



Guia orientativo

Transmissores FM

Instalações

Por João Marcos Bertoldi.



BT Equipamentos Eletrônicos LTDA.
Porto Alegre – Rio Grande do Sul – Brasil
Telefone: +55 51 3368.5470
WhatsApp: +55 51 99731.8235
E-mail: bt@btonline.com.br
Internet: www.btonline.com.br

Aproveitamos a oportunidade para agradecer pela escolha dos equipamentos BT. Desejamos que nosso produto possa lhe proporcionar o máximo em desempenho e tranquilidade.

Este descritivo contém recomendações importantes e serve como um caminho orientativo para engenheiros e técnicos que necessitem projetar ou dar manutenção em instalações transmissoras de FM. Portanto, leia detalhadamente a fim de se familiarizar com as recomendações que garantirão confiabilidade e qualidade necessárias para o funcionamento equipamentos de alta tecnologia.

Quando for necessário efetuar os serviços de manutenção, lembre-se de que os técnicos da BT Transmissores de Radiodifusão encontram-se treinados e dispostos para oferecer a solução mais adequada e sanar dúvidas que possam existir.

Equipe da BT

ÍNDICE

SEÇÃO 1: APRESENTAÇÃO	6
SEÇÃO 2: ATERRAMENTO E SISTEMA SPDA	7
2.1 REQUISITOS DE ATERRAMENTO	8
2.1.1 ATERRAMENTO DA TORRE	8
2.1.2 ELETRODO DE ATERRAMENTO	9
2.1.3 BLINDAGEM DOS CABOS COAXIAIS	9
2.1.4 TERMINAIS AÉREOS OU CAPTORES	9
2.1.5 LUZES DE ADVERTÊNCIA	9
2.1.6 CUIDADOS E MANUTENÇÃO NECESSÁRIA	10
2.2 REALIZAÇÃO DO SISTEMA DE ATERRAMENTO	11
2.2.1 RESISTIVIDADE DO SOLO	12
2.2.2 ARRANJO DO SISTEMA	12
2.2.3 UTILIZAÇÃO DE FITAS CONDUTORAS	16
2.2.4 ATERRAMENTO DE PONTO ÚNICO	19
2.2.5 TIPOS DE CONFIGURAÇÕES DE ATERRAMENTOS	20
SEÇÃO 3: INSTALAÇÃO ELÉTRICA	21
3.1 INTRODUÇÃO	21
3.2 ESQUEMAS DE CONEXÕES ELÉTRICAS	21
3.3 PROTEÇÕES PARA OS EQUIPAMENTOS	25
3.3.1 CONTRA SURTOS DE SOBRE TENSÃO	25
3.3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS DPS E SUA UTILIZAÇÃO:	28
UM DPS DEVE SUPORTAR AS ONDAS DE CHOQUES DO RAIOS NORMALIZADAS CONFORME ENSAIOS CORRESPONDENTES A SUA CLASSE, SÃO ELAS: CLASSE I, CLASSE II OU CLASSE III, CONFORME CITADA NAS NORMAS ABNT, NBR, IEC61643-1.	28
3.3.3 CONSEQUÊNCIAS DE MANOBRAS ELÉTRICAS	29
3.3.4 PROTEÇÃO CONTRA SOBRE CORRENTE	29
3.3.5 PROTEÇÃO CONTRA FALTA DE FASE	29
3.3.6 ESTABILIZADORES DE TENSÃO DE REDE	29
3.3.7 UTILIZAÇÃO DE NOBREAKS	30
3.4 TABELAS DOS CABOS ELÉTRICOS, DISJUNTORES E PROTETORES	30
3.4.1 CRITÉRIOS ESCOLHIDOS PARA A SELEÇÃO DOS CABOS CONDUTORES	31
3.4.2 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DOS DISJUNTORES	31
3.4.3 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DOS PROTETORES DE SURTOS, DPS	32
3.4.4 COORDENAÇÃO DO PROJETO.	33
SEÇÃO 4: AMBIENTE E CLIMATIZAÇÃO	34
4.1.1 PROTEÇÃO CONTRA AÇÕES AMBIENTAIS	34
4.1.2 CLIMATIZAÇÃO	34

SEÇÃO 5: RESUMO	36
5.1 TORRE	36
5.1.1 ATERRAMENTO	36
5.1.2 PARA RAIOS	36
5.1.3 DESCIDA DO CABO COAXIAL	37
5.1.4 DESCIDA DOS CONDUTORES DE ILUMINAÇÃO	37
5.1.5 DESCIDA DE CABOS ACESSÓRIOS	37
5.1.6 MANUTENÇÃO PREVENTIVA	37
5.2 PRÉDIO DOS EQUIPAMENTOS DE TRANSMISSÃO	38
5.2.1 ENTRADA DA REDE ELÉTRICA, CABOS DE INTERNET, COAXIAL PRINCIPAL E ACESSÓRIOS	38
5.2.2 DISTRIBUIÇÃO E LOCALIZAÇÃO INTERNA DOS EQUIPAMENTOS E PLANO DE TERRA	38
5.2.3 PORTÃO DE ACESSO, CERCA DE PROTEÇÃO E SOLO DE TRÂNSITO	38
5.3 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	39
5.3.1 DIMENSIONAMENTO FIOS, DISJUNTORES E PROTETORES DE SURTO	39
5.3.2 CLIMATIZAÇÃO	39
SEÇÃO 6: ANEXOS	40
ANEXO I:	40
MÉTODO DE PROTEÇÃO SPDA, ESFERA ROLANTE OU ELETRO-GEOMÉTRICO (VER NORMA NBR5419)	40
ANEXO II: PROTEÇÃO PESSOAL	43

Seção 1: Apresentação

Nesta apresentação focaremos em sistemas de aterramento para locais de transmissão de emissoras de FM exclusivamente o que irá contribuir com essa demanda que tem sido requerida por profissionais da área e que muitas vezes não encontram um auxílio eficaz específico.

A ideia é conceitual e deve servir de apoio e orientação aos profissionais envolvidos que muitas vezes têm dificuldade de avaliar como realmente está a eficácia das proteções elétricas e também a qualidade da energia AC que alimenta o sistema. Com isso queremos evitar sobremaneira a interrupção dos serviços da emissora visando também a proteção e a durabilidade dos equipamentos instalados.

O conteúdo aqui presente é um resumo prático que cita as proteções e aterramento das torres de transmissão, nas configurações e ligações dos equipamentos dentro do prédio dos transmissores. Também na instalação elétrica e suas configurações propostas e no dimensionamento dos cabos, dos seccionadores e protetores internos para os equipamentos instalados.

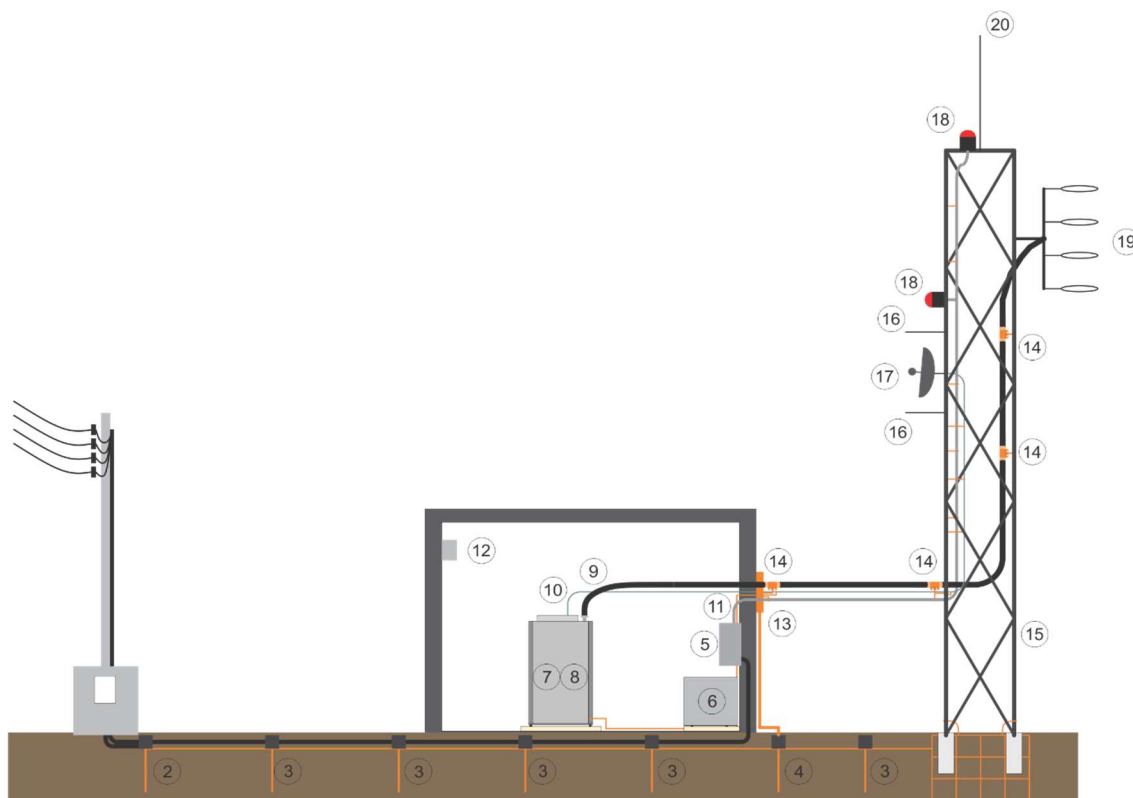
O dimensionamento do SPDA e o detalhamento de projeto em toda a sua abrangência são exclusivos para cada planta transmissora, pois dependem de cada local e suas características, portanto ficando a cargo do/s profissionais responsáveis pelo projeto e execução.

O resultado deste trabalho foi baseado em pesquisas feitas a partir da seguinte bibliografia:

- ITU-T -K56
- ABNT- NBR5419
- ABNT – NBR5410
- NAB – Lightning Protection Tower -7.3- Edward A. Lobnitz.

Seção 2: Aterramento e sistema SPDA

O Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas, SPDA completo, consiste de um sistema externo e um sistema interno. O sistema externo é formado por três subsistemas; são eles: O subsistema captor, o subsistema de descida e o subsistema de dissipação ou aterramento. O sistema interno, por sua vez, consiste nas ligações equipotenciais, instalação elétrica e contra surtos secundários. O seu dimensionamento passa diretamente pelo planejamento do aterramento e da localização dos componentes e dispositivos envolvidos. O desenho abaixo mostra o croqui básico de uma planta transmissora com a torre de transmissão junto a casa dos equipamentos.



- | | |
|--|---|
| 1. Entrada de energia; | 10. Cabo coaxial do Link de programação; |
| 2. Conexão do neutro da concessionária junto a malha de aterramento; | 11. Eletroduto galvanizado da iluminação da torre |
| 3. Hastes do eletrodo de aterramento; | 12. Ar condicionado; |
| 4. Derivação do aterramento para o ponto único; | 13. Anteparo do aterramento; |
| 5. Centro de distribuição da rede elétrica da instalação; | 14. Luva de conexão de aterramento do cabo coaxial; |
| 6. Estabilizador / Nobreak | 15. Torre; |
| 7. Transmissor de FM | 16. Captosres horizontais do SPDA; |
| 8. Equipamentos e acessórios do sistema de transmissão | 17. Antena do Link de programação; |
| 9. Cabo coaxial de conexão entre o transmissor e a antena | 18. Luzes de advertência; |
| | 19. Antena principal do sistema; |
| | 20. Captosres verticais do SPDA; |

Figura 1: Proposta de instalação planta de FM

2.1 Requisitos de aterramento

O controle das diferenças de potencial medido entre circuitos ativos em meios aterrados é fundamental para proteger os equipamentos.

Manter as diferenças de potencial para um valor abaixo do limite de danos aos equipamentos é a proposta desta apresentação e ajudará a garantir a sobrevivência dos mesmos.

Fornecer controle de tensão mais rígido para um valor abaixo do limite de perturbação do equipamento ajudará a garantir que o sistema atravesse o evento do raio sem qualquer efeito perceptível.

Toda a proteção, entretanto, é baseada na suposição de parâmetros médios ou padrão de descargas atmosféricas a partir de formas de ondas de energia estatísticas, e pode, portanto, nunca ser 100% eficaz, embora um grau muito grande de acerto seja esperado.

Uma instalação típica de um sistema de transmissão consistirá em uma torre com uma antena associada, um prédio de estúdio ou uma sala de equipamentos de transmissão e os equipamentos de suporte.

Todo o tipo de construção de torre escolhida consistirá em estrutura de aço para maximizar o aterramento equipotencial e as características de ligação. Consideramos também que o prédio esteja dentro da zona de proteção da torre.

As torres de transmissão são normalmente estruturas de base triangular (três pernas) ou quadradas (quatro pernas), construídas em aço tubular ou estrutural galvanizado com elementos de treliça verticais seccionais.

