, as próprias estruturas, seu conteúdo, instalações e serviços. É por isso que as medidas de proteção contra raios são essenciais (MATTOS, 2009).

A necessidade de proteção, os benefícios econômicos da instalação de medidas de proteção apropriadas e sua escolha devem ser determinados em termos de avaliação do arrisca. A avaliação de risco é o assunto da IEC 62305-2. Proteção contra raios - Parte 2: Avaliação de riscos Descargas atmosféricas no solo podem ser perigosas para estruturas e serviços (MATTOS, 2009).

Segundo Mattos (2009), o perigo nas estruturas pode levar a:

- Danos à estrutura e seu conteúdo;
- Falhas nos sistemas elétricos e eletrônicos associados;
- Danos a seres vivos localizados dentro ou perto das estruturas.

Os efeitos de danos e falhas podem se estender aos arredores das estruturas ou envolver o meio ambiente (MATTOS, 2009).

IEC 62305-3 Proteção contra raios - Parte 3: Danos físicos às estruturas e risco humano:

Lida com a proteção interna e ao redor das estruturas contra danos físicos e contra os riscos para os seres vivos devido ao contato e à passagem de tensões. A principal e mais eficaz medida de proteção de estruturas contra danos físicos é

considerada o Sistema de Proteção contra Raios (SPCR), normalmente formado por um sistema externo e interno (LIMA, 2006).

As principais medidas de proteção contra danos aos seres vivos devido a tensões de contato e de passagem têm como objetivo:

a) reduzir a corrente que flui através dos corpos, isolando as partes externas condutoras e / ou aumentando a resistividade da superfície do solo (LIMA, 2006);

b) reduzir a possibilidade de contato e passagem de tensão através do uso de restrições de acesso e / ou sinais de alerta (LIMA, 2006).

EC IEC 62305 4 Sistema de aterramento - Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos em estruturas (LIMA, 2006)

O raio como fonte de dano é um fenômeno de energia muito alta. As descargas liberam muitas centenas de mega joules de energia. Quando comparado aos milijoules de energia que podem ser suficientes para causar danos a equipamentos eletrônicos sensíveis e sistemas elétricos e eletrônicos encontrados nas estruturas, fica claro que medidas de proteção adicionais serão necessárias para proteger esses equipamentos (KHODSUZ et al., 2015).

Como resultado do aumento dos custos de falhas de sistemas elétricos e eletrônicos, produzidos pelos efeitos eletromagnéticos dos raios, surgiu a necessidade desse padrão internacional. De especial importância são os equipamentos eletrônicos utilizados nos processos e armazenamento de dados, bem como nos processos de controle e segurança em plantas de grande valor, tamanho e complexidade (para as quais as paradas não são desejáveis por razões de custo e de segurança). A IEC 62305-3 lida com medidas de proteção para reduzir o risco de danos físicos e perigos à vida, mas não cobre a proteção de sistemas elétricos e eletrônicos. Esta Parte 4 da IEC 62305, portanto, fornece informações sobre medidas de proteção para reduzir o risco de falhas permanentes de sistemas elétricos e eletrônicos em estruturas (MACEDO, 2005).

3.6.2 A NBR 5419 – Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas.

É muito importante que sejam definidas nas instalações prediais sistemas que protejam todos aqueles que utilizam do espaço, entre muitos cuidados e sistemas devem ser tomadas medidas para que se minimize os impactos das descargas atmosféricas. Com este intuito a ABNT criou normas para diversas áreas incluindo

uma norma para a proteção de estruturas contra descargas atmosféricas (LAAN et al., 2013).

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros) (BRITO, 2012).

A NBR 5419 – Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas, é a norma que trata dentre outros importantes assunto do SPDA (sistemas de proteção contra descargas atmosféricas). Seu campo de aplicação é definido na própria norma em seu capítulo 1 (BRITO, 2012).

Tassi (2012) traz que aspectos como projeto, instalação e manutenção torna-se esta norma padrão para qualquer consulta referente a este sistema em específico. A norma ainda dita no item 1.2 que esta norma a quais os tipos de instalações a mesma se refere. Esta Norma aplica-se às estruturas comuns, utilizadas para fins comerciais, industriais, agrícolas, administrativos ou residenciais, e às estruturas especiais previstas no anexo A da mesma.

Sendo as estruturas constantes do anexo A, como expõe Tassi (2012).:

- A.1 Chaminés de grande porte;
- A.2 Estruturas contendo líquidos ou gases inflamáveis;
- A.3 Antenas externas;
- A.4 Aterramento de guindastes/gruas;

Está compreendido ainda no seu item 1.3 as instalações as quais a NRB 5419 não se aplica:

Esta Norma não se aplica a sistemas ferroviários; sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica externos às estruturas; sistemas de telecomunicação externos às estruturas; veículos, aeronaves, navios e plataformas marítimas. Um ponto importante que a norma trata está descrito em seu item 1.4 que é a exclusão da norma NBR 5419 a proteção de efeitos e interferências eletromagnéticas causada em equipamentos elétricos e eletrônicos que sejam provenientes das descargas atmosféricas (PINTO, 2005).

Esta Norma não contempla a proteção de equipamentos elétricos e eletrônicos contra interferências eletromagnéticas causadas pelas descargas atmosféricas (PINTO, 2005).

4 METODOLOGIA

A metodologia, examina, descreve e avalia os métodos e as técnicas de pesquisa que possibilitam a coleta e o processamento de informações, visando ao encaminhamento e à resolução de problemas (PRODANOV E FREITAS, 2013).

Segundo Silva (2004), a pesquisa qualitativa, visa avaliar qualitativamente os indivíduos do caso em estudo e “considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números”.

Para Perovano (2014) o processo descritivo visa à identificação, análises de características fatores e/ou variáveis relacionadas aos fenômenos ou processos a serem estudados.

De acordo com os métodos de pesquisa o presente trabalho se classifica como:

- De propósito descritivo, pois busca levantar dados e relaciona-los, para posteriormente determinar o resultado, este que pode ser dado através de recomendações de alteração ou adequação do projeto de SPDA analisado.
- Com abordagem qualitativa, pois tem como objeto a compreensão dos principais fatores que envolvem a avaliação de um projeto de sistema de proteção contra descargas atmosféricas.
- De procedimentos técnicos com estudo de caso, pois visa entender na prática tudo aquilo que envolve a avaliação de um projeto de sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

O desenvolvimento deste trabalho iniciou-se com a revisão bibliográfica dos temas envolvidos, esta permitiu assim, compreender e avaliar melhor o projeto escolhido para estudo de caso.

O próximo passo foi ter acesso aos dados de projeto da edificação escolhida. Para realização do estudo de caso as evidencias podem vir de fontes distintas tais como documentação, arquivos de registro, entrevistas, observação direta, observação

participante e artefatos físicos (YIN, 2005). Dessa forma o levantamento de dados se deu por consultas em documentos técnicos, inspeções e medições realizadas in loco, tendo no final os resultados em forma de recomendações a serem feitas para adequação do projeto a norma ABNT – NBR – 5419:2015.

5 ESTUDO DE CASO

5.1 Caracterização da edificação

A edificação alvo para o estudo de caso é um prédio em uma área industrial de uma mineradora e está situado na zona rural da cidade de São Gonçalo do Rio Abaixo, cuja atividade desenvolvida é “ Britagem de minério de ferro”. A área construída da edificação é de 450m², a mesma é construída em pilares metálicos e cobertura metálica assim como mostra a figura 8.

