

SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (SPDA): APRESENTAÇÃO E MANUTENÇÃO.

PETRATO, Angelo Giovannetti¹
Centro Universitário Academia - UniAcademia
PICCININI, Marco Aurélio²
Centro Universitário Academia - UniAcademia

Linha de pesquisa: Sistemas de energia elétrica.

RESUMO

O Sistema de PDA tem objetivo de minimizar ao máximo os efeitos de uma descarga atmosférica na edificação. O presente trabalho traz uma breve revisão bibliográfica dos conceitos sobre descargas atmosféricas, raios e dos Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA). Será apresentado nesta revisão, os subsistemas de captação, descida e aterramento. Suas etapas e importância, assim como sua manutenção periódica e ou corretiva. Em seguida é feita uma análise de uma instalação de SPDA em comparativo ao projeto desta instalação. Por fim, é feita uma discussão sobre a necessidade de manutenção do sistema de PDA, sua não conformidade com a norma NBR 5419/2015, que será a principal fonte de consulta e norteamento, indicando as orientações e possíveis soluções para este caso. Não serão abordados nesse estudo as Medidas de Proteção contra Surtos (MPS), tensão de passo, nem os cálculos matemáticos, fórmulas, etc. Pois o objetivo principal deste trabalho é mostrar um caso real na prática.

Palavras-chave: Captadores. Esfera rolante. Franklin. Malhas. Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas. SPDA. NBR5419/2015.

¹ Graduando em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário Academia - UniAcademia.

² Professor do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Academia - UniAcademia.

1 INTRODUÇÃO

O Raio apesar de existir desde o início do planeta, ele só começou a ser compreendido propriamente através dos experimentos e estudos de Benjamin Franklin, no século XVIII. Partindo da crença de que o raio possui natureza elétrica e afirmando que o mesmo nada mais é do que uma corrente elétrica de grandes proporções.

As descargas atmosféricas são fenômenos conhecidos pelos seres humanos, uma vez que gera curiosidade, já que a maioria das pessoas não conseguem entender como é possível um raio cair do céu para a terra.

Quando se fala dos danos gerados pela descarga atmosférica, isso inclui danos às estruturas e aos seres vivos, os quais podem chegar a óbito caso recebam uma corrente elevada acima de uma determinada faixa proveniente da descarga atmosférica.

Esta é uma das mais violentas manifestações da natureza. Manifestação que, em uma fração de segundos, pode produzir uma carga de energia tão alta cujos parâmetros podem chegar a 125 milhões de volts, 200 mil ampères e 25 mil graus centígrados. Segundo o INPE (2017), a incidência de mais de 50 milhões de raios por ano faz do Brasil um dos líderes mundiais.

Os raios são formações elétricas capazes de acarretar prejuízos materiais, incêndios em florestas e instalações prediais, quedas nas redes de energia elétrica, acidentes na aviação, embarcações marítimas, torres de plataformas de petróleo e tudo que estiver “exposto” ao ar livre. As descargas elétricas podem inclusive provocar a morte (REIS, 2005).

Com o intuito de evitar tais danos, sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) foram desenvolvidos a fim de proteger estruturas e seres vivos que se encontrem dentro da mesma.

Este trabalho possui objetivo principal de mostrar os diferentes tipos de SPDA (sistemas de proteção contra descargas atmosféricas) e a importância de sua manutenção e vistoria periódica e, sugerir uma solução técnica para a manutenção de

um sistema de PDA existente, para que diminua os riscos de perda de vida humana e da estrutura predial.

2 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

O termo descarga atmosférica designa genericamente as descargas que ocorrem dentro das nuvens (as intra-nuvens), entre 2 nuvens próximas (as internuvens), e as entre nuvens e terra (SCHNEIDER). Apesar da trivialidade da perspectiva da ciência moderna, a estruturação do fenômeno atmosférico denominado como raio, continuou um enigma pela maior parte da história da humanidade. Segundo Rakov e Martin (2003), exclusivamente por volta do século XVIII sua natureza elétrica foi acolhida pela comunidade científica, devido ao sucesso das práticas de Thomas-François Dalibard, na França, e Benjamin Franklin, nos Estados Unidos, possibilitando novos avanços a respeito de sua formação. A ocorrência de descargas atmosféricas se dá depois de um processo físico de eletrização das nuvens, conseqüente da formação e movimentação das cargas elétricas no interior. Entretanto, apesar de contar com raízes microscópicas, por ser um fenômeno com relação direta com o clima, entende-lo sob uma abordagem meteorológica é muito útil, principalmente para a realização de um projeto de SPDA.

2.1 FORMAÇÃO DO RAIÃO

A atmosfera terrestre oferece, na maioria das vezes, uma rigidez dielétrica próxima de $3 \cdot 10^6$ V/m (HELERBROCK, Rafael), tornando-a um meio considerado isolante para baixas tensões. Isso significa que as moléculas de ar oferecem uma quantidade escassa de elétrons livres, dificultando a condução de correntes elétricas. Todavia, diferentes condições de temperatura, umidade e pressão alteram a rigidez dielétrica da atmosfera, de modo a facilitar ou dificultar a ocorrência de descargas. A Figura 1 ilustra valores típicos para a rigidez dielétrica e constantes usadas com recorrência. Segundo Uman e Rakov (2003), menos de 10% das descargas nuvem-solo se originam com carga positiva.

No entanto, por mais efetivo que seja, todo dielétrico passa a apresentar comportamento condutor quando exposto à um campo elétrico intenso o suficiente. Sob tais condições, a diferença de potencial existente entre os terminais do material polariza a estrutura atômica de modo a gerar elétrons livres, formando, então, um canal ionizado. Em função da disponibilidade de elétrons, o material antes isolante, agora passa a oferecer baixa resistência à condução elétrica.

Figura 1 – Valores típicos de rigidez e constante dielétrica para diferentes materiais.

| <i>Material</i> | <i>Constante Dielétrica</i> | <i>Campo de Ruptura V/cm</i> |
|------------------|-----------------------------|------------------------------|
| <i>Ar</i> | <i>1</i> | 3×10^4 |
| <i>Óleo</i> | <i>2,3</i> | $1,5 \times 10^5$ |
| <i>Papel</i> | <i>3</i> | 2×10^5 |
| <i>Porcelana</i> | <i>7</i> | 2×10^5 |
| <i>Vidro</i> | <i>6</i> | 3×10^5 |
| <i>Parafina</i> | <i>2</i> | 3×10^5 |
| <i>Mica</i> | <i>6</i> | 2×10^6 |

Fonte: Adaptado de (COUTINHO & ALTOÉ, 2003).

De maneira análoga, quando uma nuvem está bastante carregada, o campo elétrico induzido rompe a rigidez dielétrica do ar ao fornecer energia suficiente para que os elétrons das moléculas escapem de seu núcleo, tornando-os livres. O fenômeno produz um canal ionizado, com resistência elétrica próxima de zero, pelo qual a descarga se propaga. Todavia, o fato é tão instantâneo que impossibilita ao olho humano distinguir suas etapas, uma vez que o raio precursor (piloto) atinge o solo com velocidade de aproximadamente 1500 km/s. A incidência do raio piloto cria um canal ionizado de baixa resistência que conecta a nuvem à terra por um curto-circuito, desencadeando a descarga principal, ou descarga de retorno, que parte da terra à nuvem com velocidade muito superior (30.000 km/s) (UMAN, Martin).

3 SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (SPDA)

A norma NBR 5419-1 (ABNT, 2015) define um SPDA por um sistema completo, composto por elementos internos e externos, destinado a proteger uma estrutura contra os efeitos de descargas atmosféricas. Os requisitos básicos, assim como o dimensionamento dos componentes, dependem das características físicas da estrutura, condições naturais da região e finalidade funcional do local, devendo sempre respeitar a legislação vigente afim de garantir a segurança necessária (MAMEDE, 2017).

Estruturas em situação de risco que não possuem um SPDA adequado estão expostas à incidência direta e indireta do fenômeno, que pode causar, por sua vez, prejuízos que vão de simples danos materiais a fatalidades. Logo, deve-se sempre avaliar o risco atrelado ao projeto antes da implementação e desenvolvimento do mesmo, visto que, raramente, análises superficiais são suficientes para expor todos os fatores necessários para uma boa execução.

É importante lembrar que a instalação de um SPDA não impede a incidência de raios e nem tão pouco os atrai.

Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas são projetados com o intuito de proteger e minimizar os efeitos de raios em estruturas.

Segundo Araújo (2010), suas principais funções e sua composição são as seguintes:

- Sistema externo de proteção: sistema composto pelos subsistemas de captadores, condutores de descida e aterramento elétrico (Figura 2);
- Sistema interno de proteção: conjunto de dispositivos de proteção que reduzem os efeitos eletromagnéticos causados pela corrente de descarga dentro do volume a proteger, sendo composto de Dispositivos de Proteção Contra Surtos (DPS) e Medidas de Proteção Contra Surtos (MPS);
- Primeira função: neutralizar, através do efeito das pontas, a evolução do gradiente de potencial elétrico entre o solo e as nuvens, através do constante escoamento de cargas elétricas da atmosfera para a terra;
- Oferecer à descarga elétrica insurgente em suas proximidades um caminho de escoamento preferencial seguro, de modo a reduzir os efeitos estruturais.

Figura 2 – Tipos de SPDA.

| | FINALIDADE | SUBSISTEMA | MÉTODO |
|---------------------|--------------------------------|---------------------|--------------------|
| SPDA EXTERNO | Captar a descarga | Captação | Esfera rolante |
| | | | Ângulo de proteção |
| | | | Malhas |
| | Conduzir a descarga até o solo | Descida | |
| | Dispersar a descarga no solo | Aterramento | |
| SPDA INTERNO | Evitar choques e incêndio | Equipotencialização | |

Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

3.1 CLASSE OU NÍVEL DE PROTEÇÃO DO SPDA

Classe ou nível de um SPDA é o termo que denota sua eficiência. Este termo expressa a probabilidade com a qual um SPDA protege um volume contra os efeitos das descargas atmosféricas (NBR5419:2015-01).