Elas podem ser autoportantes ou estaiadas e podem ser de diversas alturas, desde uma antena parabólica próxima ao solo até mesmo uma estrutura de suporte de antena de 100 metros ou mais. Além disso, algumas torres são montadas no solo e outras são montadas no topo de edifícios de concreto ou aço de várias alturas e grandes o suficiente para abranger várias pernas sobre edifícios de transmissão.

É, portanto, impossível descrever técnicas detalhadas de proteção para todos os tipos de torres.

Requisitos básicos, portanto, serão apresentados para que a aplicação a qualquer tipo de torre possa ser facilmente extrapolada.

Quando novas antenas forem montadas em torres alugadas existentes, uma análise das condições atuais e das técnicas de proteção deverá ser feita e também, melhorias ou correções conforme necessário para maximizar a proteção.

A própria estrutura da torre é o elemento básico de proteção que ajuda a dissipar os raios diretos, pois minimiza o aumento de tensão nas antenas, nos cabos coaxiais e equipamentos além de prover uma certa proteção para prédios adjacentes.

Os elementos de proteção da torre consistem em:

2.1.1 Aterramento da torre

O aterramento adequado da torre é essencial para a proteção de todos os outros sistemas e instalações interligados a ela. As pernas da torre deverão estar fortemente conectadas ao aço de reforço da fundação feito com conexões de solda *exotérmica*, este por sua vez, será conectado através de cabos soldados (mais curtos

possíveis) até as hastes, anéis, radiais de aterramento, contrapeso e cerca de proteção se houver. Para torres estaiadas os parafusos de ancoragem, anéis, âncoras de sustentação e os cabos contrapeso serão aterrados.

2.1.2 Eletrodo de aterramento

Define-se como eletrodo de aterramento o conjunto de hastes mais os condutores de interligação entre elas e o tratamento químico da terra se houver. Importante que os cabos ou fitas de interligação sejam nus para que haja contato da parte metálica com a terra. Jamais poderemos optar por cabos encapados.

2.1.3 Blindagem dos cabos coaxiais

As blindagens dos cabos coaxiais das antenas devem ser fixadas à torre na parte superior, perto da antena e em cada ponto de fixação de sustentação ao longo da descida, preferencialmente a cada 5 metros, e na parte inferior onde o cabo sai da torre. Os suportes de fixação do cabo devem fazer bom contato com a malha externa do cabo e serem ligados na estrutura metálica da torre. O cabo deve sair da torre o mais baixo possível para minimizar o gradiente de tensão e a dissipação de corrente no painel de anteparo do prédio dos transmissores. Preferencialmente os cabos coaxiais devem passar por dentro da estrutura da torre quando for possível, pois isso minimiza sobremaneira o fluxo de altas correntes causadas por descargas atmosféricas através da blindagem do cabo, facilitando o escoamento dessas correntes que atingem a placa de anteparo.

2.1.4 Terminais aéreos ou capttores

Os terminais aéreos ou capttores (para-raios) são hastes montadas nas partes superiores da torre de forma vertical e/ou horizontal acima e abaixo das antenas e que servem como para-raios para proteger os seus elementos. Suas presenças aumentarão a probabilidade de as hastes serem atingidas no lugar da estrutura da torre, minimizando assim a manutenção de antenas danificadas e também o aço da torre sofrer corrosão pelo efeito de eletro corrosão.

A necessidade destes capttores se explica principalmente para torres de mais de 50 metros de altura que sofrem impactos de raios laterais diretos e devem ser protegidas. Portanto, as antenas montadas lateralmente acima deste nível são vulneráveis e o uso de terminais aéreos horizontais acima e abaixo das antenas se faz necessário.

Antenas auxiliares ou outros componentes fixados na torre não devem ser montados a menos de 30 cm da parte superior do terminal aéreo ou além do cone de proteção formado pela diagonal entre a ponta do terminal e o espaçamento entre eles. Desta forma o elemento protegido deve ficar, na sua totalidade, dentro da área do triângulo.

Os capttores devem ser localizados nas extremidades nulas do padrão das antenas para não afetar o desempenho do sistema irradiante.

Para o sistema irradiante principal da estação de FM, devido as suas dimensões mecânicas, os terminais aéreos tornam-se muito grandes e são menos utilizados, já que o sistema irradiante principal está fortemente aterrado à estrutura da torre.

2.1.5 Luzes de advertência

A fiação que alimenta as luzes de advertência na torre deve passar por dentro do conduíte de metal galvanizado rígido. Este acessório é construído em metal para minimizar correntes de surto na fiação e deve ser aterrado próximo ao ponto da luminária, também em cada ponto de fixação de descida na estrutura torre e também abaixo próximo à saída da fiação da iluminação.

Desta forma eliminamos parte das correntes de surto na fiação que seriam difíceis e caras de eliminar da placa do painel de anteparo situado na parede lateral do prédio adjacente a torre. A supressão de surto no circuito de iluminação da torre ainda será necessária dentro do prédio, mas desta forma vamos lidar com uma corrente de surto mínima. Além disso, todos os outros condutores que servem de alimentação para amplificadores e equipamentos montados na torre também devem ser instalados em conduítes de metal rígido separadamente seguindo a mesma orientação citada para a iluminação da torre.

2.1.6 Cuidados e manutenção necessária

As correntes atmosféricas que descem pela torre podem, com o tempo, causar arcos nas suas junções, removendo a galvanização e resultando em ferrugem pelo efeito de eletro corrosão. A manutenção do sistema de torre é importante para a vida duradoura dos componentes e da eficácia do sistema de aterramento.

Os terminais aéreos, para-raios, estão sujeitos a fortes e repetidas correntes de descarga atmosféricas que podem causar corrosão e derretimento de pontos, bem como tensões mecânicas severas nas ferragens da torre.

Correias de ligação, fixadores de cabos e outras ferragens diversas poderão afrouxar e permitir o movimento ou “chicoteamento” de condutores devido a forças eletromagnéticas associadas às correntes descendentes serem desiguais em amplitude em vários componentes da torre.

Portanto recomenda-se, pelo menos, uma revisão a cada dois anos no sistema da torre.

Conforme citado na norma ITU-T K56, a utilização de um condutor de proteção separado de descida contra raios não se faz necessário para a dissipação adequada das correntes do raio. A torre em si, por ser metálica, sempre conduzirá a maior parte de qualquer queda de raio, desde que se garanta uma boa condução entre suas partes.

Se for usado um cabo de descida para descargas de raios, este deverá ser aterrado a cada ponto de fixação na torre e jamaís ser isolado para que se mantenha em equipotencialização do sistema.

Tal condutor adicional de descida conectado à torre em intervalos pré-estabelecidos, terá um efeito insignificante na divisão dos caminhos das correntes devido a sua indutância.

A parte externa do cabo coaxial mais a blindagem dos conduítes de iluminação e outros acessórios que por ventura existirem também conduz correntes de descargas.

Para torres estaiadas, os cabos de sustentação poderão ser muito eficazes na divisão de correntes de descida reduzindo assim o estresse por correntes e tensões mecânicas nos componentes da torre e no painel anteparo de terra do prédio.

Onde cabos de sustentação contiverem isoladores, portanto precauções especiais devem ser observadas.

Os isoladores estarão sujeitos a diferenças de potencial durante a queda de raios que ocorrem entre os pontos de fixação do estaiamento da torre e as ancoras com potencial de terra. Essas diferenças podem chegar a milhares de volts e podem criar arcos ou “caminhos de rastreamentos” sobre os isoladores resultando em isolamento ineficaz ao longo do tempo. Portanto a inspeção de manutenção dos isoladores e a seleção dos valores isolantes máximos para os isoladores são muito importantes.

2.2 Realização do sistema de aterramento

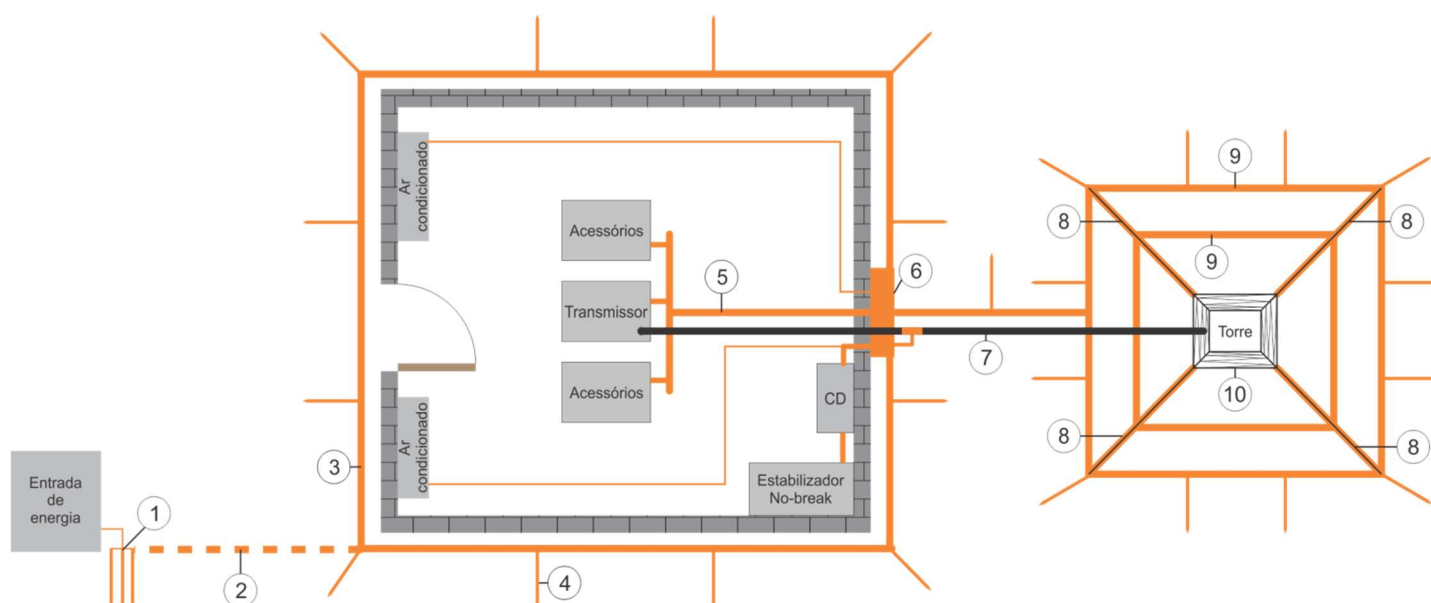
O sistema de aterramento, portanto fornece um caminho de escoamento das correntes de descargas elétricas atmosféricas para a terra.

O sistema de aterramento completo compreende na união dos pontos de terras individuais de maneira a fazer um sistema único e que propicie a equipotencialização elétrica entre cada ponto aterrado. Aliás, a equipotencialização é o objetivo principal de qualquer sistema de proteção elétrica.

A ligação de equipotencialização serve para manter equalizadas as diferenças de potenciais entre os elementos protegidos.

A eficácia de um sistema de aterramento é função da resistividade do solo circundante, do arranjo do sistema e da extensão do sistema de eletrodos utilizados.

A Figura 2 mostra a proposta de uma planta baixa com as interligações do aterramento.



1. Aterramento do Neutro da concessionária;
2. Malha interligação aterramento entre Neutro da concessionária e eletrodo de aterramento (opcional);
3. Eletrodo de aterramento;
4. Hastes do eletrodo de aterramento;
5. Conexão no formato T entre o ponto único (anteparo) de aterramento e os equipamentos;

6. Anteparo – **ponto único** de derivação do aterramento;
7. Cabo coaxial de conexão entre o transmissor e a antena;
8. Estaiamento da torre;
9. Contrapeso do aterramento
10. Torre;

Figura 2: Proposta sistema de aterramento

2.2.1 Resistividade do solo

A resistividade do solo é a característica específica de cada tipo de solo que determina a facilidade ou não da passagem de correntes elétricas através do solo em questão. A grandeza “resistividade do solo” é medida em $[\Omega.m]$.

Conhecer a resistividade do solo é importante para planejar o dimensionamento de um sistema de aterramento.

A resistividade do solo por sua vez, depende da quantidade de Íons livres (sais químicos) no solo, da temperatura e do seu teor de umidade. As características do solo podem variar significativamente com a profundidade e a localização devido às diferentes camadas de diferentes tipos de solo e a presença de camadas de solo duro e rochas subterrâneas.

A temperatura é uma grande preocupação em sistemas de aterramento raso, pois tem um efeito importante na resistividade do solo. Durante meses de inverno, a resistência do sistema de aterramento pode atingir níveis inaceitáveis devido ao congelamento da água líquida do solo em regiões mais frias. O mesmo sistema de aterramento superficial também pode sofrer de alta resistividade em regiões tropicais pela evaporação da água do solo.