Figura 8 – Prédio de britagem



Fonte: Elaborado pelos autores

5.2 Projeto de SPDA instalado na edificação (20/01/2009)

Foi verificado que a edificação contempla o projeto de sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), este que foi elaborado em janeiro de 2009, e o mesmo está de acordo com a NBR - ABNT 6492:1994, esta norma que regulamenta a representação gráfica dos projetos, visando fornecer os parâmetros necessários não só ao desenho, mas também, a correta compreensão dos elementos presentes em uma planta.

O projeto possui quatro vistas, para que assim possam ser especificados e apresentados os detalhes de elaboração para os três subsistemas, subsistema de captação, descidas e aterramento. Para que seja visualizado no formato em que se apresenta este trabalho, o projeto será desmembrado em partes, podendo assim, ser apresentadas todas as vistas, referentes a cada subsistema.

Para o entendimento correto do estudo de caso proposto neste trabalho, é válido salientar que primeiro será feito o descritivo do projeto como o mesmo deveria ter sido implementado, não explorando então, erros e acertos competentes ao mesmo, o objetivo desta descrição é de mostrar o que deveria ter sido implementado quando o mesmo fora projetado, num próximo item serão apresentados os dados das inspeções e medições feitas in loco e por fim serão apresentadas as recomendações e oportunidades de melhorias propostas para adequação do mesmo a norma NBR-ABNT – 5419:2015.

Afim de estabelecer uma clara identificação dos detalhes típicos que compõe o projeto, itens indispensáveis para aplicações como esta, fora criada uma tabela contendo o número da identificação e a descrição do detalhe, para que assim possa ser consultada durante o descritivo que virá subsequente.

Tabela 1 – Detalhes

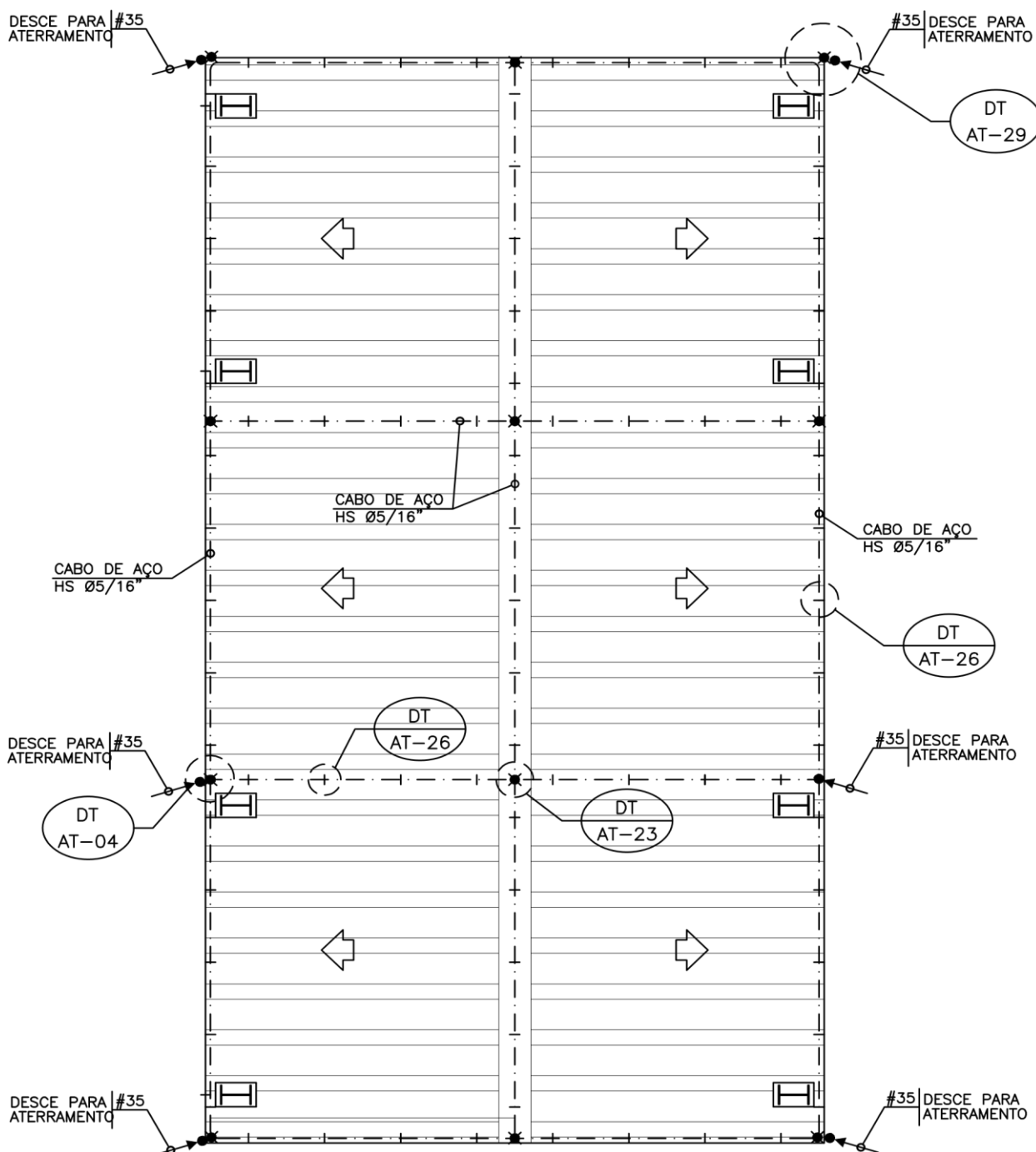
IDENTIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO
DT - AT - 01	ATERRAMENTO - POÇO C/ HASTE ACESSÍVEL
DT - AT - 02	ATERRAMENTO - CONEXÃO Á LATERAL DA HASTE
DT - AT - 04	ATERRAMENTO - CONEXÃO TIPO "T"
DT - AT - 05	ATERRAMENTO - CONEXÃO TIPO "X"
DT - AT - 06	ATERRAMENTO - CONEXÃO C/ SUPERFÍCIE METÁLICA
DT - AT - 08	ATERRAMENTO - AFLORAMENTO DO CABO TERRA
DT - AT - 09	ATERRAMENTO - FIXAÇÃO DO CABO EM PAINEL / CAIXA
DT - AT - 10	ATERRAMENTO - MOTOR DE BAIXA TENSÃO
DT - AT - 11	ATERRAMENTO - MOTOR DE MÉDIA / ALTA TENSÃO
DT - AT - 12	ATERRAMENTO – TRANSFORMADOR
DT - AT - 13	ATERRAMENTO - TRILHO / PERFIL
DT - AT - 14	ATERRAMENTO - ESTRUTURA METÁLICA
DT - AT - 15	ATERRAMENTO - FIXAÇÃO DE CABO TERRA
DT - AT - 16	ATERRAMENTO - ESCADA METÁLICA
DT - AT - 17	ATERRAMENTO – CERCAS
DT - AT - 19	ATERRAMENTO - PORTÃO JUBULAR
DT - AT - 20	ATERRAMENTO - JUNÇÃO DE LEITO
DT - AT - 21	ATERRAMENTO - 1 NÍVEL DE LEITO
DT - AT - 22	ATERRAMENTO - VÁRIOS NÍVEIS DE LEITO
DT - AT - 23	ATERRAMENTO - CONEXÃO COM PARAFUSO FENDIDO
DT - AT - 24	ATERRAMENTO – ELETRODUTOS
DT - AT - 25	ATERRAMENTO - FIXAÇÃO CABO TERRA EM ELETRODUTO
DT - AT - 26	ATERRAMENTO - FIXAÇÃO CABO CAPTOR EM COBERTURA
DT - AT - 29	ATERRAMENTO - DESCIDA DO CABO PARA SPDA
DT - AT - 30	ATERRAMENTO - INSTALAÇÃO DE PÁRA-RAIOS
DT - AT - 32	ATERRAMENTO - FERRAGEM DA ESTRUTURA DE CONCRETO
DT - AT - 33	ATERRAMENTO - TERMINAL DE ATERRAMENTO PRINCIPAL
DT - AT - 34	ATERRAMENTO -INSTRUMENTO DE PEDESTAL
DT - EL - 01	ELETRODUTO - FIXAÇÃO COM MÃO FRANCESA
DT - EL - 02	ELETRODUTO - FIXAÇÃO COM MÃO FRANCESA
DT - EL - 03	ELETRODUTO - FIXAÇÃO COM PERFIL "Z"
DT - EL - 04	ELETRODUTO - FIXAÇÃO COM BRAÇADEIRA "D"
DT - EL - 06	ELETRODUTO - FIXAÇÃO COM PEDESTAL
DT - EL - 07	ELETRODUTO - PEDESTAL P/ FIXAÇÃO DE EQUIPAMENTO
DT - EL - 08	ELETRODUTO - FIXAÇÃO DE EQUIPAMENTO / CAIXA DE PASSAGEM
DT - EL - 09	ELETRODUTO - FIXAÇÃO DE BOTOEIRA
DT - EL - 10	ELETRODUTO - ALIMENTAÇÃO DE MOTORES – BT