A NBR 5419 estabelece uma série de parâmetros relativos às descargas atmosféricas, condensados dentro dos níveis de proteção. Esses níveis variam de 1 a 4, sendo o nível 1 o mais rigoroso. Basicamente, o nível de proteção considera as intensidades das corrente de raios que esperamos receber na edificação. Com base nisso, dimensiona o SPDA para captar e escoar essa energia no solo e dita os parâmetros para a proteção dos equipamentos elétricos.

Temos nesta classificação características que implicam neste nível ou classe, como: Estruturas especiais, estruturas (especiais) com risco confinado, estruturas (especiais) com risco para os arredores, estruturas (especiais) com risco para o meio ambiente, etc.

A tabela 1 traz um resumo da correlação entre as estruturas e o nível de proteção do SPDA.

Tabela 1 – Classificação das estruturas e seu nível de SPDA.

| Classificação da Estrutura | Tipo de estrutura | Nível de Proteção (SPDA) |
|---|---|--------------------------|
| Estruturas comuns | Teatros, escolas, lojas de departamentos, áreas esportivas e igrejas | II |
| | Bancos, companhias de seguro, companhias comerciais, e outros | |
| | Hospitais, casa de repouso e prisões | |
| | Museus, locais arqueológicos | |
| | Residências e indústrias | III |
| | Fazendas, estabelecimentos agropecuários | III ou IV |
| Estruturas com risco confinado | Estações de telecomunicação, usinas elétricas, indústrias com risco de incêndio | I |
| Estruturas com risco para os arredores | Refinarias, postos de combustíveis, fábrica de fogos, fábricas de munição | |
| Estruturas com risco para o meio ambiente | Indústrias químicas, usinas nucleares, laboratórios químicos | |

Fonte: NBR 5419:2015-1 (2015).

4 SUBSISTEMAS DE UM SPDA

O Sistema SPDA possui subsistemas, conforme exemplificados na figura 2, os quais serão abordados na sequência.

4.1 CAPITAÇÃO

O subsistema de captação é a primeira etapa do sistema de SPDA. Ele é responsável pela interceptação dos raios que irão atingir o imóvel. Lembrando que seja SPDA externo como estrutural, a captação é aparente. Os componentes são instalados no topo da edificação, priorizando as quinas. Telhados e coberturas metálicas podem ser utilizadas como captadores naturais, desde que atendam às exigências da norma vigente. Exemplo de componentes de captação: Minicaptor aéreo (de inserção ou fixação horizontal), chapa de alumínio, mastro, captor Franklin, cabo de cobre nu, etc. Qualquer estrutura metálica na cobertura da edificação, deve ser interligada ao subsistema de captação, pois estas estruturas se tornam um captor natural. Itens a ser considerado neste subsistema:

- Captadores verticais
 - Mastros (onde são fixados captadores Franklin)
 - Postes (SPDA Isolados)
 - Minicaptadores de inserção ou fixação horizontal
- Captadores horizontais
 - Condutores dispostos na horizontal, maciço ou encordoado
 - Condutores em malha
- Combinação de captadores verticais com horizontais.

No item 5.2.2 da NBR 5419:2015-3 são descritos os métodos de cálculo do subsistema de captação, que são:

- Método do Ângulo de Proteção (conhecido como Franklin);
- Método das Malhas (comumente conhecido como Gaiola de Faraday);
- Método da Esfera Rolante (conhecido também como Modelo Eletrogeométrico);

As características destes três métodos são resumidas na tabela 2 da NBR 5419:2015-3 (figura 3), que são diferenciados pela Classe de proteção do Sistema de PDA, que é definido na análise de risco, onde se verifica a necessidade ou não da implementação do SPDA. Esta análise inicial é baseada na NBR 5419:2015-2 (onde

são analisados, todos os riscos, atividades da edificação, classificação quanto a explosão, patrimônio cultural, etc.).

Conforme a tabela da figura 3, cada classe ou nível de proteção, temos dimensões de malha, raios da esfera rolante. No método Franklin (ângulo de proteção), temos um conjunto de curvas que variam com a altura dos componentes verticais (mastros, captosres) e ângulos de proteção, de acordo com o que será apresentado posteriormente, onde trataremos separadamente os métodos de cálculo.

Figura 3 – Valores dos Raios da Esfera Rolante.

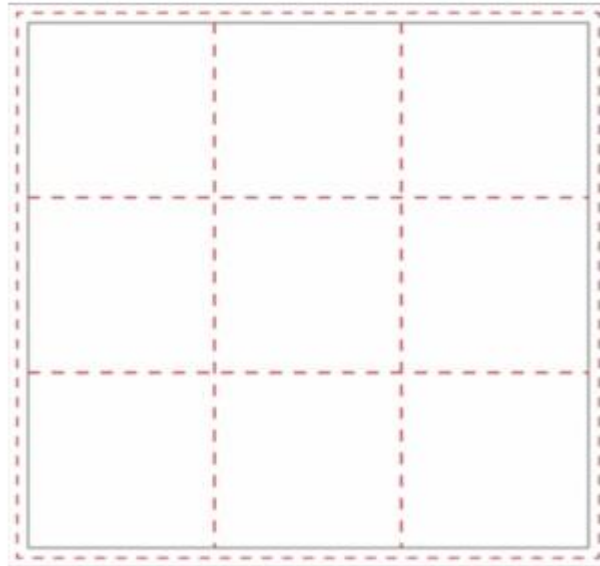
| Classe do SPDA | Método de proteção | | |
|----------------|--------------------------------|---|--|
| | Raio da esfera rolante -R m | Máximo afastamento dos condutores da malha m | Ângulo de proteção α° |
| I | 20 | 5 x 5 | Ver figura 6 |
| II | 30 | 10 x 10 | |
| III | 45 | 15 x 15 | |
| IV | 60 | 20 x 20 | |

Fonte: NBR5419:2015-3 (2015).

4.1.1- Método das Malhas - Gaiola de Faraday

Esta opção de método ainda é popular nos sistemas de captação. Consiste em uma configuração de malha, conforme classe de proteção e figura3, posicionada no topo da edificação, percorrendo todo o perímetro. Está malha geralmente é composta por cabos de cobre nu ou chapas de alumínio, e ainda conta com a instalação de minicaptosres usualmente colocados nas quinas da estrutura.

Figura 4 – Método de malhas no topo de uma edificação.



Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

É importante olhar que, verificando a tabela da figura 3 mencionada anteriormente, a malha possui espaçamento máximo entre os condutores em forma de quadrados, com variação entre 5 a 20 metros. Este afastamento é máximo, portanto, deduzimos que, partindo como exemplo a classe II, se alcançarmos um afastamento de 10x9, 10x8 ou até mesmo 10x1 estaríamos trabalhando dentro da norma, todavia, na prática devemos trabalhar se possível com o os valores da tabela ou próximos.

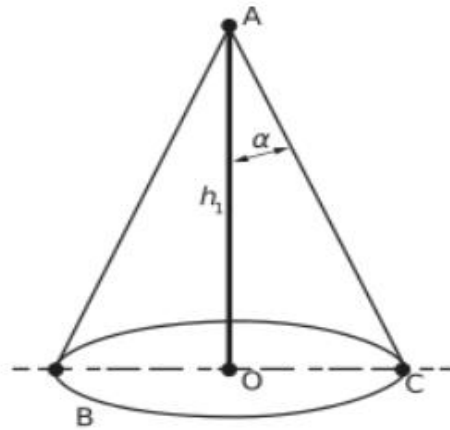
Examinando este método e sua aplicabilidade, obtem-se parâmetros de instalação variando com o tipo de estrutura da edificação. Para que possam ter maior eficácia e um melhor posicionamento das, recomenda-se recorrer a este método quando:

- Os telhados forem inclinados sem curvatura e horizontais;
- As superfícies laterais forem planas;
- Telhados com inclinações maiores que 10% (também consideramos telhados com várias áreas de inclinação ou telhados curvos) não são os mais indicados para este método.

4.1.2 Método do Ângulo de Proteção – Franklin

Também conhecido como Franklin, o método se baseia no uso de captosres pontiagudos colocados em mastros verticais para se aproveitar os efeitos das pontas, quanto maior a altura maior o volume protegido, volume este que tem a forma de um cone formado pelo triangulo retângulo girado em torno do mastro. Este método é adequado para edificações com formato simples de altura não muito elevadas e de pouca área horizontal, onde é possível a utilização de uma pequena quantidade de captosres, tornando o projeto mais interessante economicamente (MAMEDE FILHO, 2001). O captor Franklin pode ser utilizado em qualquer um dos métodos de um subsistema de captação.

Figura 5 – Método do ângulo de Proteção através de um mastro captor.