É aconselhável determinar a linha natural, “tendência”, de variação da umidade da área antes de tentar projetar um sistema de aterramento. Como não está no escopo deste Guia descrever em detalhes o processo de cálculo de aterramento, aconselhamos que o leitor busque em literaturas especializadas a forma prática e os procedimentos de estratificação do solo para medir-se a resistência do aterramento.

2.2.2 Arranjo do sistema

O arranjo do sistema é o planejamento de como os pontos protegidos deverão estar distribuídos levando-se em consideração a localização deles e a distância entre eles. Tais pontos são as localizações, da torre, do prédio dos equipamentos de transmissão, da chegada da energia elétrica, da linha de dados, das cercas de proteção, do portão de acesso ao site, etc.

Em arranjos típicos, a torre está normalmente sujeita a correntes atmosféricas mais frequentes e maiores do que o prédio dos equipamentos de transmissão e outros protegidos. Além disso, ela estabelece um guarda chuvas de proteção aos prédios mais baixos e que estiverem dentro da esfera rolante; ver anexo I.

É, portanto, razoável dar ênfase ao sistema de aterramento da torre.

Um melhor aterramento da torre resultará em menos fluxo de corrente entre os sistemas da torre e do prédio dos equipamentos de transmissão, reduzindo desta forma, as diferenças de potenciais entre os dois sistemas.

O aumento de potencial na torre devido a um raio é resultado da variação rápida de corrente do raio, da indutância da torre e da resistência de aterramento, tal que:

$$e = iR + L \frac{di}{dt}$$

onde,

- e = é o aumento de potencial entre o topo da torre e a sua base;
- i = a magnitude da corrente do raio;
- R = a resistência do aterramento;
- L = a indutância da torre;
- $\frac{di}{dt}$ = é a variação da corrente de descarga em relação ao tempo.

As estruturas da torre têm certa quantidade de indutância por metro. A quantidade dessa indutância depende da sua configuração geométrica e também da sua largura. A relação largura/altura determinará a indutância total de uma torre. Uma torre de 50m, por exemplo, com larguras laterais de 80 cm pode ter uma indutância em torno de 40uH. Supondo-se uma variação de corrente de descarga atravessando a torre de 10kA em 10uS e uma resistência de aterramento de 0,08 Ohms, teremos desenvolvido na extensão da torre uma tensão de 40,8kV, conforme a equação acima.

Não há muito que se fazer para mitigar o efeito da indutância da torre uma vez conhecida a sua estrutura. O planejamento da distribuição das partes envolvidas na torre junto com o seu aterramento, minimiza os efeitos indesejáveis.

Deve-se evitar, dessa forma, a conexão aérea com pares metálicos saindo de pontos mais altos da torre e interconectando com outras partes estruturais como o próprio prédio de transmissão ou outras estruturas metálicas.

Importante: [Todas as conexões entre a torre e quaisquer outros pontos deverão sair pela parte mais baixa possível da torre](#), dessa forma diminuimos a influência da tensão desenvolvida na torre por consequência de descargas elétricas.

A Figura 3 descreve uma configuração típica de aterramento para uma torre estaiada e o prédio dos equipamentos de transmissão associados. O aterramento da torre pode ser realizado por um sistema de eletrodos de condução interconectados na base da torre e entre os pontos de ancoragem e os condutores radiais de contrapeso com suas hastes.

Na configuração dos eletrodos, um condutor de contrapeso radial é estendido da base da torre até cada ponto de ancoragem de sustentação da torre. Este condutor interconecta os eletrodos em anel próximos a base da torre e em locais de ancoragem e nos pontos intermediários para auxiliar na dissipação de corrente nos condutores.

No caso de torres autoportantes, a base da torre deverá ser aterrada por um conjunto de eletrodos que a circundam formando um anel de condutores radiais. Deverá ser feito um cálculo dos valores finais de resistência do aterramento e as medidas comprobatórias para a eficácia do sistema.

Os anéis mostrados, figura 3, conectando o sistema de condutores radiais devem parar a poucos metros da base da torre. A malha complexa criada por múltiplas ligações entre os anéis dos radiais ajudará a escoar a corrente de raio de forma mais eficiente das pernas da torre para cada um dos condutores radiais.

A corrente que flui da base da torre para os radiais produzirá potenciais aproximadamente iguais entre radiais adjacentes devido a equipotencialização entre eles.

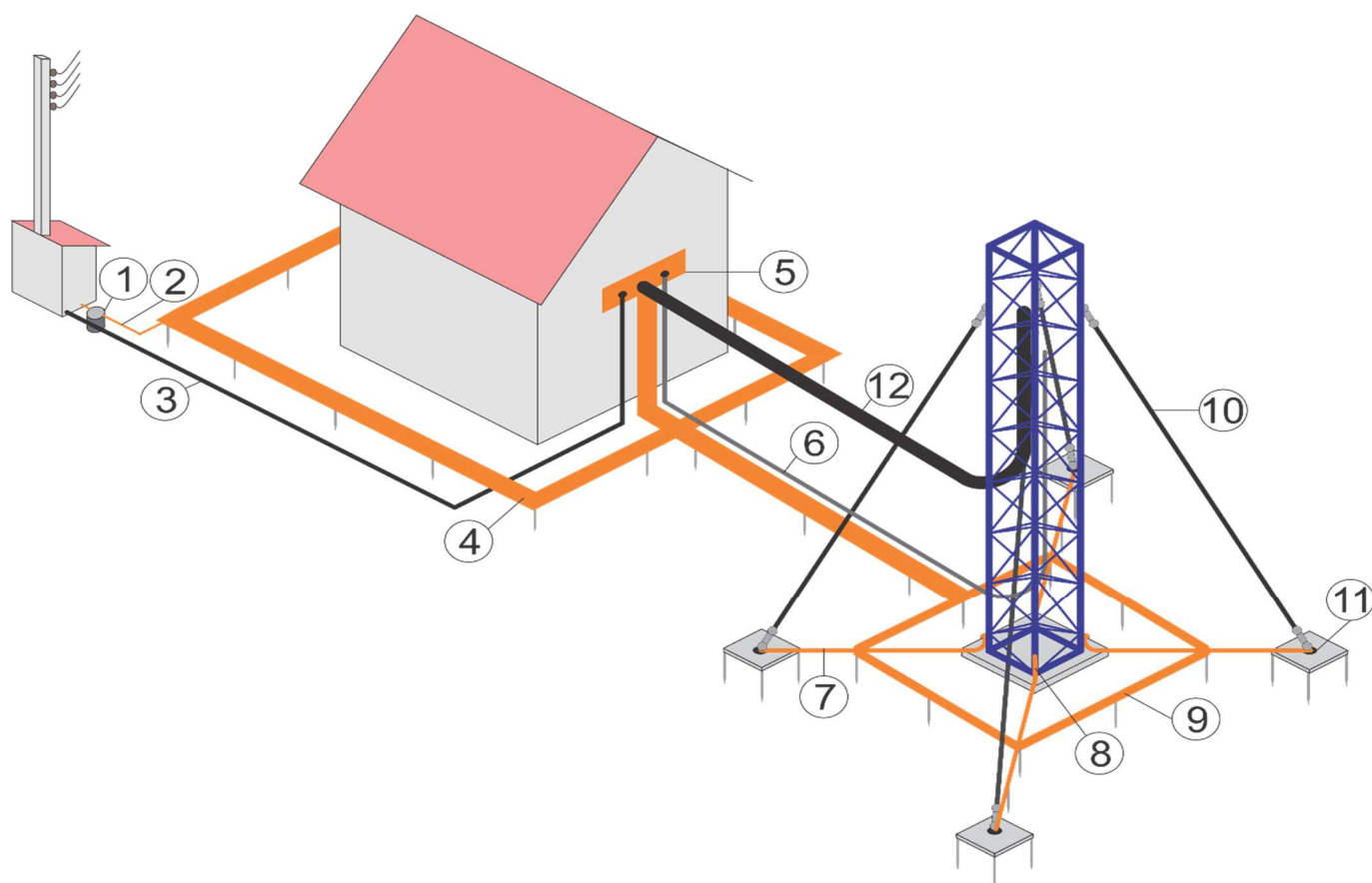


Figura 3

1. Caixa de inspeção do aterramento do Neutro da concessionária;
2. Cabo interligação aterramento entre Neutro da concessionária e eletrodo de aterramento;
3. Eletro calha enterrada para o Neutro e as três Fases de alimentação;
4. Anel perimetral de fita de cobre;
5. Anteparo – **Ponto Único** de derivação do aterramento;
6. Eletro calha enterrada para cabos auxiliares: iluminação da torre, coaxiais de link, etc.;

7. Cabo condutor de contrapeso; conecta o eletrodo em anel com o aterramento de ancoragem.;
8. Radiais de interconexão entre a base da torre com o eletrodo em anel;
9. Eletrodo em Anel;
10. Estais;
11. Ancoragem da torre;
12. Cabo coaxial.

Figura 3: Proposta sistema de aterramento

A base da torre é interligada via uma fita condutora (ver item 2.2.3) ao eletrodo em anel perimetral que circunda a casa dos equipamentos de transmissão. Uma derivação do eletrodo em anel conecta ao anteparo de aterramento que é fixado na parede lateral do prédio. Bem junto a esse ponto estão as entradas dos cabos coaxiais, dos cabos de energia, dos cabos de dados e de iluminação da torre. Esta derivação minimiza o nível de corrente transportada pela periferia dos cabos coaxiais e conduítes de iluminação da torre para a parte interna do prédio, já que as correntes indesejáveis retornarão pela periferia dos cabos até o eletrodo de aterramento. É fundamental para o modelo de aterramento aqui proposto que todos os acessos elétricos ao prédio de transmissão sejam feitos por pontos bem próximos uns dos outros, conforme mostra a figura 3.

O eletrodo em anel perimetral que circunda a casa também serve como ponto de conexão para outros eletrodos como cercas, portões de acesso, etc., que devem ser juntados. Isto ajudará a equalizar as diferenças de potencial entre o prédio e a torre e outros pontos protegidos.

A figura 4 mostra um ataque de descarga elétrica atmosférica sofrida por uma torre e a possível distribuição das correntes elétricas no sistema de eletrodos de aterramento.

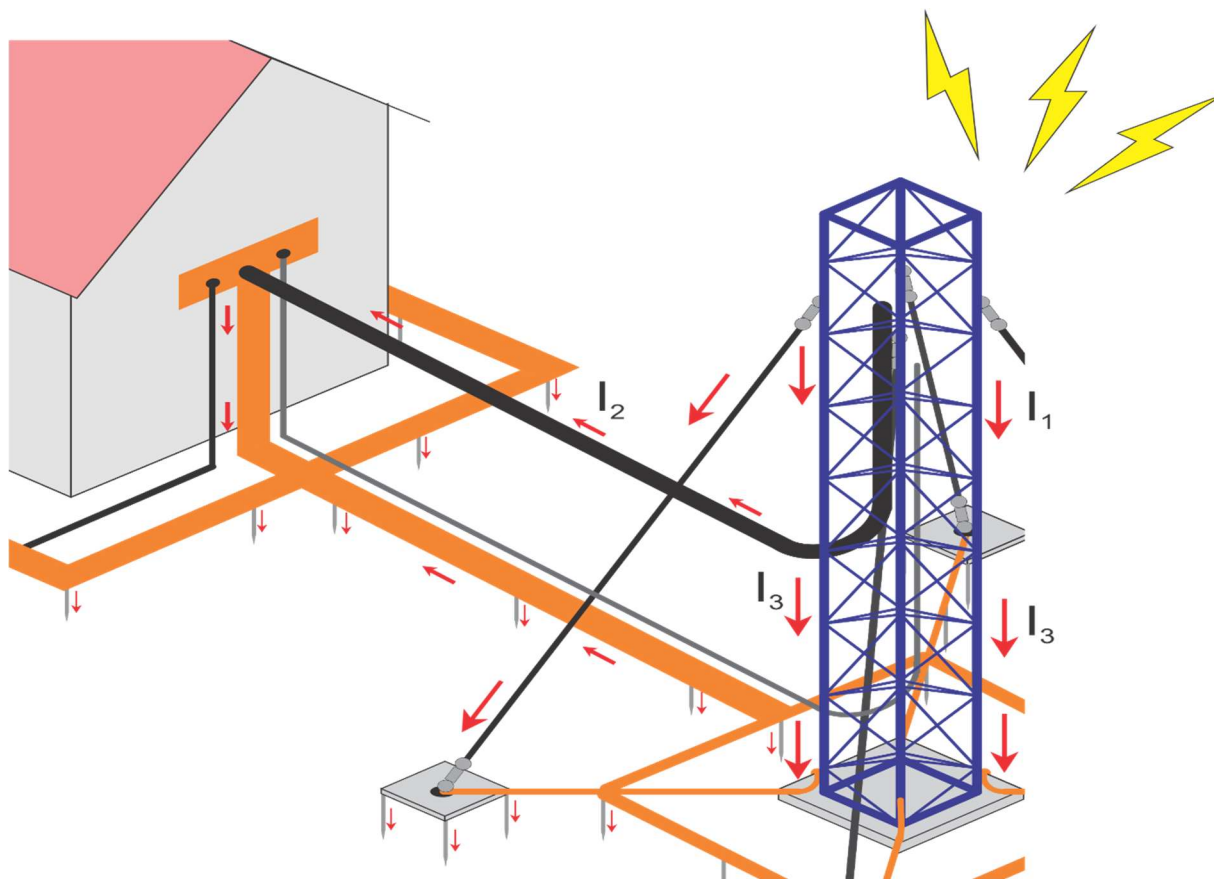


Figura 4

A principal descarga acontece na estrutura da torre fortemente aterrada em sua base (I_1), descendo principalmente pela sua estrutura e se dividindo em duas correntes (I_2+I_3), sendo que I_3 se divide dissipando-se no estaiamento até os pontos de ancoragem e contra pesos. Uma parte menor da descarga é dissipada no eletrodo perimetral do prédio via condutor de interligação e outra porção I_2 , desce pela parte externa do cabo coaxial chegando até o anteparo e retornando para o eletrodo perimetral ao prédio onde também será dissipada.