Fonte: Elaborado pelos autores

5.2.1 Descritivo do subsistema de captação

Após verificação realizada no projeto, fora visto que o método de proteção escolhido para edificação foi o método da gaiola de Faraday, devida à geometria e a área a ser protegida, a figura 9 a seguir, é uma vista impressa do projeto, que evidencia a planta de cobertura, através dela, pode-se entender as recomendações projetadas a este subsistema.

Figura 9 – Planta de cobertura



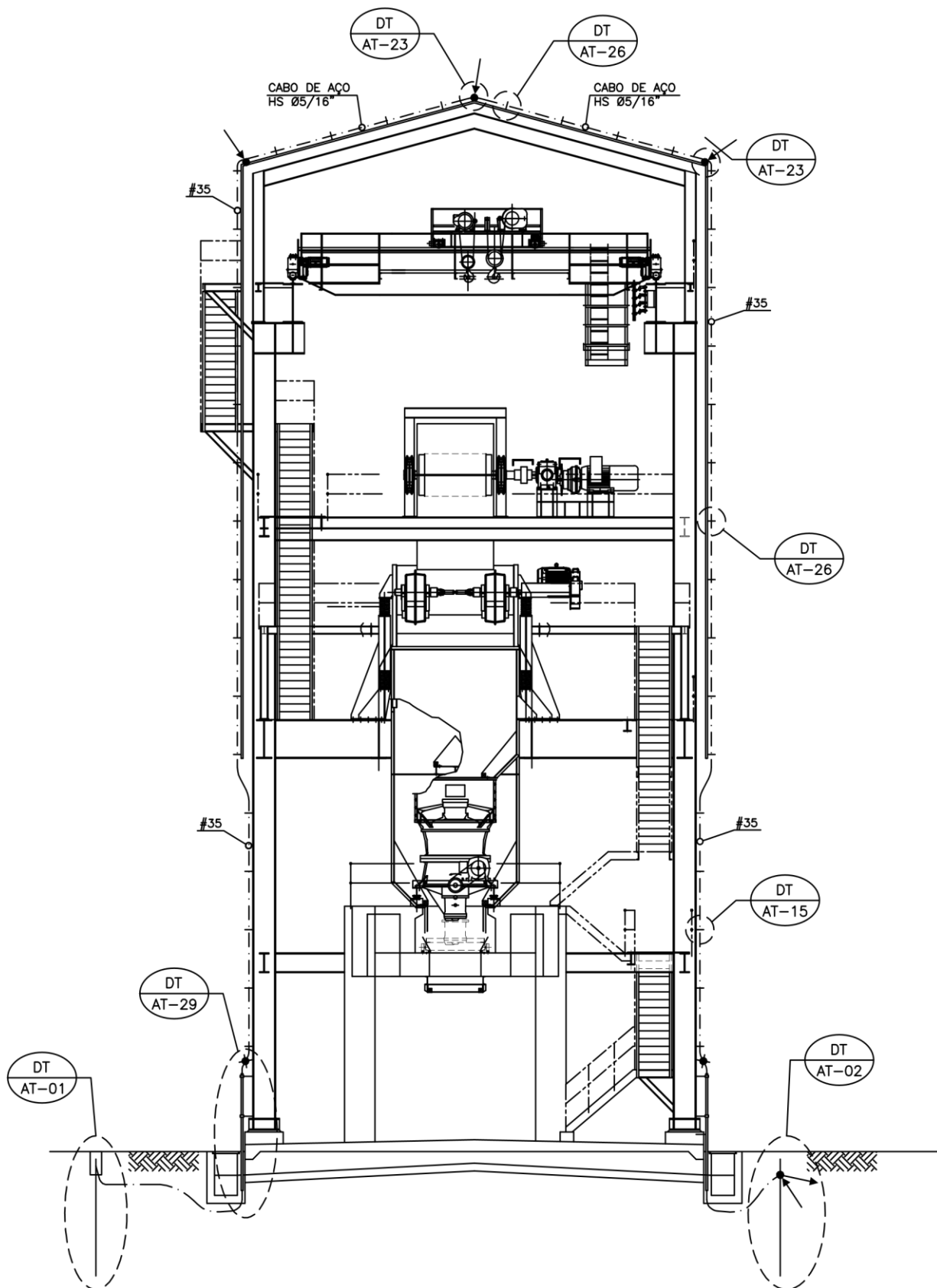
Fonte: (SISTEMA DE ENGENHARIA DA MINERADORA, 2019)

Observa-se que para o subsistema de captação visualizado acima, fora projetado a utilização de cabo de aço HS Ø5/16” para confecção do MASH (malha) de captação, os comentários nas seis extremidades são para indicar o ponto de descida para que o subsistema de captação, seja interligado ao subsistema de aterramento, através do subsistema de descidas que será tratado em subsequente. Quanto a fixação dos condutores na cobertura deverá ser feita em todos os pontos iguais aos identificados no DT – AT – 26, para interligar os condutores das laterais aos que interligam perpendicularmente deverão ser utilizados conectores tipo “T”, estes que estão identificados como DT – AT – 04, já as conexões centrais deverão ser feitas através de conectores com parafusos fendidos identificados como DT – AT – 23.

5.2.2 Descritivo do subsistema de descidas

O subsistema de descidas é composto por 6 descidas não naturais estas que tem a função de interligar o subsistema de captação ao subsistema de aterramento, deverão ser feitas com condutor de cobre nu #35mm², como indicado ao projeto, e deverão ser interligados a malha de captação nos conectores de ferro fendido assim como indicado no DT – AT – 23 na vista lateral do projeto SPDA como demonstrado na figura 10.