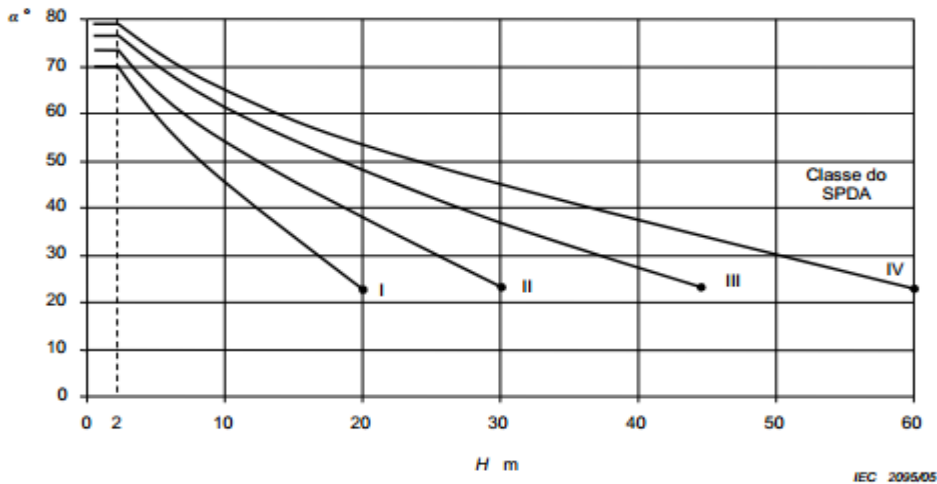


Fonte: NBR5419:2015-3 (2015).

Sendo:

- **A** – Topo do Captor;
- **B** – Plano de Referência;
- **OC** – Raio do Cone;
- **h1** – Altura de um mastro acima do plano de referência;
- **α** – Ângulo que varia de acordo com a classe do SPDA e altura H em questão.

Figura 6 – Gráfico para consulta dos ângulos de proteção.



Fonte: Altoqi (2021)³.

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

Por exemplo, para edificações nível I, a altura máxima em relação ao plano de referência para aplicação desse método em toda a edificação é de 20 m. Entretanto, quando já existe uma captação em malha, podemos utilizar o método dos ângulos para a proteção de elementos que sobressaem a cobertura, considerando a altura do captor em relação ao plano da malha, ao invés do solo.

4.1.3 Método da Esfera Rolante - Modelo Eletrogeométrico

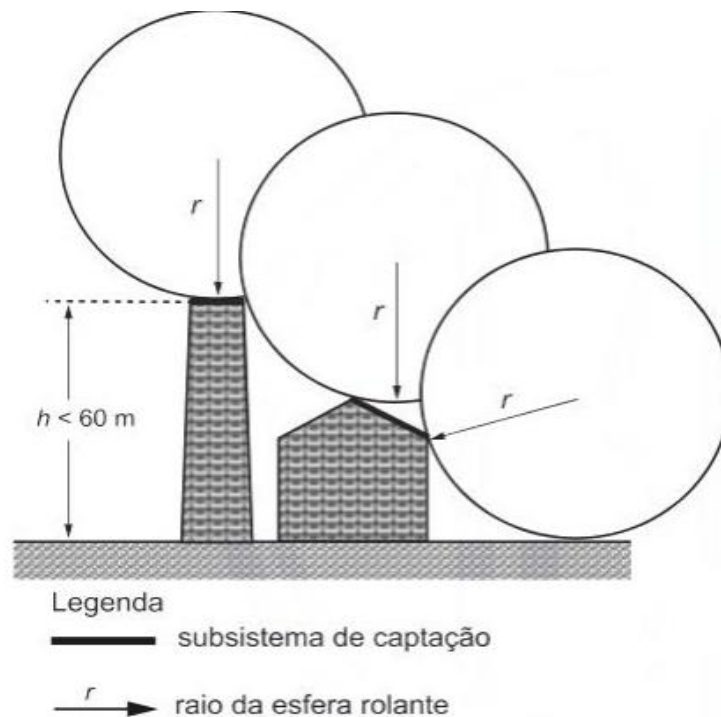
Este método também conhecido como Eletrogeométrico é mais utilizado em construções com altura mais elevada e/ou formas arquitetônicas complexas. Nele utiliza-se uma esfera fictícia a qual rola pela estrutura em todas as possíveis direções. Se nenhum ponto da estrutura, com exceção do subsistema de captação, tocar na

³ Disponível em: < <https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/115002602253-Dimensionamento-do-projeto-de-SPDA-atrav%C3%A9s-do-m%C3%A9todo-Franklin>>. Acesso em: 01 nov. 2022.

esfera fictícia, a área está protegida (NBR 5419:2015-3). Basicamente se tem o conceito de que há coincidência do local onde a esfera tocar, o raio também poderá tocar.

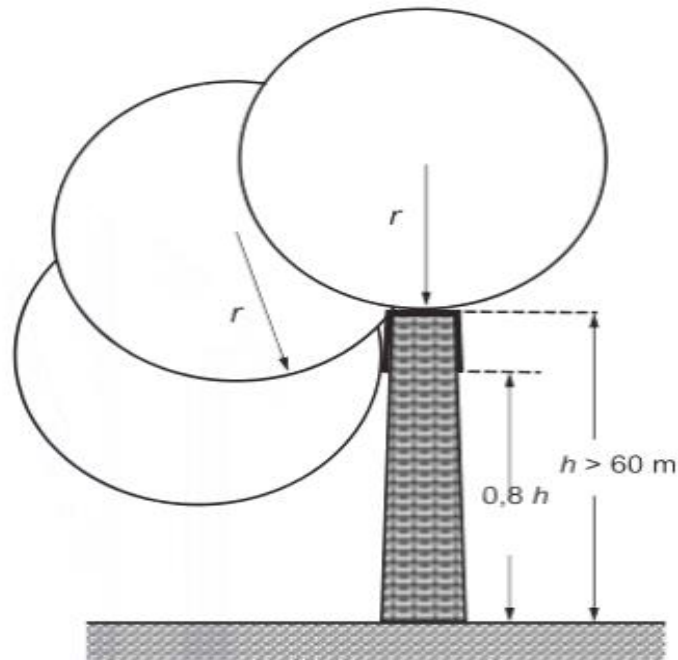
A área sob a esfera, estará protegida, no entanto a esfera rolante não pode tocar a edificação. A verificação deve ser realizada em todas as faces da edificação. Onde a esfera encosta na edificação é necessário colocar um captor e ou aumentar o tamanho do mesmo (SOUZA et al., 2013). Para este método, a NBR 5419:2015-3 destacar que para edificações com mais de 60 metros de altura, se faça uma proteção de 20% da altura total. Um exemplo é uma edificação de 100 metros de altura, deve-se verificar através da esfera rolante se é necessário fazer um anel de proteção a 80 metros do solo para evitar descargas laterais.

Figura 7 – Esfera rolante com edificação menor que 60m.



Fonte: NBR5419:2015-3 (2015).

Figura 8 – Esfera rolante com edificação maior que 60m.



Fonte: NBR5419:2015-3 (2015).

4.2 DESCIDA

Os condutores de descidas são elementos expostos ou não, que permitem a continuidade elétrica entre os captosres e o sistema de aterramento. Ele deve passar por toda a edificação de um modo seguro para que não cause efeitos secundários perigosos como centelhamento lateral e indução de corrente em condutores próximos. Sendo assim, eles devem estar dispostos de modo que a corrente percorra diversos condutores em paralelos e seu comprimento deve ser o menor possível.

A função deste subsistema é encaminhar as correntes da Captação até o aterramento. Os subsistemas de descidas também podem ser classificados segundo sua natureza construtiva como naturais ou não naturais:

- Sistemas de descidas naturais são elementos condutores, normalmente partes integrantes da edificação que permitem escoar para o sistema de aterramento as correntes elétricas resultantes das descargas atmosféricas. As instalações metálicas da estrutura podem ser consideradas condutores

de descida naturais, inclusive quando revestidas por material isolante, desde que possuam continuidade elétrica no sentido vertical que e suas seções sejam no mínimo iguais às especificadas na figura 9, retirada da norma NBR5419:2015.

- Sistemas de descidas não naturais são constituídos de elementos condutores expostos ou não, com condutividade mínima de 98%, que traça um percurso retilíneo e vertical, ligando o captor a terra pelo menor percurso possível e fixado na edificação no mínimo a cada 2 metros. Os cabos de descida devem ser protegidos contra danos mecânicos até no mínimo 2,5 acima do nível do solo. A proteção deve ser por eletroduto rígido de PVC ou metálico sendo que, neste último caso, o cabo de descida deve ser conectado as extremidades superior e inferior do eletroduto conforme item 5.1.2.4.3 da norma NBR5419:2015.

Figura 9 – Seções mínimas dos materiais do SPDA.

| Material | Captor e anéis intermediários mm ² | Descidas (para estruturas de altura até 20 m) mm ² | Descidas (para estruturas de altura superior a 20 m) mm ² | Eletrodo de aterramento mm ² |
|--|---|---|--|---|
| Cobre | 35 | 16 | 35 | 50 |
| Alumínio | 70 | 25 | 70 | - |
| Aço galvanizado a quente ou embutido em concreto | 50 | 50 | 50 | 80 |

Fonte: NBR5419:2015-3 (2015).

4.3 ATERRAMENTO

De acordo com a NBR 5419 o princípio básico desta medida é ter um subsistema de aterramento eficiente que encaminhe toda a corrente proveniente da descarga atmosférica para o solo e uma malha de equipotencialização responsável por diminuir a diferença de potencial e reduzir a intensidade de campo magnético. A principal função deste subsistema é conduzir e dispersar as correntes no solo. Temos

eletrodos horizontais e verticais e a combinação dos dois, para se obter um melhor aterramento.

- Eletrodo Horizontal
 - Condutores maciços ou encordoados
 - Condutores em malha, formando um anela fechado
 - Cobre, aço galvanizado a quente, aço inox e aço cobreado
- Eletrodo Vertical
 - Hastes de aço cobreado
- Combinação do eletrodo horizontal e vertical.

A única configuração possível para o subsistema não natural é fazer um anel fechado circundando todo o perímetro das paredes externas da estrutura a ser protegida, afastado aproximadamente a 1 metro e enterrado a no mínimo 50 cm de profundidade. Este condutor em anel deve ter no mínimo 80% do seu comprimento total em contato com o solo (NBR5419:2015).