2.2.3 Utilização de fitas condutoras

Muitas vezes é aconselhável à utilização de fitas condutoras entre pontos críticos de aterramento, cabe ao projetista fazer tal avaliação, já que também os custos podem ser pouco mais elevados. Lembrando que o investimento em um bom plano de terra é, ao longo do tempo, o investimento mais correto.

Baixar a resistência de um sistema de aterramento por si só não é totalmente eficiente. Devemos pensar em impedância de aterramento, conforme mencionado no item anterior 2.2.2, onde componentes capacitivas e indutivas estão presentes. Também que uma descarga elétrica não é uma corrente contínua e sim impulso em forma de degrau com componentes espectrais com múltiplas frequências presentes.

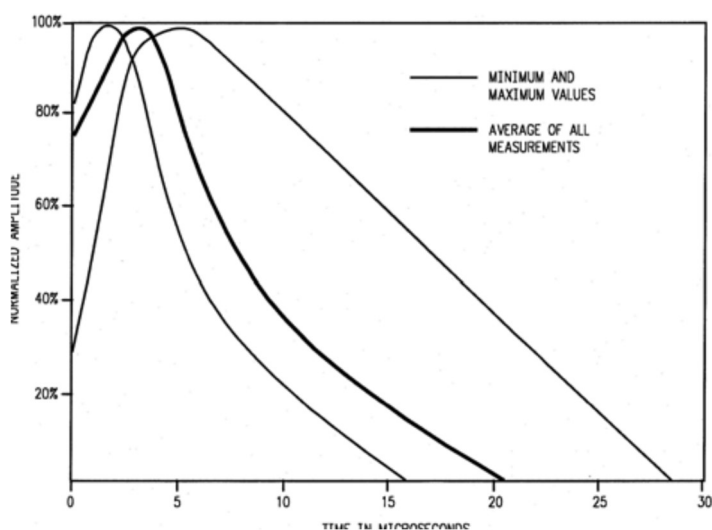


Figura 5

A figura 5 mostra um dos padrões estatísticos de formas de ondas de descargas elétricas que são utilizados para o dimensionamento de sistemas de proteções contra surtos associados ao SPDA.

Note que o tempo de subida desse padrão de descarga elétrica fica entre 2,5μs e 8μs até atingir a sua crista. Já o tempo de descida pode variar entre 10μs e 20μs.

É considerado como tempo de subida o intervalo de 10% até 90% do valor de crista do evento; é considerado como tempo de descida o intervalo entre o valor de crista até 50% do valor de descida. Esses valores são bem familiares e muito usados por projetistas em sistemas de proteções contra transientes. Padrões similares são utilizados, porém com tempos de subida e de descida diferentes em função da classe de proteção exigida, por exemplo 8/20μs, 8/80μs; 10/350μs.

Proteger equipamentos contra os efeitos de raios envolve uma combinação de três fatores, aterramento, interligação entre pontos e supressão de surtos. O aterramento fornece os caminhos para a dissipação das correntes para a terra. As ligações servem para a equipotencialização de vários pontos do circuito. A supressão de surtos limita as diferenças de potenciais entre circuitos ativos que não podem ser ligados entre si diretamente.

Os caminhos das correntes de descargas atmosféricas, portanto, se dissipam através dos condutores de equipotencialização em direção a terra. Os condutores têm obviamente suas indutâncias e resistências elétricas distribuídas. Os efeitos das indutâncias dos condutores usados são, sem sombra de dúvidas, um dos causadores de danos em equipamentos devido às diferenças de potenciais desenvolvidas entre dois pontos comuns aos equipamentos.

A figura 6 mostra um exemplo genérico de dois circuitos ativos ligados entre si a certa distância e que fazem parte de uma ligação de equalização de terra. Podemos pensar em um transmissor com um grupo gerador afastado alguns metros por salas diferentes, uma entrada de um sistema de energia solar que alimenta uma sala de equipamentos, etc..

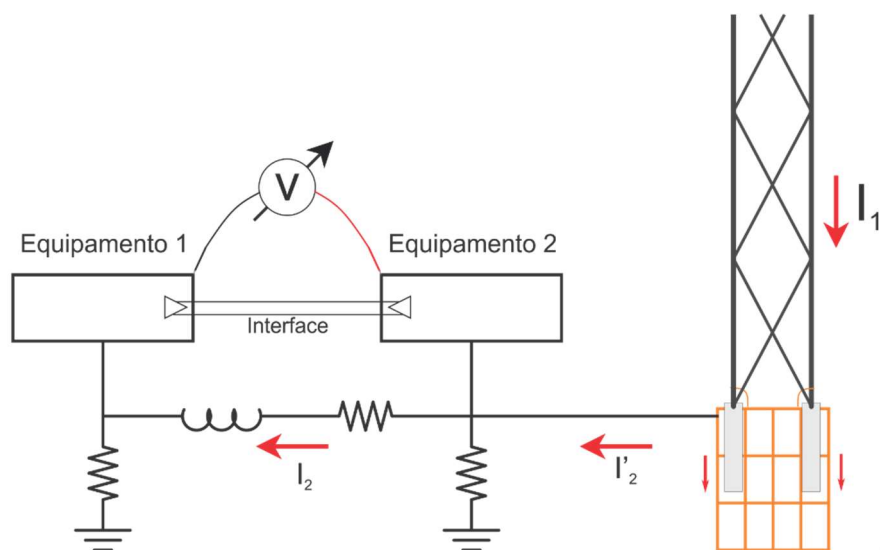


Figura 6

Por exemplo, um condutor é posto entre dois pontos do sistema de aterramento visando a equipotencialização de forma manter ambos os pontos no mesmo potencial. Neste caso a base da torre com o prédio onde estão instalados os equipamentos de transmissão.

A lei de Kirchoff nos diz que a corrente se dividirá em dois ou mais caminhos possíveis, se houverem, e sua magnitude será inversamente proporcional ao valor da impedância elétrica de cada caminho.

As correntes atmosféricas se comportam da mesma maneira, fluindo por todos os caminhos disponíveis até o solo. Em circuitos de corrente contínua, a tensão produzida em qualquer elemento de circuito é o produto da magnitude da corrente versus a resistência que ela atravessa.

Ao lidar com variações rápidas de corrente, como é o caso de uma frente de onda de uma descarga atmosférica, a indutância do circuito passa a ter um papel preponderante. Lembrando que a Lei de Lenz diz que um indutor tende a se opor às variações de corrente elétricas que a produziu até estabilizar o seu campo magnético quando a corrente que o produziu estabiliza ou se extingue.

O condutor de ligação destacado na figura 6 em virtude da conexão com o aterramento do prédio, serve como um dos vários caminhos para a corrente do raio seguir até ser descarregada à terra.

No nosso exemplo, fizemos com que apenas 5% da corrente total do raio flua em direção ao prédio dos equipamentos de transmissão enquanto os outros 95% são dissipados no forte aterramento da base da torre e no resto do eletrodo ao seu redor.

Estabelecendo-se que o comprimento do cabo de interligação do nosso exemplo é de cerca de 15 metros. A corrente total I_1 do raio descendo pela torre é de 20 kA (nível de proteção IV, norma NBR5419) sendo que 19kA serão dissipados na base da torre e 1kA chegará à casa dos equipamentos de transmissão através do cabo de equipotencialização. Assumindo que o cabo com seus 15 metros possua uma indutância de 24uH e o tempo de subida da frente de onda do raio ser 2,0uS e também que a resistência elétrica do cabo mais o aterramento da malha que circunda o prédio seja 0,08 ohms, então teremos:

- $di = 1000 \text{ A}$;
- $dt = 2,0 \text{ uS}$;
- $R = 0,08 \text{ ohms}$;
- $L = 24 \text{ uH}$.

$$\text{Logo } -e = L \frac{di}{dt} + IR \dots [0,00024 \text{ H} \times (1000 \text{ A} / 0,00002 \text{ S})] + 1000 \text{ A} \times 0,08 \Omega$$

$$e = 12,08 \text{ kV}$$

Os valores acima revelam que com a frente de onda do raio subindo até 1kA em 2uS, teremos desenvolvido 12,08kV entre as duas carcaças dos equipamentos envolvidos, isto devido unicamente a indutância do cabo de interligação entre eles, já que o efeito da resistência de terra contribui apenas com 80V e a queda na indutância fica em $e = 12 \text{ kV}$.

Utilizar um cabo com secção maior teria pouco efeito na componente indutiva, melhoraria a resistência ôhmica do sistema. Portanto, diminuir a indutância do cabo é o nosso maior desafio.

O gráfico da figura 7 fornece uma comparação entre um condutor com secção em formato redondo e um retangular (fita) de áreas similares.

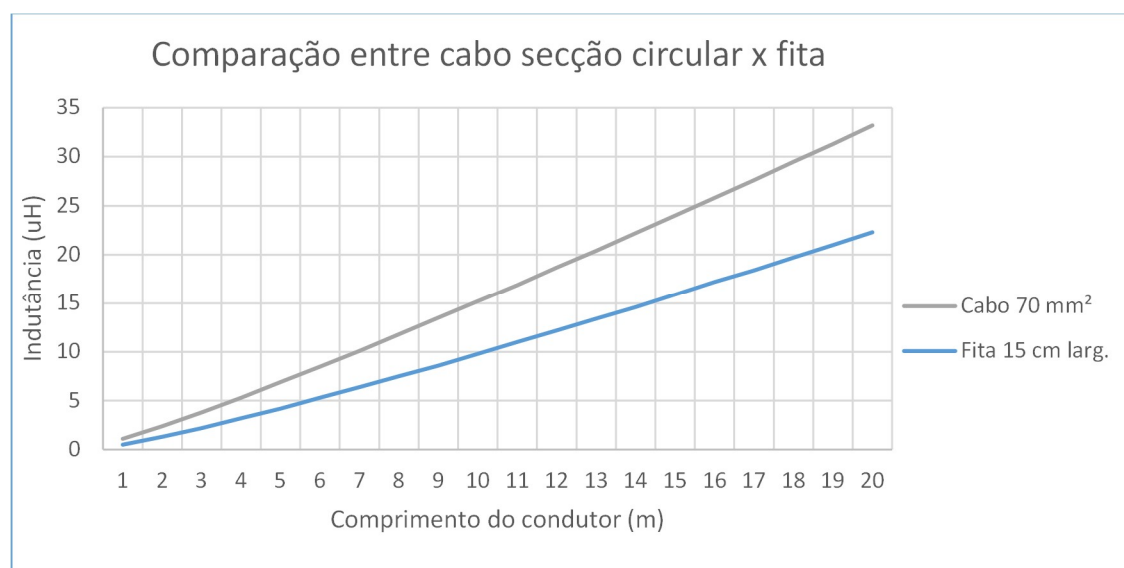


Figura 7

Recalculando para as mesmas condições e usando uma fita condutora conforme o gráfico da figura 7 teremos uma redução da tensão desenvolvida para $e = 8,08 \text{ kV}$.

Os materiais tipo fita são mais eficazes para as mesmas áreas transversais que o condutor redondo, tornando-se mais atraente como meio de interligação para fins de proteção.

Portanto indica-se a utilização de fitas condutoras para a equipotencialização de sistema de aterramento em pontos estratégicos.

2.2.4 Aterramento de ponto único

A utilização de fitas condutoras em lugar de cabos com secção redonda atenua sensivelmente o desenvolvimento de altos potenciais entre pontos a serem aterrados, porém, não os elimina completamente. O gráfico da figura 7 mostra a comparação entre os valores de indutância de um cabo redondo e de uma fita de cobre em função dos seus comprimentos, largura e espessura.