Figura 10 – Vista lateral do projeto SPDA



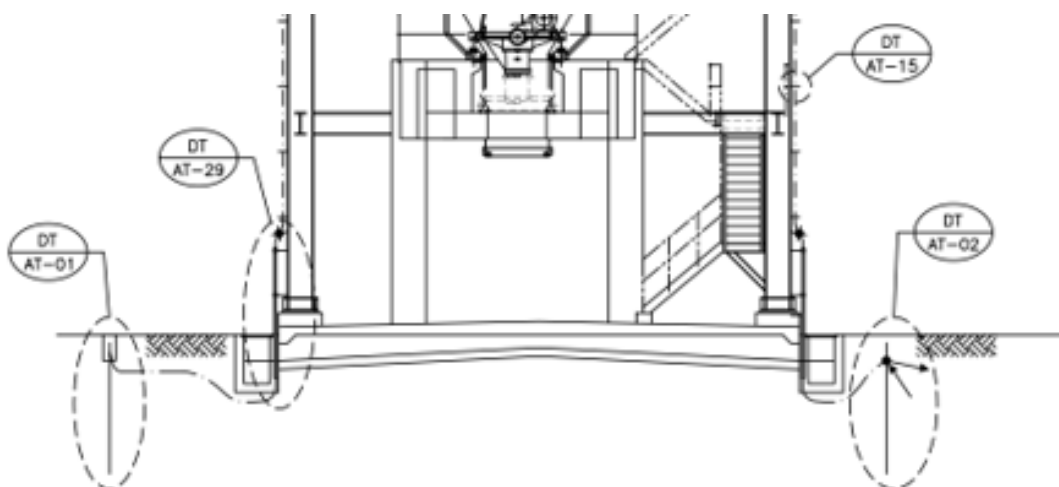
Fonte: (SISTEMA DE ENGENHARIA DA MINERADORA, 2019)

Os condutores de descida deverão ser fixados na lateral da estrutura assim como indicado nos pontos idênticos aos sinalizados no DT – AT – 26. O subsistema de descida termina no conector indicado no DT – AT – 15, onde o mesmo se interliga ao subsistema de aterramento.

5.2.3 Descritivo do subsistema de aterramento

No intuito de tornar mais clara a compreensão da descrição deste subsistema, torna-se viável a utilização de parte da vista lateral do projeto SPDA apresentada anteriormente, na figura 11 abaixo, temos os detalhes típicos que indicam as recomendações para utilização de poços de inspeção com haste acessível DT – AT – 01, e também a conexão lateral a haste encoberta DT – AT – 02, esta que tem como função interligar o MASH de aterramento as hastes devidamente posicionadas nas extremidades do subsistema de aterramento.

Figura 11 – Vista lateral do projeto SPDA (2)



Fonte: (SISTEMA DE ENGENHARIA DA MINERADORA, 2019)

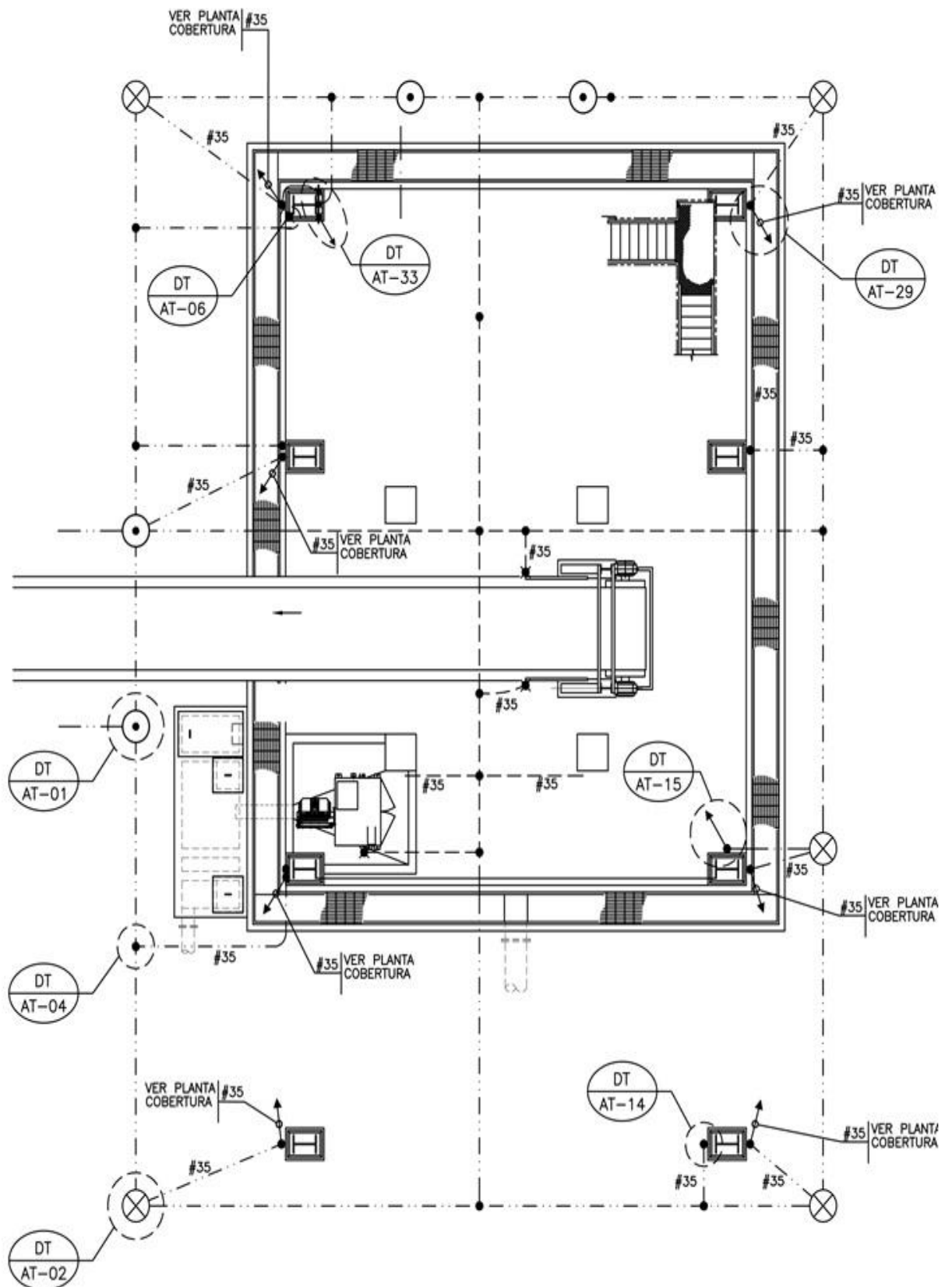
Para o restante do subsistema de aterramento foram recomendados os seguintes itens:

- O MASH de aterramento deverá ser constituído por condutor de cobre nu 35mm². Para conexões de laterais a condutores perpendiculares utilizar conectores tipo “T” como mostra o detalhe DT – AT – 04.

- Os pilares metálicos estruturais da edificação serão o ponto de aterramento principal assim como mostra o DT – AT – 33, estes que deverão ser conectados ao MASH de aterramento, assim como mostra o detalhe DT – AT – 06, e também evidenciado no detalhe DT – AT – 15 – fixação de aterramento.
- A estrutura metálica também deverá ser conectada aos pilares, assim como mostra o detalhe DT – AT - 14
- O subsistema de descidas deverá ser interligado ao subsistema de aterramento assim evidenciado no detalhe DT – AT – 29.
- Deverão existir quatro poços de inspeção com haste acessível assim como indicado no detalhe DT – AT -01. O detalhe DT – AT – 02 evidencia que deverão ser instaladas cinco hastes de aterramento e nelas serão soldados (solda exotérmica) os condutores deste subsistema.

Todos estes itens podem ser verificados na figura 12, que apresenta a planta de aterramento do projeto SPDA da edificação.

Figura 12 – Planta de aterramento.