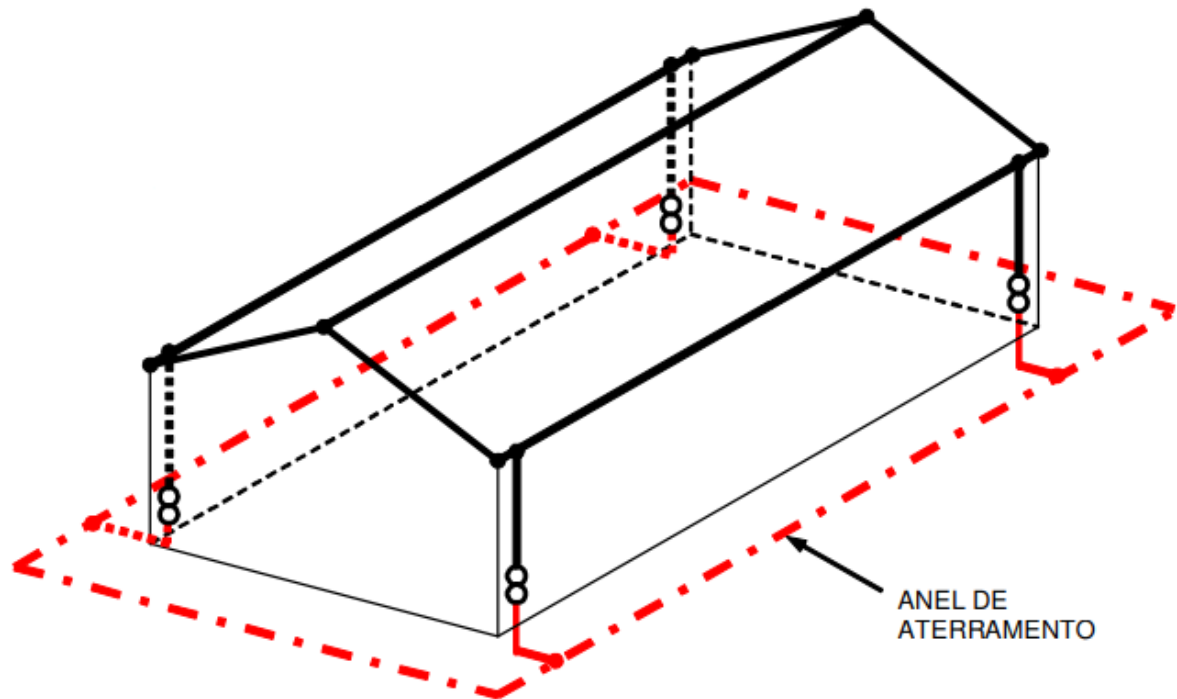
Quando se tratar da dispersão da corrente da descarga atmosférica (comportamento em alta frequência) para o terra, o método mais importante de minimizar qualquer sobretensão potencialmente perigosa é estudar e aprimorar a geometria e as dimensões do subsistema de aterramento. Deve-se obter a menor resistência de aterramento possível, compatível com o arranjo do eletrodo, a topologia e a resistividade do solo no local.

Sob o ponto de vista da proteção contra descargas atmosféricas, uma única infraestrutura de aterramento integrada é preferível e adequada para todos os propósitos, ou seja, o eletrodo deve ser comum e atender à proteção contra descargas atmosféricas, sistemas de energia elétrica e sinal (telecomunicações, TV a cabo, dados, etc.). Logo abaixo será apresentado um exemplo de anel de aterramento não natural.

Quando a ferragem do concreto armado é amarrada, conectada ou soldada de modo a se ter uma malha (gaiola) metálica envolvendo o edifício tem-se uma blindagem natural que vai reduzir os campos magnéticos e, portanto, as tensões induzidas nos condutores. Se essa gaiola for usada como parte do sistema de

proteção contra descargas atmosféricas como é a tendência atual, as correntes dos raios passarão ao longo de seus condutores.

Figura 10 – Exemplo de um anel de aterramento não natural.



Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

No caso de SPDA estrutural o aterramento é feito com Re-bar (80mm^2), que deve ser instalado a partir do ponto mais profundo do tubulão, atravessando o bloco até a base do pilar do térreo. Um tubulão por pilar que compõe a torre da edificação deverá ter o Re-bar de aterramento (80mm^2), que também deverá ser instalado horizontalmente no fundo da viga baldrame, junto com as demais ferragens. Estes devem ser conectados com os Re-bars de descida (50mm^2), que devem ser integrados com o sistema de captação.

Segundo (NBR5410:2004- 6.4.1.1.3) as opções de eletrodos de aterramento indicadas em 6.4.1.1.1 também são reconhecidas pela ABNT 5419, e elas podem e devem ser usadas em conjunto pelo sistema de PDA da edificação, nas condições especificadas naquela norma, ou seja, o eletrodo de aterramento do SPDA é também usado no eletrodo de aterramento da NBR5410, sendo assim é indicado a utilização

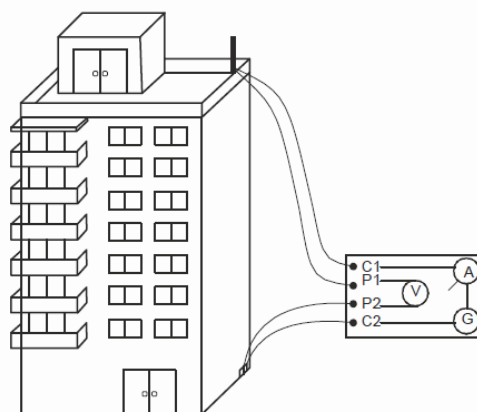
de apenas um sistema de aterramento, guardando as particularidades das normas 5410 e 5419, como proteção contra surtos, equipotencialização das malhas, etc..

4.3.1 Ensaio de Continuidade Elétrica das Armaduras

Conforme anexo F da NBR-5419-3 de 2015, deverão ser efetuadas ao menos duas verificações da continuidade elétrica das armaduras do concreto armado. A primeira verificação é feita em todos os pilares que são utilizados como descidas e nos trechos de vigas baldrame que fazem parte do anel de aterramento ao nível do solo. Os valores de resistência medidos por instrumentos adequados devem ser inferiores a 1Ω nestes trechos.

A instalação de conectores específicos nestes pontos de medição durante a construção evita a quebra do cobrimento de concreto e a exposição das ferragens. A verificação final de continuidade é feita após a conclusão da instalação do SPDA. A medição da resistência deve ser realizada entre a parte mais alta do subsistema de captação e o aterramento, preferencialmente no BEP (Barramento de Equipotencialização principal). O valor máximo permitido para o ensaio de resistência nesse trecho é de $0,2\Omega$. Os ensaios deverão ser acompanhados de certificado de conformidade e ART junto ao CREA. Logo abaixo veremos uma ilustração do ensaio de continuidade das armaduras.

Figura 11 – Método de medição



Fonte: NBR5419:2015-3 (2015).

5 ESTUDO DE CASO

Nesta etapa será apresentado como foi realizado um laudo /avaliação de um sistema de SPDA instalado em uma edificação. Neste caso, é um condomínio de 8 torres residenciais na cidade de Juiz de Fora.

O presente documento tem por finalidade verificar por meio de medições, inspeções a conformidade ou não com a norma e o Projeto apresentado de SPDA, elaborado de acordo com a norma NBR 5419/2015. Para facilitar o estudo de análise de risco, será utilizado o projeto exemplo com nome fictício de PR-734_SPDA_Rev01.dwg. Por se tratar de um sistema que engloba a proteção de toda a estrutura predial, visando aumentar a eficiência do sistema do SPDA. As medições foram realizadas com 2 aparelhos, o Mili-ohmímetro e um alicate Terrômetro modelo: MILLIOHM 1 e Fabricante: INSTRUM.

O Milli-ohmímetro Digital de Resistência Elétrica, modelo CONDUCTION 1 é um equipamento portátil para medição da continuidade elétrica das armaduras de um edifício; é o instrumento adequado a medir a resistência ôhmica entre a parte superior e a parte inferior da estrutura. O instrumento possui 4 terminais para conexão tipo KELVIN, onde a conexão de quatro fios é usada. Dois fios são usados para fornecer a corrente de alimentação ao componente de medição e outros dois fios é usado para medir a queda de tensão no elemento de medição. A corrente de teste é obtida nos terminais C1 e C2, e a resistência sob medição deve ser conectada aos terminais P1 e P2. Na figura 12 temos a foto do equipamento.

O instrumento injeta uma corrente de 1A entre os pontos extremos da armadura sob ensaio, sendo capaz de ao mesmo tempo que injeta essa corrente, medir a queda de tensão entre esses pontos. A resistência é calculada internamente no instrumento, dividindo-se a tensão medida pela corrente injetada e o valor ôhmico é indicado em seu mostrador. Se o valor indicado for igual ou inferior a 1 ohms, a armadura é aceitável (ABNT NBR 5419-3:2015).

Figura 12 – Miliohmímetro utilizado para a medição.



Fonte: Site Mercadolivre (2022)⁴.

No procedimento para verificação final é utilizado este instrumento, a medição é entre a parte mais alta do subsistema de captação e o aterramento, onde o valor máximo deve ser menor que 200 milli-ohms (ABNT NBR 5419-3.2015)

Figura 13 – Alicate Terrômetro utilizado para a medição.