Após a conclusão do sistema de aterramento periférico externo ao prédio dos equipamentos e a devida interligação feita através de fita de cobre com a base fortemente aterrada da torre de transmissão, vamos concluir que não há como evitar totalmente as diferenças de potenciais em um condutor que transporta corrente atmosférica. Há, entretanto, um método para impedir o fluxo de corrente de descargas elétricas atmosféricas através de um modelo de circuito.

Partimos de que sem fluxo de corrente não haverá diferença de potencial entre pontos ligados.

Esse método é chamado de aterramento de ponto único.

O anteparo fixado na parede lateral do prédio, figura 3, é uma peça metálica de suporte onde são conectadas a fita de cobre de retorno para o *aterramento periférico* localizado na parte externa do prédio e também são ligados todos os aterramentos dos cabos que chegam ao prédio, entre eles, as malhas dos cabos coaxiais, as malhas dos cabos de dados, os conduítes metálicos da rede elétrica principal e de iluminação da torre, entre outros, etc.

Pelo lado interno do prédio, o modelo de aterramento de ponto único onde todos os equipamentos estão ligados entre si formam um único plano de terra ligado ao ponto de referência que é o anteparo na parte interna. São conectados ao anteparo os condutores de cobre de aterramento oriundos dos equipamentos e acessórios e dos protetores de surtos localizados no quadro de comando de energia.

Os equipamentos e acessórios são isolados de quaisquer outros pontos metálicos que não façam parte do aterramento, portanto deverão estar em piso isolado.

Para a sala dos equipamentos é indicado um piso emborrachado ou de outro material sintético isolante.

Desta forma, com todos os chassis eletricamente em equipotencialização não haverá possibilidade de diferença de potencial entre os circuitos comuns aos equipamentos. Também correntes de surtos externos não fluirão pelo aterramento, pois não há caminho de retorno para elas; o fato de haver um ponto único de acesso ao prédio pelo anteparo não permite o desenvolvimento de tensões de passo entre equipamentos. Desta forma como não há diferenças de potenciais desenvolvidas entre equipamentos, logo este tipo de proteção é muito eficiente.

Um surto de modo comum que chega ao anteparo ou ponto único de aterramento retornará inofensivamente, quase que em sua totalidade ⁽¹⁾, para o sistema de terra através da fita em direção aos eletrodos de aterramento na parte externa. Haverá aumento de potencial no ponto único devido à indutância e a resistência no circuito, porém nenhuma corrente poderá fluir para o equipamento, pois ele permanece isolado dos demais pontos de referência.

O potencial do equipamento simplesmente aumentará e diminuirá, rastreando o potencial do solo de ponto único. A queda de um raio no prédio ou em outras estruturas conectadas ao sistema de aterramento também fará com que o potencial do ponto único de aterramento aumente e diminua.

O equipamento, porém, não vê diferença de potencial, pois seu chassi e todos os circuitos metálicos externos estão interligados juntos no ponto único.

⁽¹⁾ Sempre haverá uma fuga de correntes que pode atingir algum equipamento, porém estas serão removidas através de protetores de surtos que serão citados no item 3.3 desta apresentação.

2.2.5 Tipos de configurações de aterramentos

Os tipos de configurações de aterramentos internos mais usados em Telecomunicações e Broadcast são:

- Malha densa;
- Ponto único;

Malha densa: A configuração malha densa é muitas vezes utilizada em sistemas de telecomunicações e sua arquitetura é similar a uma teia de fios dentro das paredes, assoalho e teto interligados formando uma gaiola metálica (gaiola de Faraday) em forma de cubo, onde dentro estão localizados os equipamentos de transmissão e dados. Os fios de acessos aos cabos de terra externos saem pelos quatro lados da sala e são interligados nos diferentes pontos de aterramento que circundam o prédio. Essa configuração é eficaz, porém pelo fato de haver uma malha de terra interligando todos os equipamentos eletrônicos, poderá haver interferências indesejáveis sendo induzidas nos equipamentos mais sensíveis. Outro desabono, para o nosso caso específico, é que para sites onde haja campos eletromagnéticos muito intensos, casos de instalações de broadcast AM e FM, correntes parasitas sempre estarão fluindo através dos loops da malha. Também deverão ser levados em conta os potenciais de passo que se formam devido às indutâncias dos fios de interligação com os aterramentos externos. O sistema de malha densa é o preferido em instalações de rede de computadores e telecomunicações em edificações urbanas.

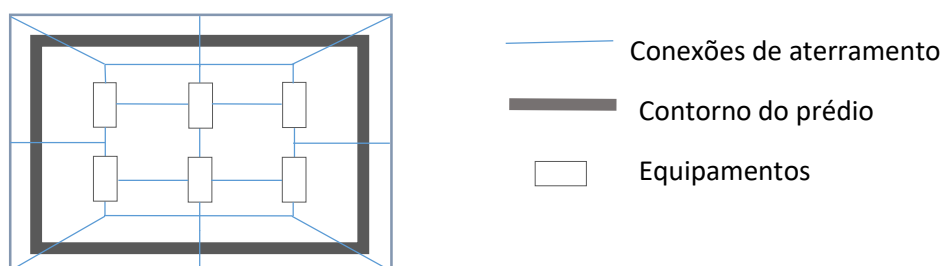


Figura 8 - Ligação em Malha Densa

Ponto Único: O sistema de aterramento de ponto único apresenta algumas variantes em sua arquitetura. Em todas elas há um único ponto de acesso ao sistema de aterramento externo do prédio. O piso onde estão os equipamentos é isolante, os pontos de terras dos equipamentos estão ligados entre si apenas pela malha do aterramento, porém a distribuição dos equipamentos muda. As figuras 9A, 9B e 9C, mostram três possibilidades de aterramento de ponto único. As ligações em T e em estrela são as preferidas para o nosso caso por serem mais imunes a ruídos e evitar loops desnecessários.

Figura 9A - Ligação em estrela

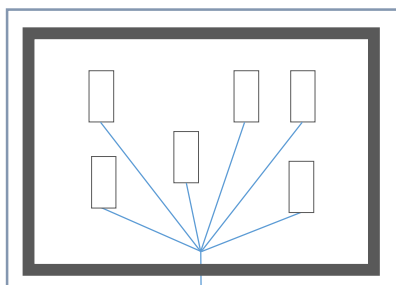


Figura 9B - Ligação em T

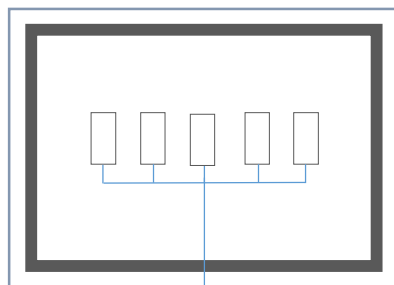
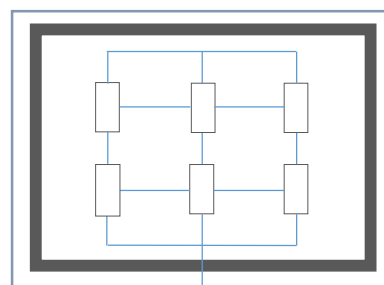


Figura 9C - Ligação em malha



Seção 3: Instalação Elétrica

3.1 Introdução

O objetivo desta apresentação é de orientar o profissional responsável pelo projeto e execução das instalações elétricas na planta transmissora da estação de FM.

O critério para o dimensional dos cabos, dos seccionadores (disjuntores), e dos protetores será justificado para o tipo de instalação escolhida, podendo ser alterado pelo projetista em casos de mudanças específicas.

O foco aqui se refere aos equipamentos BT utilizados nas instalações. Para o restante dos equipamentos, o dimensional dos cabos, proteções, etc., passará pela orientação do fabricante de cada equipamento.

Lembrando-se da importância das instalações estarem de acordo com as propostas aqui explanadas para que a emissora tenha uma rede elétrica segura e livre dos fatores ofensores que possam prejudicar o seu bom funcionamento.

Para informações sobre as normas técnicas e detalhamentos específicos das instalações, vide norma ABNT NBR5410.

O padrão brasileiro de utilização da rede elétrica de baixa tensão B.T. determina dois níveis de tensões trifásicas possíveis que são 220V e 380V e dela derivam-se os sistemas bifásicos ou monofásicos com tensões de 127V e 220V. Detalhes e particularidades desse padrão serão encontrados na norma ABNT, NBR5410.

Os transmissores BT são fornecidos para serem alimentados por sistema trifásico de 220 V ou 380 V e também para sistemas monofásicos ou bifásicos de 220 V.

A utilização de outras tensões também é possível sob consulta com a fábrica, já que foram fornecidos transmissores para outros países com tensões diferentes das citadas.

Também aqui serão abordados os sistemas de proteções elétricas contra surtos de sobre tensão, surtos de sobre correntes e proteção contra manobras feitas externamente antes do transformador da linha de baixa tensão e que podem vir a danificar os equipamentos alimentados pela rede em questão.

3.2 Esquemas de conexões elétricas

O esquema de conexões elétricas entre a fornecedora de energia e os equipamentos consumidores dentro e fora do prédio serão abordados a seguir mostrando os caminhos mais adequados para a distribuição da energia dando sempre ênfase às proteções e a segurança dos equipamentos alimentados.

A figura 10 mostra o esquema de ligações entre o poste onde se localiza o transformador de baixa tensão com o prédio dos equipamentos de transmissão.

Para este esquema escolheu-se a configuração TN-C com neutro fortemente aterrado junto ao poste da fornecedora de energia.

Modelo TN-C

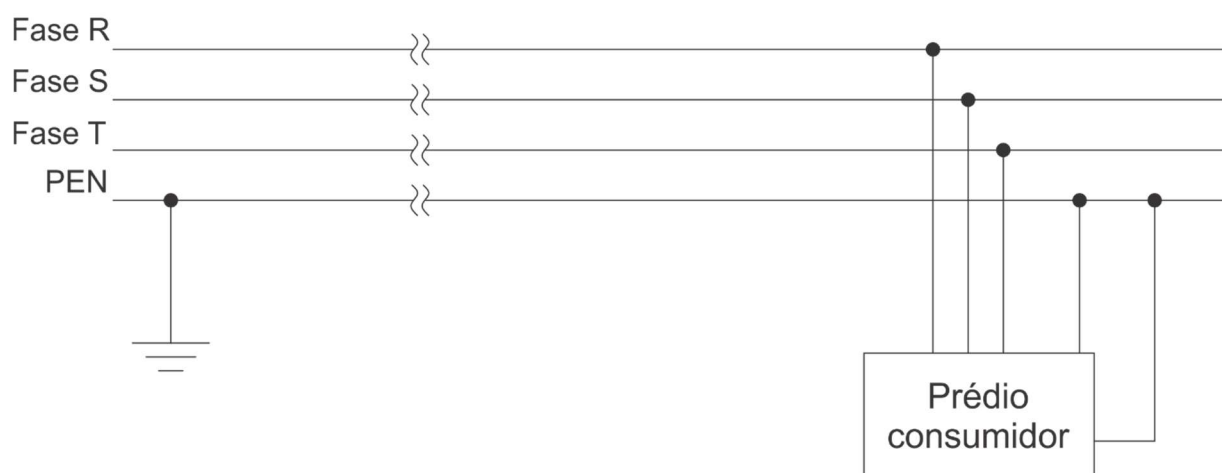


Figura 10

O esquema da figura 11 faz referência às conexões internas ao prédio onde mostra o condutor neutro ligado diretamente no anteparo embora internamente ele seja separado em condutor Neutro mais Terra N+T para atender as especificações dos equipamentos eletrônicos conectados.