Fonte: (SISTEMA DE ENGENHARIA DA MINERADORA, 2019)

5.3 Levantamento de dados

Através do levantamento de dados e das medições realizadas in loco, pode-se confrontar as especificações descritas nos três subsistemas do projeto de SPDA instalado, também fora realizado o teste de equipotencialização nas estruturas dos equipamentos elétricos abrigados na edificação, e por fim verificou-se quaisquer alterações que ocorreram na edificação e nos seus arredores. Por meio dessas evidências é possível avaliar a eficácia da proteção, a integridade dos componentes dos subsistemas e também verificar os possíveis itens que se encontram em não conformidade contrariando assim a norma ABNT- NBR 5419:2015.

Para facilitar o entendimento dos dados levantados os mesmos serão apresentados em partes, sendo assim, primeiro os dados relacionados aos três subsistemas, captação, descida e aterramento, após, os dados do teste de equipotencialização tanto para os equipamentos abrigados na edificação quanto as estruturas ao seu entorno.

5.3.1 Subsistema de captação

Para verificar a instalação e integridade do subsistema de captação do projeto SPDA instalado a edificação, foram utilizadas imagens aéreas capturadas por um drone Mavic-Pro do fabricante DJI, apresentado na figura 13.

Figura 13 – Drone Mavic-Pro



Fonte: Criado pelos autores

Através das imagens capturadas é possível verificar a integridade da instalação do MASH de captação, é importante salientar que foram realizadas diversas fotografias e vídeos para que assim pudesse serem feitas todas as inspeções visuais necessárias, no intuito de avaliar este subsistema. As figuras 13 e 14, evidenciam que mesmo está bem fixado e não apresenta qualquer tipo de rompimento em seus condutores.

Figura 14 – Vista aérea frontal do mash de captação



Fonte: Criado pelos autores.

Figura 15 – vista aérea completa do mash de captação



Fonte: Criado pelos autores.

5.3.2 Subsistema de descidas

A coleta de dados deste subsistema se deu através de inspeções visuais seguidas de registros fotográficos, que serão explanados abaixo:

- a) O conjunto de descidas não naturais é composto por seis descidas, assim como indicado no projeto, foi verificada a integridade de todos os condutores e também dos condutes ante chamas, estes que foram instalados em conformidade a norma, como mostra a figura 16:

Figura 16 – Descida não natural



Fonte: Criado pelos autores.

- b) Foi verificado que os condutores das descidas não naturais são de 25mm².
- c) Não foi encontrado ponto de inspeção para que fossem realizados testes para verificação de integridade da malha.

5.3.3 Subsistema de aterramento

A coleta de dados neste no subsistema de aterramento se deu através de inspeções visuais e registros fotográficos.

Neste subsistema foi possível identificar as seguintes situações:

- a) Para o conjunto de descidas naturais verificou-se a integridade tanto do condutor quanto do conector ou solda utilizado para conectar o pilar metálico a malha de aterramento, e foi encontrado um condutor com a solda danificada em um dos oito pilares aterrados, conforme mostra a figura 16 abaixo.

Figura 17 – Descida natural



Fonte: Criado pelos autores.

- b) Os condutores utilizados para conectar os pilares metálicos a malha de aterramento foram cabos de alumínio 35mm².
- c) Não foi possível encontrar os poços contendo as hastes de aterramento para medição da resistividade da malha, suspeita-se que os poços foram todos concretados

5.3.4 Estruturas adjacentes a edificação

No entorno da edificação foram instaladas novas estruturas, tais como containers e um galpão (oficina) que servem de apoio as equipes de operação e manutenção que ali executam suas atividades, como mostram as figuras 17 e 18 abaixo.

Figura 18 – Galpão de oficina



Fonte: Criado pelos autores

Figura 19 – Containers



Fonte: Criado pelos autores

As estruturas citadas não possuem circuitos de SPDA.

5.3.5 Equipotencialização de estruturas e equipamentos

A equipotencialização é técnica de proteção elétrica que objetiva tanto para pessoas quanto para equipamentos, pois caso o equipamento venha a falhar, o mesmo não expõe um indivíduo que por acaso o toque, ao choque elétrico, pois o condutor de aterramento fará com que a corrente elétrica “escoe” para a terra, fazendo com que a diferença de potencial entre o indivíduo e o equipamento em falha esteja dentro dos valores aceitáveis.

O teste consiste em realizar a medição de continuidade entre o ponto de aterramento principal da edificação e o condutor de aterramento do

equipamento/estrutura desejado, para tais medições foi utilizado o alicate amperímetro Fluke 376 True RMS Clamp Meter conforme figura 19.

Figura 20 – Fluke 376



Fonte: Criado pelos autores

A tabela 2 a seguir, evidencia o item, o equipamento medido, a valor ôhmico encontrado (este que deve seguir recomendação da ABNT – NBR – 5419 onde o valor máximo permitido aceitável seja $\leq 1\Omega$), a visibilidade ou não do condutor de aterramento, a equalização da porta do painel, quando aplicável, e se há irregularidades em algum dos equipamentos medidos.

Tabela 2 – Equipotencialização de estruturas e equipamentos

ITEM	ITEM INSPECIONADO	RI (Ref.≤1Ω)	CONDUTOR	PORTA EQUALIZADA	IRREGULARIDADE
1	ESTRUTURA DA EDIFICAÇÃO	0,10 Ω	VISÍVEL	NA	Não possui irregularidade
2	PAINEL CFTV	0,10 Ω	VISÍVEL	SIM	Não possui irregularidade
3	MOTOR DO BRITADOR	0,10 Ω	VISÍVEL	NA	Não possui irregularidade
4	PAINEL DE ILUMINAÇÃO	0,10 Ω	VISÍVEL	SIM	Não possui irregularidade
5	ESTRUTURA CORREIA TRANSPORTADORA	0,10 Ω	VISÍVEL	NA	Não possui irregularidade
6	PONTE ROLANTE	0,10 Ω	VISÍVEL	NA	Não possui irregularidade
7	ESTRUTURA DA PENEIRA	0,10 Ω	VISÍVEL	NA	Não possui irregularidade
8	MOTOR PENEIRA	0,10 Ω	VISÍVEL	NA	Não possui irregularidade
9	PAINEL DE CONTROLE DO CONVERSOR REDE PROFIBUS	0,10 Ω	VISÍVEL	NA	Não possui irregularidade
10	CONTAINER PROX. ESTRUTURA	176,82 Ω	NÃO VISÍVEL	NA	Apresentou alto valor de resistência ôhmica
11	ESTRUTURA METÁLICA	6,32 Ω	NÃO VISÍVEL	NA	Apresentou alto valor de resistência ôhmica

Fonte: Elaborado pelos autores

Para os itens 10 e 11 da tabela acima foram identificadas irregularidades, a estas, serão indicadas recomendações para adequação dos mesmos aos requisitos aceitáveis de segurança.

5.4 Recomendações

Conforme os dados levantados através das inspeções in loco e das medições realizadas, torna-se necessário a execução de melhorias e adequações para que o projeto possa estar em conformidade com a norma ABNT – NBR – 5419:2015.

Estas recomendações serão apresentadas em tópicos separadamente, iniciando com as recomendações ao projeto, em subsequente aos subsistemas do projeto SPDA e por fim, às estruturas em torno da edificação, visando assim, facilitar seu entendimento.

5.4.1 Recomendações ao projeto.

Ressalta-se que deverão ser indicadas no projeto do SPDA, conforme indicado no item 7.5 – Documentação, vide ABNT – NBR – 5419:2015, informações como: a classe do SPDA; Desenhos em escala mostrando as dimensões, os materiais, e as posições dos componentes do SPDA.