DY1000A

- Resistance range 0.01-1000Ω
- Resistor Resolution 0.001Ω
- Double insulation
- Data storage
- Alarm function
- Resistance alarm threshold setting
- Current alarm threshold setting



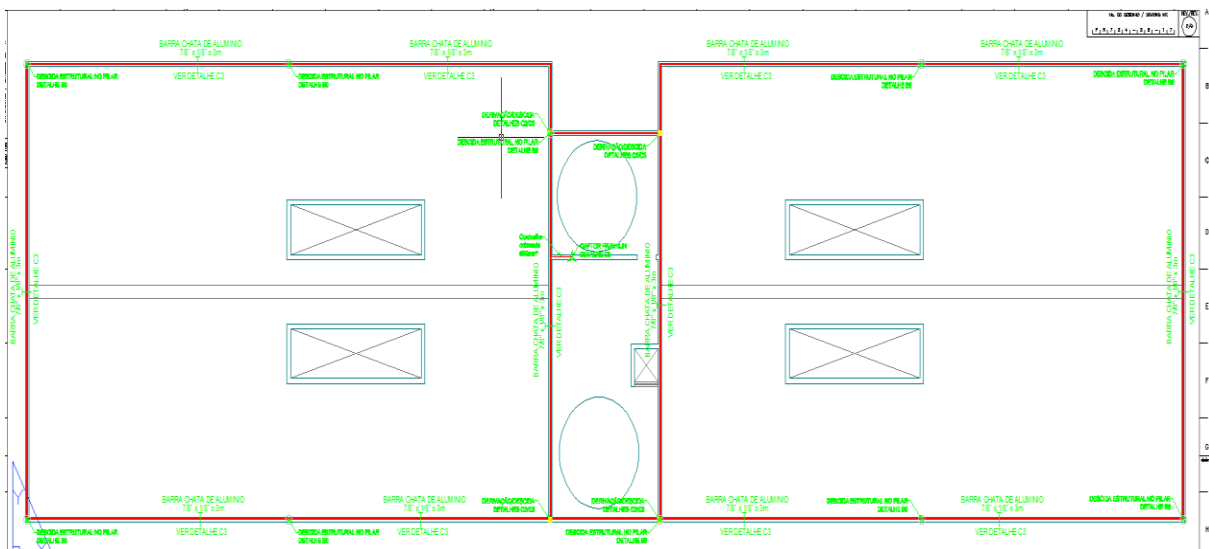
Fonte: Site Aliexpress (2022)⁵.

⁴ Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2115470903-milliohmometro-instrum-milliohm-1-c-laudo-calibraco-nfe-_JM>. Acesso em: 05 set. 2022.

⁵ Disponível em: <<https://pt.aliexpress.com/i/32990495195.html>>. Acesso em: 05 set. 2022.

Primeiramente deve-se verificar o projeto como um todo, e as particularidades de cada torre serão tratadas no contexto, uma vez que as diferenças entre as elas são mínimas afinal, se trata de uma mesma construtora com apenas um projeto englobando todas as 8 edificações do condomínio.

Figura 14 – Imagem do Projeto pavimento cobertura.

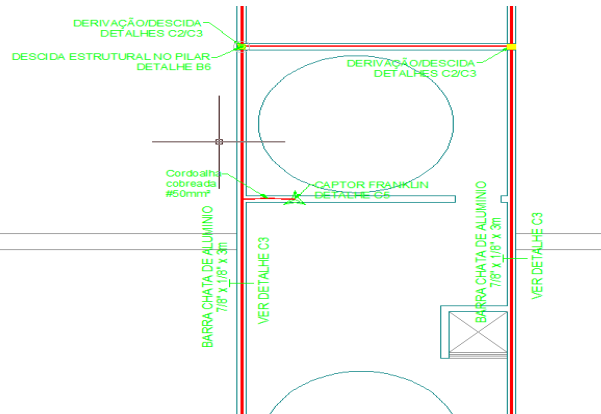


Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

Nota-se no projeto que são “2 blocos” idênticos, interligados por uma área comum. Verificamos também que existem 4 áreas de iluminação/ventilação. Pode-se notar no projeto que foi utilizado Barra chata de alumínio como condutor de captação, percorrendo todo o perímetro da cobertura e da caixa d’água que fica em altura diferente, mas no projeto não foi sinalizada (foi verificado na prática esta situação). Foram utilizados captores ao longo deste perímetro, conforme detalhes do projeto.

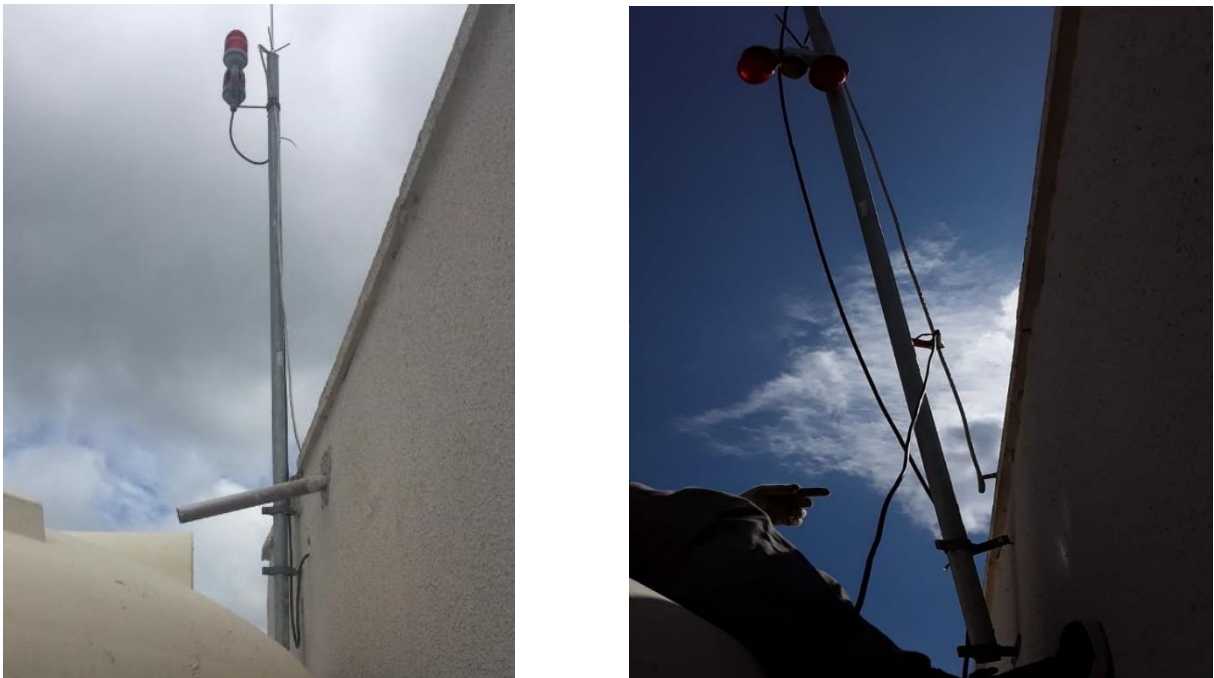
Na figura 15 pode-se ver o detalhe da área de caixa d’água, e os componentes do sistema de PDA. Na imagem pode ser visto que no projeto foi utilizado um captor Franklin com mastro. Também foram utilizados barra chata de alumínio para circundar a caixa D’água e cordoalha cobreada para interligar captor/barra chata. Também se nota as derivações de descida e indicação de descida estrutural.

Figura 15 – Elementos de instalação no topo da caixa d'água.



Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

Figura 16 – Elementos de instalação no topo da caixa d'água.