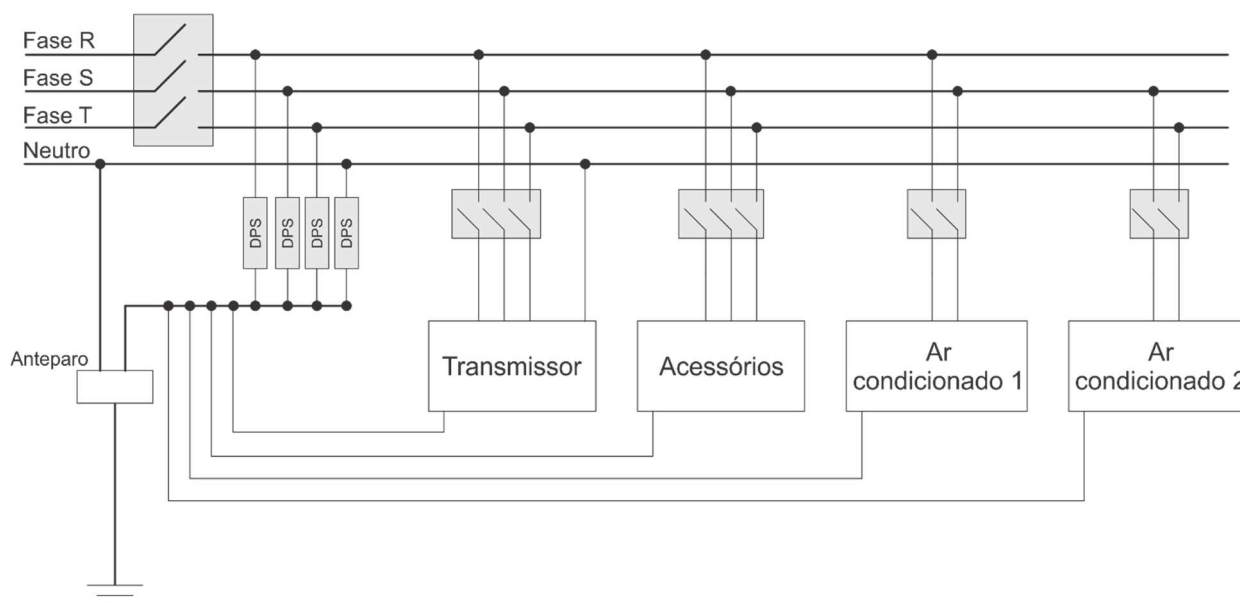


Figura 11

A ligação dos dois aterramentos, a do neutro junto ao poste de energia com o aterramento de equipotencialização visto no parágrafo 2.2.2, figura 3, pode ou não ser feito. Quando o poste de fornecimento de energia se localizar muito afastado do plano de terra de equipotencialização, opta-se por manter o neutro bem aterrado junto ao poste e junto ao aterramento do anteparo e assim evitar custos desnecessários. Porém se a localização do poste for relativamente perto, cerca de 10 ou 20 metros, vale levar o plano de terra de equipotencialização até o poste. Para esta ligação não é necessário o uso de fitas condutoras, pois um cabo de secção circular atende a essa necessidade.

É fundamental também que o neutro seja aterrado na entrada do prédio bem próximo ao ponto único de aterramento e que a secção do cabo de neutro seja no mínimo igual à dos condutores de fase. Dessa forma evitamos que, em casos de uma falta de fase eventual no sistema, as tensões de fases restantes subam acionando as proteções dos equipamentos ou até mesmo danificando-os. *Devemos, portanto, evitar “Neutro Flutuante”.*

Uma característica prática do neutro flutuante é que as tensões de fase podem assumir valores iguais a tensão de linha, ou seja, $V_L = V_F \cdot \sqrt{3}$ e também para valores de cargas desequilibradas V_F assume valores intermediários maiores que o nominal.

Também com o neutro flutuante em casos de transientes elétricos causados por manobras de seccionamento normais da rede elétrica ou por descargas atmosféricas, o panorama fica bem pior, pois as tensões de fase desenvolvidas instantaneamente podem superar em muito o valor de $V_F \cdot \sqrt{3}$ devido à presença das indutâncias e capacitâncias distribuídas ao longo do circuito.

O dimensional dos cabos de energia antes da entrada no prédio dos equipamentos de transmissão será compatível com a capacidade de fornecimento de energia contratada pelo consumidor e essas dimensões poderão ou não ser dadas pela empresa fornecedora de energia.

O mesmo vale para o seccionador (disjuntor) de entrada do prédio.

Os cabos de energia vindos do transformador localizado no poste deverão ser enterrados no solo junto com o cabo do neutro dentro de eletro calhas especialmente indicada para esse fim. Isto evita induções indesejáveis e perigosas devido à presença de intensos campos eletromagnéticos causados por descargas elétricas atmosféricas que atingirão o loop formado pela parte aérea da rede com o plano de terra equipotencial.

A entrada dos cabos de energia elétrica no prédio dos equipamentos de transmissão se dará num ponto bem próximo à entrada dos cabos coaxiais, junto ao anteparo de junção do aterramento, sendo recebidos dentro da sala pelo seccionador principal dentro do alojamento do quadro de comando elétrico.

No quadro de comando elétrico são instalados os disjuntores termomagnéticos exclusivos para cada equipamento consumidor com especificações adequadas para cada um. Também os protetores de surtos deverão estar localizados no mesmo quadro próximos a cada disjuntor, sendo que o comprimento dos fios de cada protetor, não poderá ser maior que 50 cm somando-se o fio que vai para o disjuntor e o fio que vai para o aterramento; norma ABNT NBR5410. Dessa forma evitamos indutâncias parasitas em série com os protetores responsáveis pelo atraso (delay) na resposta do protetor e como consequência direta a diminuição de sua eficiência. Uma observação importante é que o protetor de surto deverá ser instalado após cada disjuntor e do lado do equipamento a ser protegido. O dimensionamento dos cabos e dos protetores específicos para cada circuito é mostrado na tabela 2.

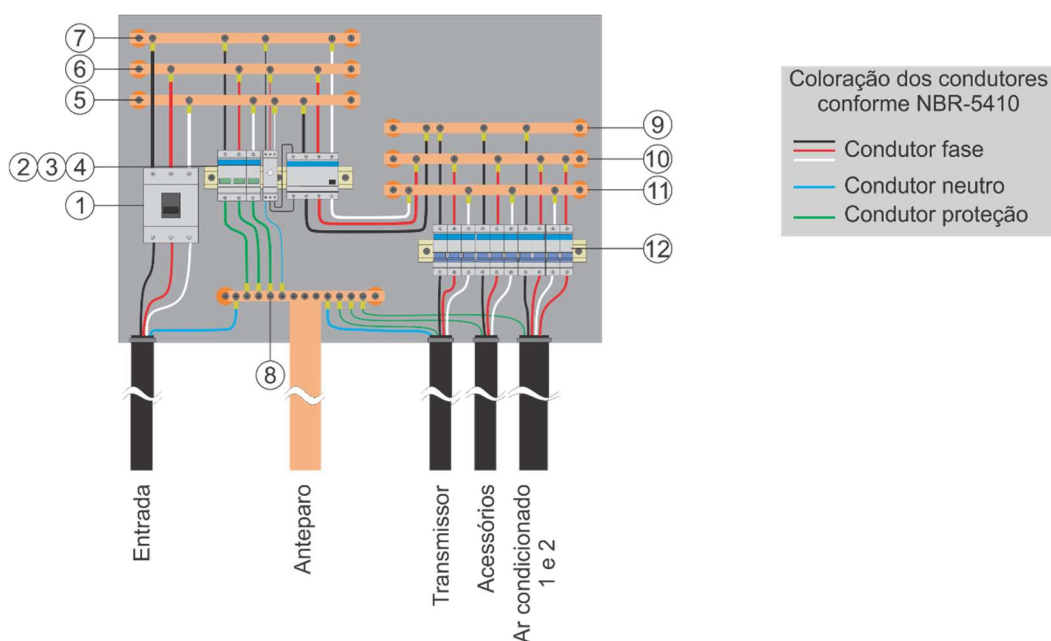


Figura 12

- | | |
|--|-----------------------------------|
| 1. Disjuntor de entrada; | 7. Barramento de entrada T; |
| 2. DPS; | 8. Barramento de terra PEN; |
| 3. Relé falta de fase (opcional); | 9. Barramento de distribuição R; |
| 4. Contatora de falta de fase (<i>opcional</i>); | 10. Barramento de distribuição S; |
| 5. Barramento de entrada R; | 11. Barramento de distribuição T; |
| 6. Barramento de entrada S; | 12. Disjuntores de distribuição; |

Os cabos elétricos dentro do prédio, preferencialmente serão distribuídos pelo chão da sala até os equipamentos a serem alimentados. Sua instalação poderá ser feita dentro de uma calha de cimento ou eletro calha, coberto por um piso falso. No caso de utilizar-se eletro calhas aéreas para a distribuição dos cabos, estas deverão estar aterradas, ligadas ao ponto único e somente por uma única conexão, assim evitaremos loop dentro da sala.

Todos os equipamentos dentro da sala deverão ser aterrados através de uma fita de cobre, preferencialmente ou cabo de interligação entre os pontos de terras. Desse ponto haverá uma única ligação através de fita ou cabo para o ponto de terra único localizado na parede da sala.

A figura 2 mostra um aterramento em forma de T sendo que a parte transversal da letra T interliga os equipamentos em um aterramento único e a perna vertical do T vai para o ponto único de aterramento na parede da sala; anteparo.

Outro item muito importante é que não haja contato elétrico do piso (*não usar pisos condutivos*) com as bases dos equipamentos. É importante o uso de material emborrachado, pisos sintéticos e se isso não for possível, devem levantar-se os equipamentos do chão através de pallets isolantes. Isto deverá ser observado para todos os equipamentos da sala inclusive para racks que suportam pequenos aparelhos como links, processadores e equipamentos de dados. Atenção especial para esses últimos, pois muitas ocorrências de queimas de equipamentos vêm através de descargas elétricas atmosféricas via linhas de dados. A mesma regra de entrada será aplicada às linhas de dados, ou seja, equipamentos entrando junto ao aterramento único e aterrados nesse ponto.

Essa técnica evita que haja correntes de retorno de terra por dentro dos equipamentos instalados, já que estamos falando em ponto único de aterramento. Dessa forma garantimos que jamais haverá corrente de loop's circulando entre os pontos de terra, pois estes estarão em potencial equilibrado com o ponto único da sala. O uso de fibra ótica evita essa preocupação.

3.3 Proteções para os equipamentos

Abaixo estão listados os tipos de proteções que deverão ser levadas em consideração para se ter um sistema de transmissão confiável. São elas:

- Contra surtos de sobre tensão;
- Consequências de manobras elétricas;
- Sobre corrente;
- Sobre tensões;
- Falta de fase;
- Estabilização da rede;
- Ambientais;
- Climatização.

3.3.1 Contra surtos de sobre tensão

Surtos de sobre tensão são muito comuns em instalações elétricas situadas em cima de morros em zonas rurais, no topo de edificações localizadas no centro de cidades onde as torres de transmissão em geral se tornam vulneráveis a descargas causadas por raios e também por vendavais que atingem a rede elétrica, chuvas, intempéries, etc.

Proteger equipamentos contra efeitos de descargas elétricas primárias e secundárias envolve uma combinação de aterramento, equipotencialização e supressão de surtos.

Os surtos de tensões que via de regra são descargas secundárias ou aquelas que fugiram do caminho principal de descarga e não foram devidamente escoadas para a terra, seja por elementos de circuitos parasitas ou por induções secundárias, devem ser absorvidas por dispositivos especiais que limitem suas tensões a valores abaixo do nível de aceitabilidade dos equipamentos a serem protegidos.

Os dispositivos DPS e para-raios de rede ajudam a derivar as correntes remanentes de surtos realizando a proteção final aos circuitos ativos.

Existe uma variedade de outros protetores contra surtos que não serão citados aqui por não serem de utilização específica ao nosso caso.

Os DPS, Dispositivos de Proteção contra Surtos, têm características peculiares e são instalados em pontos estratégicos onde se exija proteções.

Os DPS são compostos por resistores, (Varistores de óxido de zinco), cujo valor da resistência é fortemente dependente da tensão aplicada em seus terminais.

Possuem três zonas principais de operação; zona de alta resistência, zona de transição ou joelho e zona de condução. Os DPS são especificados para entrar em funcionamento a partir da tensão rotulada em seu corpo e é a partir dela que o dispositivo começa conduzir saindo da região de alta resistência e entrando na zona de transição. A zona de transição, por sua vez, se caracteriza pelo aumento de corrente absorvida pelo DPS devido a diminuição da resistência entre seus terminais, consequência do aumento da tensão aplicada acima da tensão especificada. Por último temos a zona de baixa resistência e alta corrente absorvida. Essa corrente é especificada no seu corpo e dependendo das dimensões do DPS, pode chegar a vários kA.

Um exemplo prático, citamos um DPS comercial especificado para 275 V e corrente de 12kA; esse DPS quando atingida a tensão de 275V começa minimamente a conduzir.

Os valores de tensão e corrente aplicadas ao dispositivo nos levam a pensar em dissipações da ordem de muitos kW, mas não é o que acontece. A variável tempo de exposição do dispositivo à valores de tensão e corrente elevadíssimas passa a ser um dos parâmetros fundamentais para a escolha e o dimensionamento do dispositivo mais correto.

Em outras palavras: A potência em Watts dissipada em um resistor é o produto da tensão vezes a corrente ($P=V.I$), e se introduzirmos a variável tempo, diferente de um segundo (1S), não mais será citada potência em W e sim vamos falar em energia absorvida em Joules; a nossa expressão passa a ser $J=V.I.t$.

Isto nos leva a crer que podemos aplicar ao nosso dispositivo, altas correntes e tensões em curtos espaços de tempo logo está introduzindo o conceito de Surto.