A recomendação citada anteriormente, é uma dentre várias outras que ocorreram com processo de atualização da norma ABNT – NBR – 5419 no ano de 2015. O que ficou mais evidente neste processo de atualização, foi o gerenciamento de risco, este que se tornou uma ferramenta iterativa para o projeto, classificando a necessidade ou não de projeto, o nível do SPDA e verificando se a proteção é adequada ou não ao volume a ser protegido.

Visando a adequação e atualização do projeto citado neste estudo caso, foi elaborada análise de risco para esta edificação:

a) Parâmetros da edificação:

L (Comprimento): 20 metros

W (Largura): 12 metros

H (altura): 22 metros

b) Avaliação do Risco de Exposição:

A_e = área de exposição (m^2)

$$A_e = L \times W + 2 \times L \times H + 2 \times W \times H + 3,1416 \times H^2 \quad (1)$$

$$A_e = 3.168,486 \text{ m}^2$$

c) Densidade de Descargas para a Terra (N_g):

$$N_g = 0,04 \times Td^{1,25} \quad (2)$$

$$N_g = 9,57 \text{ descargas/Km}^2/\text{ano}$$

O índice N_g também pode ser obtido através do link de acesso indicado no anexo F do capítulo 2 da norma ABNT – NBR – 5.419:2015

d) Frequência anual de possíveis descargas (N)

$$N = N_g \times A_e \times 10^{-6} \text{ por ano}$$

(3)

$$N = 0.03032 \text{ por ano}$$

e) Fatores de ponderação:

Tabela 3: Fatores de ponderação para edificação

FATOR	DESCRIÇÃO	Características da presente edificação	Valor
A	Tipo de ocupação	Fábricas, oficinas e laboratórios	ABNT NBR 5419: 2015
B	Tipo de Construção	Estrutura de aço revestida, com cobertura metálica	
C	Conteúdos e efeitos indiretos	Estruturas industriais e agrícolas contendo objetos suscetíveis a danos	
D	Localização	Estrutura localizada em área contendo estruturas ou árvores da mesma altura.	
E	Topografia	Elevação moderadas, colinas	

Fonte: Elaborado pelos autores

f) Ponderação da Frequência Anual Previsível de Descargas (N_p)

N_p = Número de descargas por ano

$$N_p = A \times B \times C \times D \times E$$

(4)

$$N_p = 0,0194$$

Tabela 4: Resultado edificação

Resultado	Item	N_p exponencial	N_p decimal	Situação do SPDA
A	A	$N_p \geq 10^{-3}$	$N_p \geq 0,001$	Obrigatório
	B	N_p entre 10^{-3} e 10^{-5}	$N_p > 0,00001$	Opcional
	C	$N_p \leq 10^{-5}$	$N_p \leq 0,00001$	Dispensado

Fonte: Elaborado pelos autores

Com base no resultado da análise de risco observa-se que a edificação tem conforme a norma ABNT – NBR – 5419:2015 por obrigatoriedade a instalação do projeto de SPDA.

5.4.2 Recomendações ao subsistema de captação

Foi verificado na inspeção do subsistema de captação que o mesmo está em contato direto com as telhas, e é recomendado para fixação destes, os conectores universais, para que seja evitado o desgaste por acoplamento galvânico.

5.4.3 Recomendações ao subsistema de Descidas

A este subsistema torna-se necessário a substituição dos condutores de descidas de cobre com área de seção transversal de 25mm² para condutores de cobre nu 35mm², conforme indicado no projeto e também na tabela 6 do item 5.6.2 – Dimensões, verificados na ABNT – NBR – 5419:2015/3

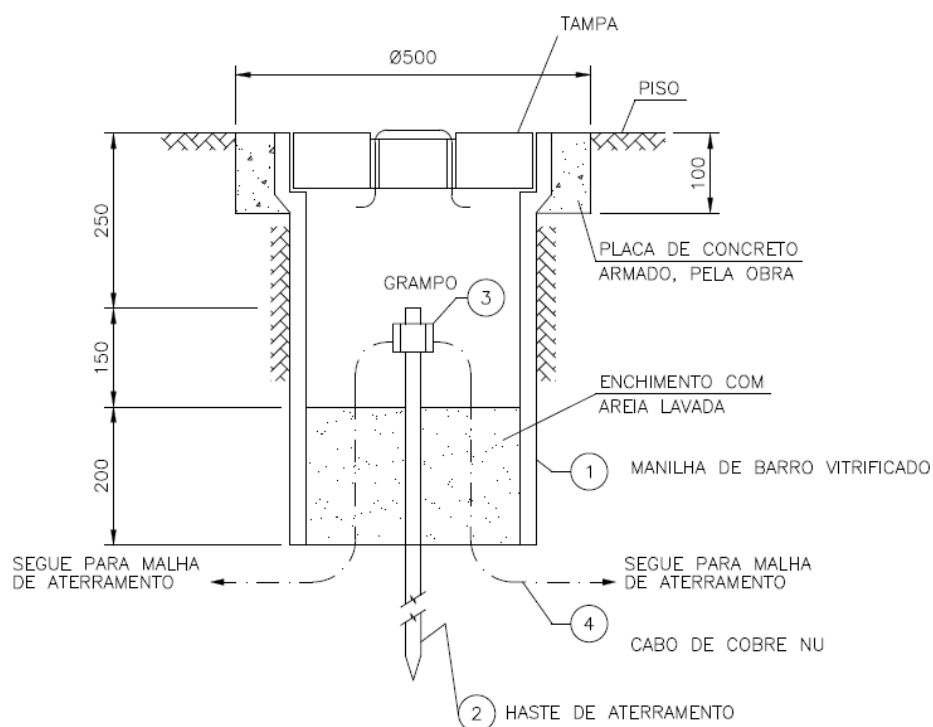
Também é recomendado a instalação dos pontos de inspeção para os condutores de descida, haja visto que estes não foram localizados.

5.4.4 Recomendações ao subsistema de aterramento

Ao subsistema de aterramento é recomendado que seja instalada uma nova malha de aterramento, com o condutor de cobre nu, este que deverá ter área de seção transversal de 50mm², assim como definido na tabela 7 pertencente ao item 5.6.2 – Dimensões, verificado à norma ABNT – NBR – 5419:2015/3

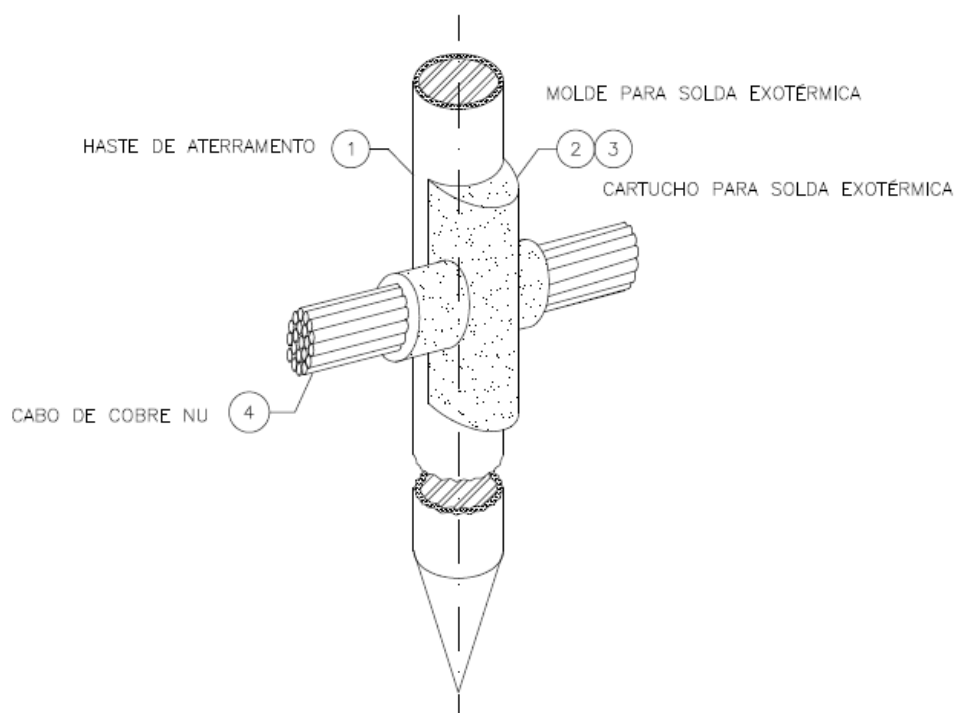
Em complemento ao item anterior, também deverá ser instalado os poços de inspeção conforme descrito em projeto através dos detalhes DT – AT 01 – Poço com haste acessível, e DT – AT – 02 – Conexão à lateral a haste, conforme ilustrados nas figuras 21 e 22 abaixo:

Figura 21 – Poço com haste acessível



Fonte: (SISTEMA DE ENGENHARIA DA MINERADORA, 2019)

Figura 22 – Conexão à lateral a haste



Fonte: (SISTEMA DE ENGENHARIA DA MINERADORA, 2019)

5.4.5 Recomendações as estruturas adjacentes a edificação

Conforme levantamento de dados, foi verificado que tanto os containers quanto a oficina (estrutura metálica) adjacentes à edificação não possuem SPDA instalado. Para reduzir as perdas devido às descargas atmosféricas podem ser necessárias medidas de proteção. Quando essas são necessárias, e em qual medida, deve ser determinada pela análise de risco.

O risco, definido pela norma ABNT NBR 5419:2015 como a provável perda média anual em uma estrutura devido às descargas atmosféricas, depende de vários fatores que consideraremos nas análises de risco abaixo:

Análise de risco para os containers:

a) Parâmetros dos containers:

L (Comprimento): 10 metros

W (Largura): 3 metros

H (altura): 2 metros

b) Avaliação do Risco de Exposição:

A_e = área de exposição (m^2)

$$A_e = L \times W + 2 \times L \times H + 2 \times W \times H + 3,1416 \times H^2 \quad (1)$$

$$A_e = 114,63 \text{ m}^2$$

c) Densidade de Descargas para a Terra (N_g):

$$N_g = 0,04 \times T_d^{1,25} \quad (2)$$

$$N_g = 9,57 \text{ descargas/Km}^2/\text{ano}$$

O índice N_g também pode ser obtido através do link de acesso indicado no anexo F do capítulo 2 da norma ABNT – NBR – 5419:2015

d) Frequência anual de possíveis descargas (N)

$$N = N_g \times A_e \times 10^{-6} \text{ por ano}$$

(3)

$$N = 0.00109 \text{ por ano}$$

e) Fatores de ponderação:

Tabela 5: Fatores de ponderação para containers

FATOR	DESCRIÇÃO	Características da presente edificação	Valor
A	Tipo de ocupação	Fábricas, oficinas e laboratórios	ABNT NBR 5419: 2015
B	Tipo de Construção	Estrutura de aço revestida, com cobertura metálica	
C	Conteúdos e efeitos indiretos	Estruturas industriais e agrícolas contendo objetos suscetíveis a danos	
D	Localização	Estrutura localizada em área contendo estruturas ou árvores da mesma altura.	
E	Topografia	Elevação moderadas, colinas	

Fonte: Elaborado pelos autores

f) Ponderação da Frequência Anual Previsível de Descargas (N_p)

N_p = Número de descargas por ano

$$N_p = A \times B \times C \times D \times E$$

(4)

$$N_p = 0,0002805$$

Tabela 6: Resultado containers

Resultado	Item	N_p exponencial	N_p decimal	Situação do SPDA
B	A	$N_p \geq 10^{-3}$	$N_p \geq 0,001$	Obrigatório
	B	N_p entre 10^{-3} e 10^{-5}	$N_p > 0,00001$	Opcional
	C	$N_p \leq 10^{-5}$	$N_p \leq 0,00001$	Dispensado

Fonte: Elaborado pelos autores

Análise de risco para oficina (estrutura metálica):

a) Parâmetros da oficina:

L (Comprimento): 12 metros

W (Largura): 8 metros

H (altura): 4,2 metros

b) Avaliação do Risco de Exposição:

Ae = área de exposição (m²)

$$Ae = L \times W + 2 \times L \times H + 2 \times W \times H + 3,1416 \times H^2 \quad (1)$$

$$Ae = 319,41 \text{ m}^2$$

c) Densidade de Descargas para a Terra (Ng):

$$Ng = 0,04 \times Td^{1,25} \quad (2)$$

$$Ng = 9,57 \text{ descargas/Km}^2/\text{ano}$$

O índice Ng também pode ser obtido através do link de acesso indicado no anexo F do capítulo 2 da norma ABNT – NBR – 5.419:2015

d) Frequência anual de possíveis descargas (N)

$$N = Ng \times Ae \times 10^{-6} \text{ por ano} \quad (3)$$

$$N = 0.00305 \text{ por ano}$$

e) Fatores de ponderação:

Tabela 7: Fatores de ponderação oficina

FATOR	DESCRIÇÃO	Características da presente edificação	Valor
A	Tipo de ocupação	Fábricas, oficinas e laboratórios	ABNT NBR 5419: 2015
B	Tipo de Construção	Estrutura de aço revestida, com cobertura metálica	
C	Conteúdos e efeitos indiretos	Estruturas industriais e agrícolas contendo objetos suscetíveis a danos	
D	Localização	Estrutura localizada em área contendo estruturas ou árvores da mesma altura.	
E	Topografia	Elevação moderadas, colinas	

Fonte: Elaborado pelos autores

f) Ponderação da Frequência Anual Previsível de Descargas (N_p)

N_p = Número de descargas por ano

$$N_p = A \times B \times C \times D \times E \quad (4)$$

$$N_p = 0,0007825$$

Tabela 8: Resultado oficina

Resultado	Item	N_p exponencial	N_p decimal	Situação do SPDA
B	A	$N_p \geq 10^{-3}$	$N_p \geq 0,001$	Obrigatório
	B	N_p entre 10^{-3} e 10^{-5}	$N_p > 0,00001$	Opcional
	C	$N_p \leq 10^{-5}$	$N_p \leq 0,00001$	Dispensado

Fonte: Elaborado pelos autores

Assim como pode ser visto nos resultados das duas análises de riscos realizadas anteriormente, fica a critério do proprietário das estruturas a

implementação ou não de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas às mesmas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi avaliar um sistema de proteção contra descargas atmosféricas de uma edificação industrial, para alcançá-lo foi realizado um referencial teórico, que possibilitou compreender sobre o processo de formação das descargas atmosféricas, bem como seus efeitos na vida dos seres humanos, além do enfoque dado em para-raios que serviu de base para se entender os equipamentos e métodos utilizados para minimizar os efeitos que as descargas atmosféricas podem causar.

Com o estudo de caso foi possível explorar os mais diversos conhecimentos no que se refere ao tema, considerando a enorme abrangência de um projeto SPDA, pois o mesmo demonstra diversas particularidades dependendo de cada elemento de uma edificação, decidiu-se realizar um estudo de caso baseado em um projeto de proteção contra descargas atmosféricas já instalado em uma edificação industrial em uma mineradora, mas que porém já se encontra desatualizado, haja visto que o mesmo foi projetado no ano de 2009 e a última revisão da ABNT – NBR 5419 foi em 2015.