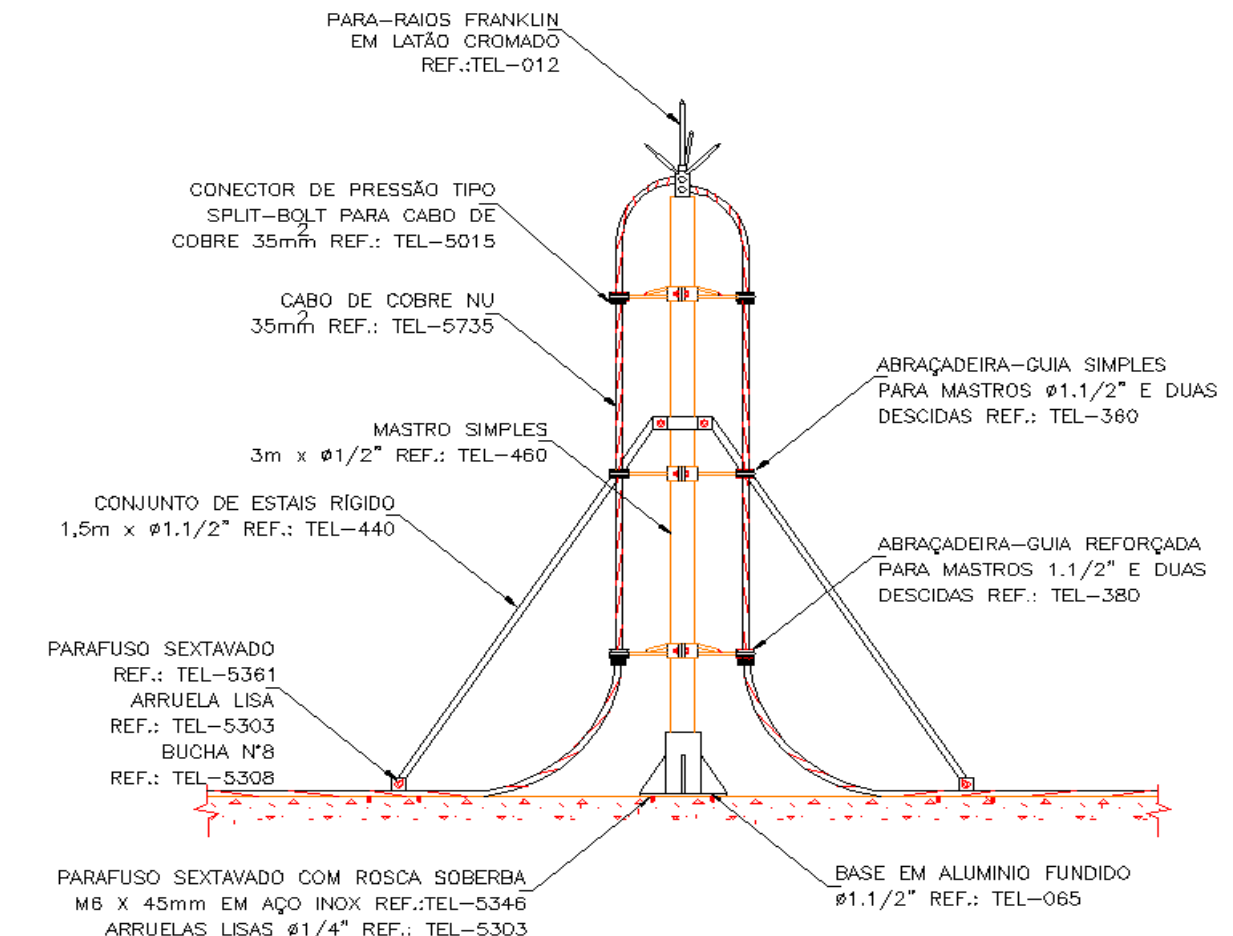


Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

Pode ser visto na figura 16 a instalação de um mastro diferente do projeto. Foi utilizado um mastro bandeira, o que não influencia em nenhuma perda do sistema. Também foi verificado que a substituição da barra chata de alumínio por cordoalha de alumínio foi realizada pelo executor. Para tal substituição deve-se consultar a tabela

6 da NBR5419/2015 parte 3, onde são listados todos os tipos de materiais que podem ser usados. Na figura 16 nota-se que a instalação de um dos mastros tipo bandeira não foi realizada de forma correta, por isso ele está “tombado”. O mastro está faceando o suporte inferior para poder aumentar a altura efetiva do mastro. Portanto, deve-se refazer a colocação e fixação dos suportes na alvenaria, sendo aconselhado “chumbar” os suportes com espaçamento de 1 metro entre eles. No local percebe-se que a melhor opção seria a instalação do mastro com suporte e estais acima da estrutura, proporcionando uma melhor instalação, conforme figura 17, pois o mastro bandeira estava abaixo do ponto mais alto da edificação.

Figura 17 – Instalação de mastro vertical com captor Franklin.



Fonte: Site da Termotécnica⁶.

⁶ Disponível em: <<https://tel.com.br/minha-conta/arquivos-cad/>>. Acesso em: 05 set. 2022.

Outra não conformidade de instalação foi verificada entre o captor Franklin e a malha de captação. A mesma deve ser feita utilizando cabo de cobre nú ou material correspondente indicado na tabela 6 da NBR5419/2015 parte 3. Neste caso foi colocado cordoalha de alumínio interligando a malha de captação e o suporte do mastro, conforme figura 18, e não uma interligação direta com o captor Franklin, conforme exemplificado na figura 17.

Figura 18 – Interligação do captor Franklin e a malha de captação.



Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

A próxima verificação é realizada nos anéis de captação e captores. Foi verificado em todas as 8 torres que a captação estava sendo feita de forma errada, não acompanhando o projeto original.

Primeiro que, os minicaptadores no projeto estavam especificados como re-bar de aço galvanizado e a construtora utilizou vergalhão comum, o que diminui muito o valor de material gasto, mas em consequência há uma deterioração muito grande dos materiais do sistema de SPDA, como ferrugem, corrosão, etc. Na norma a indicação é de utilização do Re-bar, só que a mesma não há a proibição de utilização da própria ferragem das armaduras, mas para isso deve-se garantir a continuidade elétrica do sistema.

Segundo que, a malha de captação em muitos captadores não estava conectada, tornando o sistema desequilibrado caso haja uma descarga no captor citado.

Terceiro é que no projeto está definido com a malha de captação como cordoalha cobreada, que é uma cordoalha com aço e uma camada de cobre. A construtora utilizou cordoalha de alumínio com 35mm^2 , cuja bitola não consta na tabela 6 da NBR5419:2015-3, que indica a bitola de 50mm^2 , o que também se caracteriza por uma não conformidade com a norma vigente.

Figura 19 – Malha de captação não conectada nos minicapttores.



Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

Foram encontradas descidas com cordoalha entrando direto na edificação. Tal particularidade não é contemplado ou encontrada na norma, pois SPDA estrutura deve-se fazer as descidas por re-bar e interligações da malha de captação com estes re-bars e não a própria cordoalha entrando na edificação, sem a possibilidade de saber se a mesma segue até o térreo, sem a garantia de interligação com as armaduras. Também não foram encontrados minicapttores na estrutura.

Figura 20 – Falta de minicaptadores e cordoalha entrando na edificação.



Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

Em algumas torres, também foram encontrados captadores amassados, conforme figura 21, perdendo assim sua função principal de captar as descargas atmosféricas naquele ponto em específico. Salientando novamente que as cordoalhas de captação estão fora do padrão mínimo exigido pela norma. Em outras conforme figura 20, não existia captor “aflorando” da estrutura, o que pode caracterizar por aquele não ter armadura interligada com o restante do sistema de PDA.

Figura 21 – Minicaptadores amassados em 2 torres diferentes.



Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

Diversas particularidades foram encontradas ao longo do projeto como: cordoalhas rompidas (mesmo estando fora das especificações), como pode-se ver na figura 22. Este rompimento desequilibra o sistema e naquele setor onde está rompido, pode não estar protegido, pois não há captação ou malha de captação para distribuir as descargas pelas descidas. Sendo assim necessária a substituição das cordoalhas por outras com bitola compatível com a tabela 6 na NBR5419:2015-3, em toda a malha de captação.

Em 4 das 8 torres de apartamentos, foram identificados que o topo da edificação estava mais alto que o mastro de captor Franklin, conforme pode ser observado na figura 23. Sendo assim o mesmo ainda faz parte do sistema, mas deixa de ser o principal meio de captação das descargas, já que acima da edificação existiam antenas de UHF que, por serem metálicas, estavam fazendo a função de captor, só que as mesmas não estavam conectadas a malha de captação.

Figura 22 – Cordoalha rompida em 2 torres.



Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

A situação descrita anteriormente foi notificada e como solução, foi indicado a substituição do mastro de 3 metros por um de 4 metros, sanando o problema exposto.

As descargas que estiverem no raio de atuação destes captores (antenas), irão direto para o sistema de antena coletiva da edificação. Também podendo chegar em todos os equipamentos conectados a esta rede e, podendo gerar distúrbios e ou sobrecarga na rede elétrica do condomínio. Este estudo de caso aconteceu

justamente pela queima de elevadores devido a descarga atmosférica ocorrida no local, 1 mês antes desta avaliação.

Figura 23 – Captor Franklin com altura menos que o topo da edificação.



Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

Na figura 24 pode ser visto que o mastro que está com altura acima da alvenaria, não foi colocado corretamente e estava caindo. Sendo necessário também a recolocação do mesmo de forma adequada ou substituição do mastro bandeira por um mastro com base de fixação em laje, exemplificado na figura 17.

Foi observado que há objetos metálicos (antenas de UHF e Banda Ku) e estruturas metálicas que não estão conectados ao sistema de PDA. Como no projeto foi detectado o uso de mais de um sistema, no caso captor Franklin e esfera rolante, pode-se afirmar que a esfera rolante toca nestes objetos e estruturas, portanto todo ponto em que a esfera rolante toca, é necessário colocar um captor. Por se tratar de objetos metálicos, os mesmos podem ser utilizados como captos naturais, portanto, devem ser interligados ao Sistema de PDA (SPDA).

Esta não conformidade foi verificada em todas as edificações do condomínio, sendo, portanto, necessário a adequação em todas as torres, com particularidades a serem verificadas na hora da execução, pois diferentes profissionais podem executar o mesmo serviço de forma distintas.

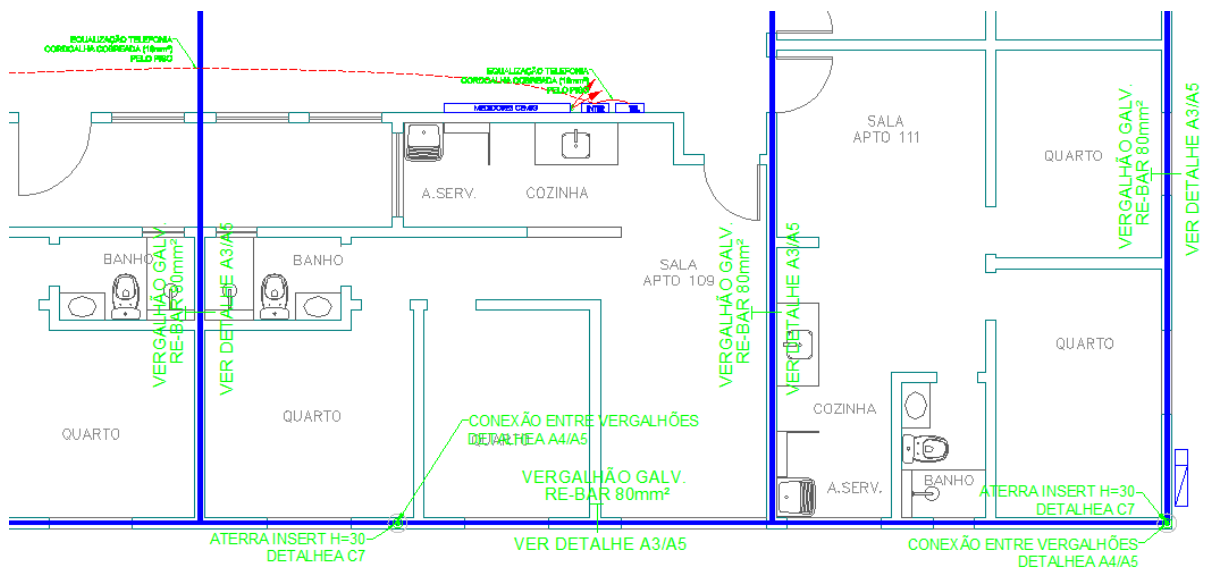
Figura 24 – Estruturas e objetos metálicos não conectados ao SPDA.



Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

A seguir, foram verificadas as descidas. O projetista indicou a utilização de conectores estruturais para que fosse possível a medição de descida ou verificação de continuidade, como apresentado na figura 25 e exemplificado na figura 26.

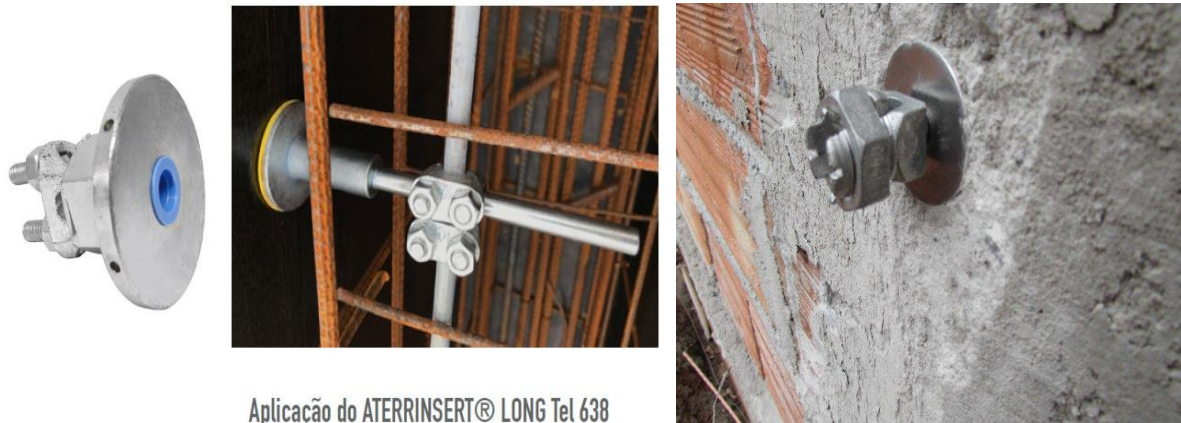
Figura 25 – Indicação no projeto de uso de aterrinsert⁷.



Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

⁷ Aterrinsert é um nome comercial do conector estrutural. Nome do produto da empresa Termotécnica.

Figura 26 – Conector estrutural (*aterrinsert*).

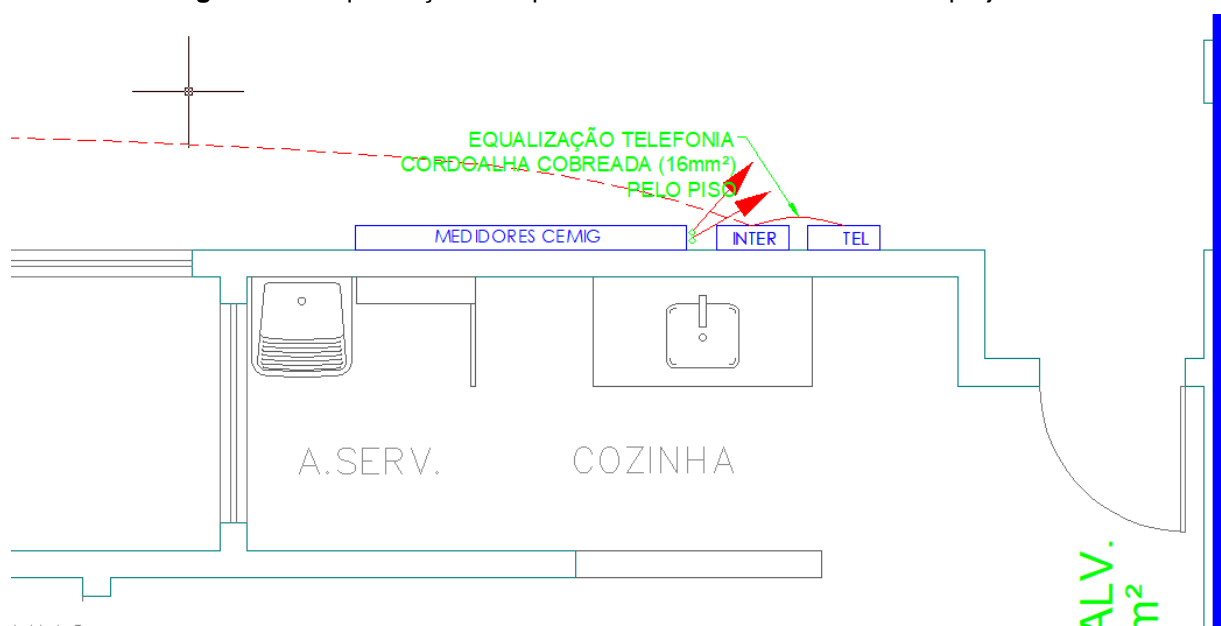


Aplicação do ATERRINSERT® LONG Tel 638
com Rebar em pilar estrutural

Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

Não sendo possível verificar as descidas, já que a construtora não utilizou os conectores indicados no projeto, outra forma é a verificação do BEP (barramento de equipotencialização), das interligações com os quadros de interfonia e telefonia, conforme figura 27, retirada do projeto, e da verificação e medição de aterramento.

Figura 27 – Equalização dos quadros de telefonia e interfonia no projeto.



Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

Em 6 das 8 torres, foi aberto o quadro BEP (barramento e equipotencialização), onde se verificou que havia apenas 1 cabo de 16mm² conectado, indicando assim que não havia interligação entre o BEP e o quadro de telefonia. Para confirmar esta observação, foram abertos os quadros de Telefonia e Interfonia e assim, foi possível constatar que não havia nenhum cabo terra ou equipotencialização nestes quadros. Portanto, mais esta não conformidade foi verificada, já que a NBR5419:2015-3 indica a interligação de todos os terras em um único sistema e, neste caso não havia nenhum aterramento nos quadros citados. Foi indicado em relatório o aterramento ou equipotencialização dos quadros que não haviam sido feitos conforme o projeto. Em 2 das 8 torres, além do cabo de 16mm² também havia vergalhão conectado, o que caracterizava a interligação das armaduras como o BEP. Nestas 2 outras torres também foram identificadas a mesma não conformidade das outras 6 torres, e a solução indicada foi a mesma.

Posteriormente foi necessário verificar a continuidade das armaduras utilizando o miliohmímetro digital. Como não havia conector estrutural instalado, outra forma de verificação também seria no BEP. Foi realizado então a medição em todas as 8 torres do condomínio. Em 4 torres não foi identificação a interligação entre as armaduras estruturais e o BEP. Este fato não é garantia que as armaduras não estavam interligadas, mas é uma não conformidade, já que o BEP é utilizado para equipotencializar tanto as armaduras quanto o aterramento com outros quadros e o que mais for necessário aterrar. Não havia outra forma de garantir a interligação das armaduras, já que não há pontos de medição externo no prédio.

Figura 28 – Medições Captação/BEP de 17,4 mΩ, 15,5mΩ e 18,6mΩ.



Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

Na norma NBR5419:2015-3 diz que a medição de armadura deve ser no máximo 2000mΩ. Nas medições 4 torres estavam abaixo disso, como se verifica na figura 28. E em 4 torres não se conseguiu verificar a grandeza real já que o equipamento tem leitura máxima de acordo com a norma, e a leitura ficou acima do que o equipamento suporta, como pode ser visto na figura 29. Sendo considerado, portanto, que não há ligação entre o sistema de captação e o BEP.

Figura 29 – 4 Medições com leitura acima de 2000 mΩ.



Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

A figura 30, visa ilustrar como é realizada essa medição. Uma das pontas de medição fica no BEP, enquanto a outra é levada até a captação do prédio (geralmente, localizada no exterior da edificação). Além disso a ponta da captação é colocada em diversos pontos da cobertura a fim de atestar a continuidade em todos os pontos de descida.

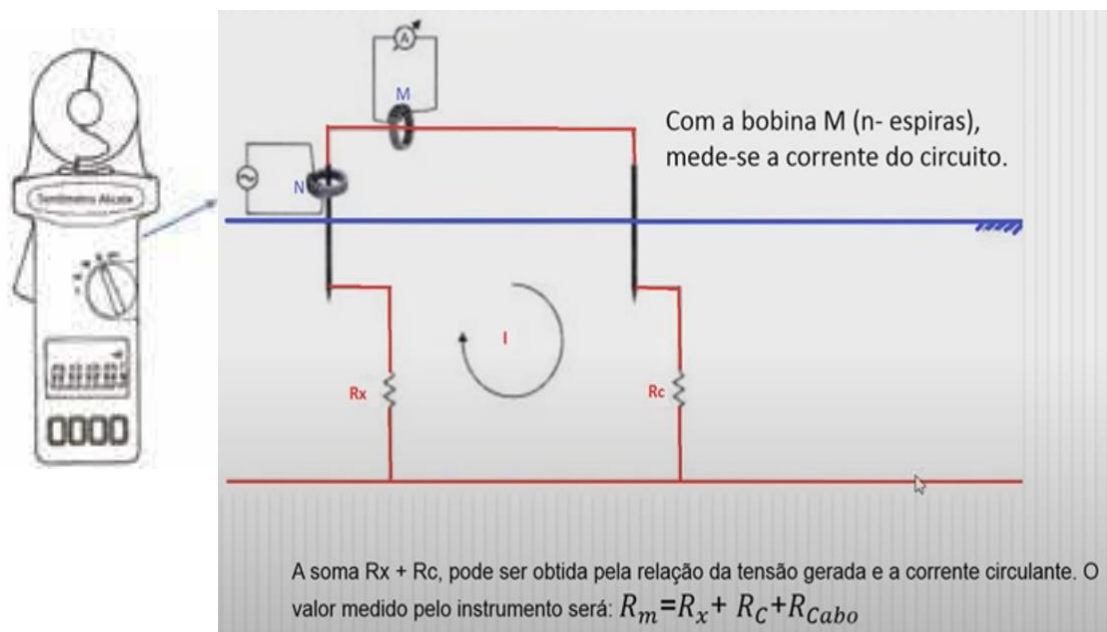
Figura 30 – Como é realizada a conexão do equipamento para medição captação / BEP.



Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

Por fim, a verificação de aterramento nas edificações. Foi utilizado o alicate terrômetro para esta etapa. Este alicate não pode ser utilizado para realizar a medição de aterramento, apesar de utilizar a mesma grandeza. O alicate terrômetro mede a resistência de laço, exemplificado na figura 31 e neste caso em que há vários eletrodos interligados (segundo projeto), o ensaio só é válido para a determinação da integridade dos condutores e conexões existentes no trecho (laço) ensaiado.

Figura 31 – Equipamento – surgimento e medição da corrente induzida.



Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

Portanto, com este equipamento, nesta situação, só existe a possibilidade de verificar se há um aterramento que gere um laço para a medição, ou seja, os valores medidos não servem como base de resistividade do sistema de aterramento, mas apenas para saber se há um aterramento efetuado através das ferragens estruturais.

Com isso foi verificado que 5 das 8 torres não apresentou medição no equipamento, caracterizando uma não conformidade e, 3 das 8 torres apresentaram medição. Para as não conformidades foi orientado no relatório a execução de um aterramento externo a edificação, interligando com as ferragens da estrutura que deveriam ser “escariadas” (quebrar a edificação até chegar nas armaduras) nos pontos definidos do projeto. Lembrando que para este caso deve-se ter autorização de um engenheiro civil. Caso não seja autorização, é necessário a realização de descidas externas do sistema, ignorando assim o SPDA estrutural que estava em não conformidade.

Figura 32 – Medição de laço no BEP de 64,5 Ω e medição que passou do limite do equipamento.



Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

Como resultado destas medições, inspeções, etc., foi apresentado um relatório com as orientações para a correção dos problemas apresentados, referidas na norma vigente NBR5419:2015.

5.1 DISCUSSÃO SOBRE O ESTUDO DE CASO

Através das medições e registros de fotos, foram apresentados os resultados e adequações necessárias, visando corrigir e ou melhorar o sistema de SPDA existente.

As medições indicaram que existe continuidade entre a malha superior e a estrutura o prédio em 4 das 8 torres. Conforme a norma NBR5419/2015 a medição deve ser menor que 200m Ω (mili-ohms) conforme valores medidos e apresentados na figura 28.

Nas torres restantes (4), as medições indicaram que a continuidade entre a malha superior e a estrutura o prédio está acima da norma (NBR5419/2015) e do equipamento utilizado conforme figura 29. Conforme a norma NBR5419/2015 a medição deve ser menor que 200m Ω (mili-ohms). Não se pode afirmar se o subsistema de descidas naturais, estão conectados ao subsistema de aterramento natural (ferragens interligadas até as sapatas / tubulões aterrados), nem que a estrutura do prédio está interconectada. Para tal seria necessário quebrar a parede até as ferragens da estrutura para realizar a medição.

Todas as estruturas metálicas, antenas de TV, alçapões metálicos, devem estar conectados ao sistema de captação do SPDA (conforme a NBR5419/2015).

Na figura 22 vemos a malha sem fixação adequada e rompida nos casos do laudo, sendo necessária a adequação da mesma em toda a malha superior, tanto na reposição, quanto na bitola fora dos padrões da norma.

Na figura 18, temos a malha conectada a abraçadeira do mastro, sendo necessário que a malha seja conectada ao mastro conforme figuras 16 e 17.

Conforme o projeto apresentado, o BEP do térreo deveria equalizar todos os quadros de telecomunicações, interfonia e QDC, conforme prancha 01/06 do projeto. Só que existe apenas uma cordoalha que interliga a estrutura do prédio ao BEP, os demais não existem, sendo assim necessário a interligação dos quadros ao sistema de equalização.

Malha de captação com bitola inferior a norma em todas as torres, sendo necessário a substituição de toda a malha de captação. A construtora utilizou

cordoalha de alumínio com 35mm², e na tabela 6 da NBR5419:2015-3, a indicação é de 50mm².

6 CONCLUSÃO

Neste pequeno trabalho pode-se apresentar um pouco do sistema de SPDA e suas principais particularidades. Com base nos estudos apresentados, tendo a certeza que ainda existe muito a se estudar sobre o assunto. O aprendizado é constante. Este trabalho teve como meta alcançar os objetivos iniciais.

O primeiro objetivo foi uma revisão teórica sobre o assunto para que todos possam entender um pouco sobre SPDA. Foram apresentados métodos, tipos de SPDA, suas características e onde se deve utilizar.

O segundo deles, foi através de um caso real, mostrar de maneira geral como o SPDA é realizado e vistoriado. Verificando o projeto apresentado com a execução deste projeto. Destacando neste caso que ainda há muito a evoluir na questão de execução, medição, documentação e fiscalização dos próprios órgãos de engenharia, em conjunto com engenheiros da área.

E por fim, um resumo das sugestões e ou orientações para a melhoria do sistema apresentado, tal como as intervenções necessárias para que o SPDA esteja dentro da NBR5419:2015. Concluiu-se também que neste caso o sistema de proteção contra descargas atmosféricas não foi executado de acordo com o projeto, como modificações equivocadas, substituições de materiais fora da norma, que a princípio são materiais com valores inferiores aos determinados no projeto.

A previsão para 2023 é de que uma revisão da norma e também de uma nova norma que contemple os captadores ionizáveis, que na NBR5419:2005 era proibido este dispositivo e na NBR5419:2015 já não há a proibição, mas não há tratativa. Como não há norma brasileira para estes captadores ionizáveis, há um acordo com Portugal onde, no código de defesa do consumidor, pode-se usar norma deste país, caso no Brasil não exista norma que contemple estes dispositivos.

E em 2023, há uma nova abordagem sobre este assunto, novas práticas de fiscalização sobre o sistema. Indústrias, empresas, etc. serão cobradas sobre documentação, manutenção e adequação deste sistema de um modo geral.

ABSTRACT

The PDA system aims to minimize the effects of an atmospheric discharge on the building as much as possible. This paper presents a brief Bibliographic Review of the concepts of atmospheric discharges, lightning and lightning protection systems (SPDA). It will be presented in this review, the subsystems of pickup, descent and grounding. Its stages and importance, as well as its periodic and or corrective maintenance. Next, an analysis of an SPDA installation is made in comparison to the design of this installation. Finally, a discussion is made about the need to maintain the PDA system, its non-compliance with the NBR 5419/2015 standard, which will be the main source of consultation and guidance, indicating the guidelines and possible solutions for this case. Surge protection measures (MPS), step voltage, mathematical calculations, formulas, etc. Will not be addressed in this study., since the main purpose of this work is to show a real case in practice.

Keywords: Captors. Franklin. Knitwear. NBR5419/2015. Protection Systems against Atmospheric Discharges. Rolling sphere. SPDA.

REFERÊNCIAS

ALIEXPRESS – **Braçadeira de digitas dy1000a-no medidor de resistência à terra à terra do verificador da resistência 0.01-1000 ohm 99 define 0.001current corrente do escapamento.** Disponível em:

<<https://pt.aliexpress.com/i/32990495195.html>>. Acesso em: 05 set. 2022

ALTOQI – **Dimensionamento do projeto de SPDA através do método Franklin.**

Disponível em:<<https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/115002602253-Dimensionamento-do-projeto-de-SPDA-atrav%C3%AAs-do-m%C3%A9todo-Franklin>>. Acesso em: 01 nov. 2022

ARAÚJO, Marcel. **Projeto de um Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas para uma Linha de Transmissão de 69kV.** São Carlos, 2010

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5419 - 1.** Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5419 - 2.** Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5419 - 3.** Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR**

5419 - 4. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5410**. Rio de Janeiro, 2008

COUTINHO, Fernando; ALTOÉ, Cássio. **Levantamento de Estruturas que Necessitam de SPDA na UNB e Análise de seus Efetivos Sistema de Proteção**. Brasília, 2003.

MAMEDE, João F. **Instalações Elétricas Industriais**. 9. ed. São Paulo: LTC, 2017.

HELERBROCK, Rafael. "O que é rigidez dielétrica?". Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-rigidez-dieletrica.htm>. Acesso em 05 de maio de 2022.

RAKOV, Vladimir; MARTIN, Uman. **Lightning, Physics and Effects**. Cambridge University Press, Cambridge, 2003.

SOUZA, André Nunes de; RODRIGUES, José Eduardo; BORELLI, Reinaldo; BARROS, Benjamim Ferreira de. **SPDA - Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas**: Teoria, Prática e Legislação. 1ª. ed. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2013. 190 p.

SCHNEIDER ELECTRIC. **Proteção contra descargas Atmosféricas**. Programa de Formação Técnica Continuada.

Termotécnica. **Material para download e detalhamento de SPDA**. Disponível em: <<https://tel.com.br/minha-conta/arquivos-cad/>>. Acesso em: 05 set. 2022.

UMAN, Martin (1986). **All About Lightning**. New York: Dover.