Os DPS podem operar indefinidamente se a energia dos surtos que ele absorver for abaixo do valor máximo especificado, como também poderão sofrer apenas uma grande descarga e serem inutilizados.

Existem máscaras padronizadas por organismos nacionais e internacionais como a ABNT NBR5410, DIM, VDE, IEC etc., que estabelecem os padrões de energia que os dispositivos devem suportar.

Evita-se sobremaneira a inutilização do DPS fazendo-se um arranjo casado entre o circuito de seccionamento antes do DPS e a impedância em série com o DPS. Além do mais os DPS vêm com um sistema de proteção interna que evita a sua destruição e inflamabilidade. Em ambientes, porém, onde maiores cuidados são exigidos pode-se instalar mais um sistema de desarme em caso de curto-circuito no dispositivo.

Portanto, o dimensionamento deste conjunto deve ser bem escolhido. Esses valores de operação são especificados pelo fabricante.

No corpo de um DPS há uma pequena janela de indicação de que o DPS está ou não operante; no caso da janela em verde o dispositivo está operante e em vermelho deve ser substituído.

É, portanto, importante a manutenção preventiva regular desses dispositivos, pois poderá ser necessária à sua substituição.

A tabela 1 mostra um exemplo de dois dispositivos DPS disponíveis no mercado e suas especificações:

Item	Descrição		
1	Característica técnica	275V – 12,5/60kA	460V – 12,5/60kA
2	Aplicação	F-N / F-PE / F-PEN	
3	Máxima tensão de operação Contínua U_c	275V	460V
4	Resistência de isolamento	> 100MΩ	
5	Máxima Corrente de Impulso I_{imp} (10/350uS)	12,5 kA	
6	Máxima Corrente de Descarga I_{max} (8/20μS)	60 kA	
7	Corrente Nominal de Descarga I_n (8/20uS)	30 kA	
8	Corrente Subsequente de Interrupção	5kA	
9	Tempo de Resposta	< 25ns	
10	Carga	6,25 As	
11	Tensão residual U_p para (I_{imp}) (10/350uS)	< 1,3kV	< 2,0kV
12	Fixação	Trilho DIN – 35 mm	
13	Fusível de Backup Necessário	100 AG	
14	Seção dos Condutores de Conexão	4 a 16 mm ²	
15	Grau de Proteção	IP20	
16	Atende as Normas	IEC 61643-1 Classes I - II e ABNT - NBR5410	

Tabela 1

Os valores mostrados na tabela 1 podem ser interpretados a seguir:

- **Características técnicas:** As características técnicas são os valores mostrados no corpo do dispositivo como referência e que indicam a máxima tensão AC garantida para operação contínua no sistema. Também a máxima corrente de surto admissível para uma máscara padrão normalizada especificada pelo fabricante; exemplo 8/20uS.
- **Aplicação:** A aplicação sugerida significa que o dispositivo pode ser ligado entre F e N, (fase-neutro); F e PE, (fase e terra de proteção) ou F e PEN, (fase e terra de proteção que está junto com o neutro).
- **Máxima tensão de operação contínua:** É o máximo valor AC que o DPS suporta, de forma garantida, para operação contínua antes de começar a conduzir.
- **Resistência de isolamento:** A resistência de isolamento é a mínima resistência entre quaisquer uns dos bornes de acesso elétrico do dispositivo para quaisquer outros pontos da sua carcaça.
- **Máxima Corrente de Impulso I_{imp} (10/350uS):** É a máxima corrente nominal de suportabilidade de descarga sobre o DPS quando estiver instalado para proteção contra sobre tensões, conforme a máscara 10/350uS, oriunda de descargas elétricas atmosféricas direta. O fabricante informa o número de eventos que o DPS suporta nesta condição.
- **Máxima Corrente de Descarga I_{max} (8/20μS):** É a corrente nominal de suportabilidade de descarga, conforme a máscara 8/20uS sobre o DPS. O fabricante informa o número de eventos que o DPS suporta nesta condição.
- **Corrente Nominal de Descarga I_n (8/20uS):** É a corrente nominal de suportabilidade de descarga sobre o DPS, quando estiver instalado para proteção contra sobre tensões, conforme a máscara 8/20uS, oriunda de descargas elétricas atmosféricas ou de manobras na rede.

- **Tempo de resposta:** É o mínimo tempo que o dispositivo DPS pode responder ($\frac{di}{dt}$ do DPS) para as melhores condições de instalação. Deve-se instalar o DPS com os terminais mais curtos possíveis para evitar as indutâncias parasitas que pioram o tempo de resposta, piorando também a sua eficiência.
- **Tensão residual:** A tensão residual U_r é a tensão de impulso com forma padrão (8/20uS, 10/350uS... etc.) e crista igual a crista da corrente nominal. O fabricante informa a forma de onda padrão especificado.
- **Fixação:** Informação sobre o padrão da fixação do DPS junto ao quadro de comando; ex: trilho DIN 35mm.
- **Fusível de Backup Necessário:** É o valor do fusível necessário utilizado para proteger o DPS de explosão ou aquecimento excessivo após falha. A não utilização de fusível protetor poderá ser coordenada com o uso do disjuntor térmico.
- **Seção dos Condutores de Conexão:** Os condutores destinados à conexão dos DPS devem ter sua seção nominal determinada pela máxima corrente de curto circuito, em caso de falha do DPS, que deve circular pela conexão, coordenada com o protetor do DPS.
- **Grau de Proteção:** O grau de proteção é uma informação importante em relação à segurança do equipamento. A numeração segue um padrão internacional definido pela Comissão de Eletrotécnica Internacional IEC, que classifica e determina a resistência dos produtos eletrônicos contra a entrada de água e poeira. As letras IP significam “International Protection” seguida por um número que determina o nível de proteção. Por exemplo, os produtos com a determinação IP20 só pode ser instalado em ambientes internos.

*Referências e informações sobre padrões de máscaras citados, ver norma ABNT NBR5410, DIM, IEC.

3.3.2 Classificação dos DPS e sua utilização:

Um DPS deve suportar as ondas de choques do raio normalizadas conforme ensaios correspondentes a sua classe, são elas: Classe I, Classe II ou Classe III, conforme citada nas normas ABNT, NBR, IEC61643-1.

- **Classe I:** os DPS de classe I permitem eliminar os efeitos diretos causados por descargas atmosféricas. O DPS classe I deve ser instalado quando a edificação está protegida por SPDA. Os ensaios dos DPS classe I são realizados com uma corrente de choque de impulso *limp* com forma de onda 10/350uS. Ele vai instalado após um dispositivo de desconexão, no caso nosso disjuntor, cuja capacidade de desconexão seja igual a máxima corrente de curto circuito admitida pelo circuito no ponto de instalação.
- **Classe II:** Os DPS classe II são destinados a proteger os equipamentos elétricos contra sobre tensões induzidas ou conduzidas (efeitos diretos) causados por descargas atmosféricas. Os ensaios do DPS classe II são efetuados com corrente máxima de descarga, I_{max} , com forma de onda de 8/20uS. Ele pode ser instalado sozinho ou em cascata com outro DPS de Classe I. Também deve ser instalado com um dispositivo de desconexão a montante, tipo disjuntor, cuja capacidade de interrupção seja igual a máxima corrente de curto circuito presumida no local da instalação.
- **Classe I + II:** Os DPS classe I + II asseguram a proteção contra os efeitos diretos e indiretos causados pelas descargas atmosféricas, no mesmo ponto.
- **Classe III:** Os DPS classe III são destinados à proteção final de equipamentos situados próximos ao equipamento protegido. O DPS classe III é testado com forma de onda decorrente combinada entre 1,2/50uS e 8/20uS.

3.3.3 Consequências de manobras elétricas

Manobras elétricas se apresentam de várias maneiras. Podem ser ações tomadas pelo pessoal da fornecedora de energia que opera a rede elétrica quando, em casos de manutenção, o seccionamento da rede se faz necessário. Pode acontecer também quando da introdução ou desligamento instantâneo de uma carga na rede elétrica com características indutivas ou capacitivas. Sabe-se que estas ações causam transientes que se refletem para todos os consumidores. Exemplos típicos são o reestabelecimento da energia elétrica pela operadora quando há a religação de fusíveis no lado de alta tensão AT. A utilização de DPS, conforme visto no item anterior é a melhor solução, pois estes deverão suportar os transientes indesejáveis e proteger circuitos mais sensíveis.

3.3.4 Proteção contra sobre corrente

Os protetores de sobre correntes ou de curtos circuitos são os fusíveis ou os seccionadores (disjuntores) instalados separadamente para cada circuito. O dimensional desses dispositivos é calculado em função das demandas de correntes e também da corrente de curto-circuito, sempre em consonância com os DPS utilizados. Vide tabela 2.

3.3.5 Proteção contra falta de fase

Um sensor de falta de fase é um dispositivo importante para ter instalado na planta transmissora de uma estação de FM. É um dispositivo que monitora constantemente a presença das três fases da rede e no caso da falta de uma delas há o seccionamento condicional da rede com a interrupção dos serviços.

Importante é que no retorno da rede ao seu estado de normalização o dispositivo aguarda um tempo programado pelo operador para liberar os serviços novamente. Isto dá aos equipamentos instalados uma garantia de que a rede elétrica volte para o serviço normal quando estiver realmente estabilizada. O dimensional do dispositivo de falta de fase deverá ser suficiente para suportar com folga a carga máxima de consumo da planta transmissora, que será avaliada pelo profissional habilitado. Vide tabela 2.

3.3.6 Estabilizadores de tensão de rede

Esta é uma peça muito importante, senão dizer é uma peça chave para o bom funcionamento e a manutenção dos serviços da planta transmissora. Claro o profissional responsável pelas instalações é quem deverá fazer a avaliação das condições da rede de sua planta transmissora e decidir pelo uso deste equipamento.

Como foi dito, quase em geral, as plantas transmissoras de estações de FM localizam-se em lugares muitas vezes inóspitos com redes elétricas expostas a ataques de descargas elétricas atmosféricas, variações na tensão da rede, redes rurais mono fio com aterramento local, instalações que se localizam no final de rede a qual compartilham da mesma rede outros consumidores que dependendo do horário variam o seu consumo drasticamente refletindo em uma rede muito instável. Essa situação é extremamente danosa para os equipamentos instalados na planta transmissora. Neste caso a utilização de um estabilizador é aconselhável.

A escolha do tipo de estabilizador a ser utilizado é muito importante. Existem vários tipos de estabilizadores, porém, alguns deles não são o equipamento adequado para o nosso modelo de instalação. Portanto devemos seguir uma linha de estabilizadores próprios para a nossa necessidade.

Devemos evitar estabilizadores que embora eletrônicos, têm a correção da tensão de saída feita através de tapes de relés, pois o chaveamento dos relés geram interrupções, mesmo que de pequena duração (cerca de 20mS) causam transientes que são danosos aos equipamentos além de gerar ruídos indesejáveis.

Devemos evitar também estabilizadores eletromecânicos que não são adequados para a nossa finalidade.

Os estabilizadores indicados deverão atender algumas características fundamentais e que realmente contribuem para o bom funcionamento da planta transmissora de FM; são eles:

- Estabilizador com isolamento galvânico e blindagem eletrostática;
- Estabilização de saída $\geq 3\%$;
- Protegido contra sobrecargas e sobre tensões na entrada e saída;
- Se for trifásico e saída em estrela deverá disponibilizar o neutro para ser conectado no ponto único de aterramento;
- Saída senoidal com índice de distorção harmônica $\leq 5\%$.

O dimensionamento do estabilizador deverá estar de acordo com os circuitos o qual deverá alimentar.

3.3.7 Utilização de Nobreaks

Os Nobreak são equipamentos opcionais que, do ponto de vista de proteção, são equivalentes aos estabilizadores de tensão, portanto se faz a escolha entre o estabilizador de tensão ou o Nobreak.

Sua função é a de segurar a falta de energia por curtos períodos de tempo, por exemplo, cortes momentâneos não serão sentidos pela emissora. Em contrapartida, pelo fato de serem alimentados por baterias têm-se que conviver com a manutenção periódica das mesmas e também para transmissores de potências mais elevadas, baterias maiores será necessário para suprir curtos períodos de manutenção da programação.

Os transmissores BT, conforme dados do fabricante, é possível reduzir-se automaticamente a potência dos transmissores quando entra em atuação o nobreak. Com isso se tem uma maior autonomia das baterias, pois o consumo é menor.

Essa função é programada pelo usuário do transmissor a partir do acesso pela tela de comando do transmissor.