De acordo com o levantamento de dados e as medições realizadas foi possível recomendar diversas melhorias, bem como alterações para que o projeto atenda aos requisitos mínimos de segurança citados na última revisão da ABNT – NBR – 5419, é válido destacar que dentre as inúmeras alterações sofridas pela norma, o que mais se destaca é o gerenciamento de risco, este que se transformou em uma ferramenta iterativa no projeto, capaz de estabelecer as medidas de proteção necessárias. Quando houver a necessidade, deve-se então verificar as medidas implicadas a mesma, e todas essas verificações podem ser feitas através da análise de risco do projeto.

REFERÊNCIAS

ABDUL-MALEK, Zulkurnain; YUSOFF, Novizon; YOUSOF, Mohd Fairouz Mohd. Field experience on surge arrester condition monitoring-Modified Shifted Current Method. In: **45th International Universities Power Engineering Conference UPEC2010**. IEEE. p. 1-5. 2010.

ALMEIDA, Carlos A. Laurentys. Intelligent thermographic diagnostic applied to surge arresters: a new approach. **IEEE Transactions on power delivery**, v. 24, n. 2, p. 751-757, 2009.

BASSI, Welson; TATIZAWA, Hedio. Early prediction of surge arrester failures by dielectric characterization. **IEEE Electrical Insulation Magazine**, v. 32, n. 2, p. 35-42, 2016.

BRITO, Valdemir S. Estudo Comparativo de Métodos de Decomposição da Corrente de Fuga Total em Para-Raios ZnO. **Anais Do Iv Sbse-Simpósio Brasileiro De Sistemas Elétricos. Goiânia, Brasil, 2012.**

COSTA, E. C. M. Análise das Características Elétricas dos Trechos de 280 m de Altura Propostos para Interconexão Tucuruí-Macapá-Manaus. **IV Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, 2012.**

GOSTIMIROVIC, Marin. Influence of discharge energy on machining characteristics in EDM. **Journal of mechanical science and technology**, v. 26, n. 1, p. 173-179, 2012.

GOSTIMIROVIC, Marin. Influence of discharge energy on machining characteristics in EDM. **Journal of mechanical science and technology**, v. 26, n. 1, p. 173-179, 2012.

HILL, J. D.; UMAN, M. A.; JORDAN, D. M. High-speed video observations of a lightning stepped leader. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 116, n. D16, 2011.

KHODSUZ, Masume; MIRZAI, Mohammad; SEYYEDBARZEGAR, Seyyedmeysam. Metal oxide surge arrester condition monitoring based on analysis of leakage current components. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, v. 66, p. 188-193, 2015.

LAAN, Flávio Tadeu; BORGES, Volnei; ZABADAL, Jorge Rudolfo Silva. Detector para raios X de baixa energia, usando diodo PIN fotovoltaico. **Revista Liberato**, v. 14, n. 21, p. 91-98, 2013.

LABURÚ, Carlos Eduardo; DA SILVA, Osmar Henrique Moura; BARROS, Marcelo Alves. Laboratório caseiro pára-raios: um experimento simples e de baixo custo para a eletrostática. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 1, p. 168-182, 2008.

LIBRANTZ, Helio; LIBRANTZ, André Felipe Henriques. Descargas elétricas atmosféricas e suas interações com aeronaves. **Exacta**, v. 4, n. 2, p. 247-258, 2006.

LIMA, Wagner Flauber A. . Estimativa de probabilidade de ocorrência de relâmpagos. In: **XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Proceedings**. 2006.

MACEDO, Suzana Rodrigues . Monitoramento e evolução de descargas elétricas atmosféricas associadas a sistemas convectivos de mesoescala. **Boletim da Soc. Bras. Meteorologia**, v. 29, n. 3, p. 67-71, 2005.

MAGARÃO, Rodrigo Viana Quintas; GUIMARÃES, Helio Penna; LOPES, Renato Delascio. Lesões por choque elétrico e por raios. **RevBrasClinMed**, v. 9, n. 4, p. 288-93, 2011.

MANGILI, Arthur Issa. Heinrich Rudolph Hertz e a “descoberta” do efeito fotoelétrico: Um exemplo dos cuidados que devemos ter ao utilizar a história da ciência na sala de aula. **História da ciência e ensino: construindo interfaces**, v. 6, p. 32-48, 2012.

MARTINEZ, J. A.; DURBAK, D. W. Parameter determination for modeling systems transients-Part V: Surge arresters. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 20, n. 3, p. 2073-2078, 2005.

MATTOS, Enrique Vieira. **Relações das propriedades físicas das nuvens convectivas com as descargas elétricas**. 154 folhas. 2009. Mestrado (meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009.

METWALLY, Ibrahim A. Comparative measurement of surge arrester residual voltages by D-dot probes and dividers. **Electric Power Systems Research**, v. 81, n. 7, p. 1274-1282, 2011.

MIGUEL, Pablo Mourente. Comparison of surge arrester models. **IEEE Transactions on power delivery**, v. 29, n. 1, p. 21-28, 2013.

MUNUKUTLA, Karthik. A practical evaluation of surge arrester placement for transmission line lightning protection. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 25, n. 3, p. 1742-1748, 2010.

NAFAR, M.; GHAREHPETIAN, G. B.; NIKNAM, T. Improvement of estimation of surge arrester parameters by using modified particle swarm optimization. **Energy**, v. 36, n. 8, p. 4848-4854, 2011.

NAG, Amitabh. On phenomenology of compact intracloud lightning discharges. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 115, n. D14, 2010.

PEPPAS, Georgios D. Surge arresters models for fast transients. In: **2012 International Conference on Lightning Protection (ICLP)**. IEEE, 2012. p. 1-6.
PINTO, Osmar. **A arte da guerra contra os raios**. Oficina de Textos, 2005.

PUNEKAR, Gururaj S.; KANDASAMY, Chandrasekaran. Indirect effects of lightning discharges. **Serbian journal of electrical engineering**, v. 8, n. 3, p. 245-262, 2011.

RAKOV, V. A. Lightning parameters for engineering applications (keynote speech). In: **2010 Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility**. IEEE, p. 1120-1123. 2010.

SILVA, Daiana Antonio . Reliability of directly-molded polymer surge arresters: Degradation by immersion test versus electrical performance. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, v. 53, p. 488-498, 2013.

SILVEIRA, Mauro Sergio . Adaptação das Redes de Distribuição para Operar com Sistema Neutralizador de Faltas à Terra. In: **Vii Congresso De Inovação Tecnológica Em Energia Elétrica–Citenel–Aneel**. 2013.

SUGIMOTO, Hitoshi. Effect of overhead ground wire installing under distribution lines on surge arrester failures. **IEEJ Transactions on Power and Energy**, v. 130, p. 529-535, 2010.

TASSI, Reginaldo. Técnicas para a proteção de descargas atmosféricas (PARA-RAIOS). **Revista Técnico Científica do IFSC**, v. 1, n. 2, p. 467, 2012.

TUCZEK, Maximilian Nikolaus; HINRICHSEN, Volker. Recent experimental findings on the single and multi-impulse energy handling capability of metal–oxide varistors for use in high-voltage surge arresters. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 29, n. 5, p. 2197-2205, 2013.

WANG, D. Lightning attachment processes of three natural lightning discharges. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 120, n. 20, p. 10,637-10,644, 2015.

WEN, H. A. N. G. Development Trend of Line Surge Arrester without Gaps [J]. **Insulators and Surge Arresters**, v. 2, p. 48-50, 2010.