Para o dimensionamento elétrico do nobreak as especificações são similares as do estabilizador de tensão, conforme segue:

- Nobreak com isolamento galvânico e blindagem eletrostática;
- Estabilização de saída $\geq 3\%$;
- Protegido contra sobrecargas e sobre tensões na entrada e saída;
- Se for trifásico e saída em estrela deverá disponibilizar o neutro para ser conectado no ponto único de aterramento;
- Saída senoidal com índice de distorção harmônica $\leq 5\%$;
- Autonomia das baterias conforme necessidade do cliente;
- On-line com dupla conversão.

3.4 Tabelas dos cabos elétricos, disjuntores e protetores

A seleção dos condutores utilizáveis em instalações elétricas deve obedecer aos critérios estabelecidos nas normas ABNT NBR5410. As normas são bastante amplas e dão aconselhamento aos projetistas quanto a escolha do tipo de instalação mais adequada para o seu ambiente. Os critérios para instalação de condutores enterrados no solo, por exemplo, são diferentes das instalações aéreas ou em eletro calhas, etc. e dizem respeito a precauções contra excesso de temperatura nos condutores, isolação entre outros.

Os disjuntores e protetores serão dimensionados em coordenação com os condutores após a seleção destes.

São seis (06) os critérios estabelecidos pelas normas ABNT NBR5410 para o dimensionamento dos condutores.

1. Secção mínima;
2. Capacidade de condução de corrente;
3. Queda de tensão;
4. Sobrecarga;
5. Curto circuito;
6. Proteção contra choques elétricos.

Dentro desses seis critérios estabelecemos um rumo, que julgamos mais adequado para as nossas instalações e justificamos nossas escolhas em função das nossas utilizações.

3.4.1 Critérios escolhidos para a seleção dos cabos condutores

Para a formação de nossas tabelas e dimensionamento dos condutores que serão utilizados escolhemos as seguintes condições:

- Rendimento médio dos transmissores BT em potência máxima de operação igual a 70% $\pm$ 3%¹
- Condutores enterrados no solo ou no piso da sala².
- Fator de potência dos transmissores BT igual a 0,98.
- Ausência significativa de presença de harmônicos na rede de 60Hz, menor ou igual a 20%
- Elevação de temperatura dos fios em carga máxima igual ou inferior a 40°C.
- Ligações entre o quadro de distribuição e o equipamento alimentado menor ou igual a 10 metros.
- Proteções de sobrecarga.
- Proteções de curto-circuito.

¹ A escolha do rendimento dos transmissores é sempre a menor, no caso 70% - 3% = 67%

² A escolha de condutores enterrados, são preferenciais, porém a utilização de condutores ventilados, expostos ou em eletro calhas, terão seu critério térmico de certa forma menos crítico podendo ser recalculada a sua secção, a menor, a partir das normas ABNT NBR5410.

3.4.2 Critérios para seleção dos Disjuntores

Os Disjuntores devem atender os requisitos para a proteção dos circuitos conectados à sua frente nos quesitos, curtos-circuitos, sobrecargas e surtos e também proteger de surtos vindos antes do quadro de distribuição em conjunto com os DPS associados.

Devemos escolher Disjuntores térmicos e magnéticos para a proteção contra sobrecargas e curtos-circuitos que atuem rapidamente na detecção e extinção da falha.

Para obter-se a seleção adequada do Disjuntor, a corrente de consumo deverá ser menor que a corrente nominal do disjuntor.

Os disjuntores termomagnéticos têm três áreas de operação bem definidas.

A área de operação contínua onde a corrente nominal especificada nunca é ultrapassada. A segunda área é para valores de correntes acima da corrente nominal onde o disjuntor irá desarmar após um tempo de operação que é especificado nas curvas do dispositivo e depende da temperatura atingida internamente no seu sensor, portanto definida como área de desarme térmico. E a terceira área é a do desarme magnético. Quando a corrente no

dispositivo atingir valores especificados nas curvas B e C o Disjuntor fará a interrupção do circuito. O tempo de desarme por efeito magnético é rápido fica em torno entre 10mS e 20mS para Disjuntores comerciais.

Dessa forma, correntes de sobrecargas deverão desarmar o disjuntor após o tempo predeterminado de tal forma que evite o aquecimento excessivo dos condutores. Nos casos de curtos-circuitos ou surtos a sua atuação será rápida obedecendo as curvas de disparo B ou C.

É importante, portanto, a seleção das curvas de disparos B ou C de operação de desarme do Disjuntor.

A curva B tem como característica principal o disparo instantâneo do Disjuntor para correntes de atuação de 3 a 5 vezes a corrente nominal. É usada em aplicações para proteger circuitos resistivos com fator de potência próximo a 1.

A curva C tem como característica principal o disparo instantâneo do Disjuntor para correntes de atuação de 5 a 10 vezes a corrente nominal. É usada em aplicações para proteger circuitos com características indutivas.

Observação: Cuidados deverão ser tomados quando o circuito a ser protegido sofre da forte presença de harmônicos, neste caso, indicamos a consulta às Normas ABNT NBR5410.

3.4.3 Critérios para seleção dos protetores de surtos, DPS

A seleção dos DPS passa pela verificação dos circuitos ou equipamentos que deverão ser protegidos. Lembrando que um DPS não protegerá equipamentos ou circuitos devido a elevação de tensão em forma de flutuações da rede por ela alimentada e sim por surtos de tensões.

Para isso devemos conhecer a rigidez elétrica do equipamento ou a sua classificação do grau de suportabilidade de sobre tensões nos seus terminais de alimentação. Com esse parâmetro podemos estimar a tensão U_c em kV, lembrando que U_c sempre será menor que o grau de suportabilidade especificado no equipamento.

Esses dados normalmente são informados pelo fabricante do equipamento ou o fabricante cita as recomendações das normas pelas quais o seu equipamento é rastreado; exemplo: a norma IEC60038.

3.4.4 Coordenação do projeto.

Os Disjuntores foram escolhidos com os demais itens do circuito, portanto a coordenação do projeto foi feita em conjunto com os condutores, equipamentos a serem protegidos e com os protetores de surto.

A tabela abaixo se refere aos equipamentos BT utilizados. Para o restante dos equipamentos será necessário fazer-se uma avaliação do consumo, grau de proteção, etc., para o dimensionamento dos condutores, disjuntores e dos DPS.

Seleção dos condutores com os critérios estabelecidos.

Modelo	Corrente (IN)/fase	Tensão Nominal	Rede	Condutor fase (mm²)	Condutor neutro (mm²)	Disjuntor Termomagnético	DPS *
FM1K0S/E	6,7A	220V	Monofásica / Bifásica	4,0	4,0	16A – curva B	275V – 12,5/60kA classe I e II Up ≤ 1,5kV
FM3K5S/E	23,8A	220V	Monofásica / Bifásica	6,0	6,0	40A – curva B	
FM6K0S/E	40,8A	220V	Monofásica / Bifásica	16	16	63A – curva B	
	13,6A			4,0	4,0	32A – curva B	
	7,9A	380V	Trifásica	4,0	10,0	20A – curva B	
FM9K0S/E	20,4A	220V	Trifásica	6,0	6,0	40A – curva B	
	11,8A	380V		4,0	10,0	32A – curva B	
FM12KS/E	27,2A	220V	Trifásica	10,0	10,0	63A – curva B	
	15,8A	380V		4,0	16,0	40A – curva B	
FM15KS/E	35,7A	220V	Trifásica	16,0	16,0	80A – curva B	
	20,7A	380V		6,0	25,0	40A – curva B	
FM18KS/E	40,8A	220V	Trifásica	16,0	16,0	80A – curva B	
	23,6A	380V		6,0	25,0	63A – curva B	
FM24KS/E	54,5A	220V	Trifásica	25,0	25,0	100A – curva B	
	31,5A	380V		10,0	35,0	80A – curva B	
FM36KS/E	81,8A	220V	Trifásica	50,0	50,0	160A – curva B	
	47,3A	380V		25,0	70A	100A – curva B	

Tabela 2.

*Utilizar fusíveis de 100A para proteção auxiliar em série com os DPS, se o disjuntor for de 80A ou mais.

ATENÇÃO: Os condutores Neutros destacados em cor vermelha são para os equipamentos trifásicos alimentados exclusivamente com 380V. Isto porque as fontes dos transmissores BT operam internamente com tensões de 220V trifásicas e necessitam do condutor neutro para seu funcionamento. Dessa forma a corrente do neutro será igual a três vezes a corrente de cada fase, portanto a sua secção será maior.

Seção 4: Ambiente e Climatização

4.1.1 Proteção contra ações ambientais

As proteções contra ações ambientais não são menos importantes que as já citadas. Os cuidados com o ambiente onde estão instalados os equipamentos eletrônicos são de importância relevante.

Devemos evitar ambientes com contaminação de salinidade devido a maresia para instalações que estão próximas a costa marítima. Contaminação por agentes químicos presentes no ar devido a instalações próximas a lavouras as quais são pulverizadas por aviões que espalham seus produtos no ar e também curtumes e outros similares.

Devemos evitar a umidade excessiva do ar ou a sua condensação e excesso de pó. Essa última combinação de pó mais umidade, fatalmente vai formar uma crosta de barro nas placas eletrônicas principalmente dos equipamentos que necessitam de forte ventilação para o seu arrefecimento.

A temperatura da sala de operações também é um fator importante para o bom funcionamento dos equipamentos ali instalados.

Claro, nem sempre é possível evitar tais situações, nestes casos o responsável pelo projeto e dimensionamento da sala deverá utilizar-se do bom senso e achar a melhor forma para proceder.

Em lugares limpos e sem a presença dos ofensores químicos e salinidade a possibilidade de se instalar filtros ambientais nas aberturas e a colocação de exaustor para a circulação de ar pode ser uma solução, mesmo assim as variações de amplitude térmica, frio e umidade à noite, calor durante o dia poderá se formar ciclos de condensação e pó que mais cedo ou mais tarde causarão algum tipo de anomalia nos equipamentos.

A priori uma sala fechada sem entrada de ar externo e com condicionamento térmico é a mais indicada, pois os equipamentos ali instalados estarão protegidos e apresentarão um aspecto de novo para sempre, portanto essa é a nossa sugestão.

As orientações de instalação, espaço mínimo necessário guardando as distâncias entre equipamentos, acessos elétricos e localização dos produtos BT são apresentados no manual de instalações fornecido pelo fabricante.

4.1.2 Climatização

A manutenção da temperatura interna da sala onde estão instalados os equipamentos de transmissão é fundamental para o funcionamento correto dos equipamentos eletrônicos.

Para o dimensionamento do sistema térmico deveremos antes saber qual é a carga térmica total entregue ao ambiente devido ao aquecimento dos equipamentos ali instalados. Para o cálculo térmico final será importante fazer o somatório das potências dissipadas por todos os equipamentos ali presentes e também da perda térmica ou a troca de calor com a parte externa do prédio (isolamento térmico) então se fazer as compensações necessárias.

A tabela 3 fornece a potência em watts entregue por cada modelo de transmissor para o ambiente quando operado em sua máxima potência, lembrando que foi levado em consideração o rendimento médio de -5% (pior caso) para cada equipamento. Também a maior vazão de ar possível que o transmissor movimenta em CFM.

<i>Modelo</i>	<i>Potência kW</i>	<i>Vazão (CFM)</i>	<i>BTU</i>	<i>Umidade do ar %</i>	<i>Temperatura da sala ideal °C</i>
FM1K0S/E	0,49		1673	Entre 30 a 80	Entre 22 e 30
FM3K5S/E	1,73	1600	5907		
FM6K0S/E	2,95	3500	10072		
FM9K0S/E	4,43	5000	15125		
FM12KS/E	5,91	6500	20178		
FM15KS/E	7,38	8100	25197		
FM18KS/E	8,86	10000	30250		
FM24KS/E	11,82	13500	40356		
FM36KS/E	17,73	20000	60533		

Tabela 3

ATENÇÃO: Esses dados são referidos apenas ao transmissor. Para cálculo do sistema de refrigeração final devem ser levadas em consideração as características ambientais como: hermeticidade da sala; volume da sala; posição solar incidente nas paredes; tipo de telhado e forro; e demais equipamentos existentes no ambiente.

IMPORTANTE 1: O equipamento de ar condicionado deve ser localizado na parede frontal ao transmissor perto do teto, figura 2.

IMPORTANTE 2: Utilizar mais de um aparelho de ar condicionados como backup é um bom investimento e que evitará dores de cabeça no caso de falha de um aparelho.

Seção 5: Resumo

Relacionamos de forma resumida os destaques deste Guia e que são fundamentais para o bom desempenho da planta transmissora de uma emissora de FM.

5.1 Torre

5.1.1 Aterramento

Objetivo é controlar as diferenças de potenciais mantendo-se estas abaixo do nível de perturbação nos equipamentos e desta forma garantir que o sistema atravesse um evento de descargas atmosféricas sem qualquer efeito perceptível.

Do ponto de vista prático, é imprescindível que sejam observados os fundamentos de equipotencialização e de dissipação das descargas através de elementos condutivos para a terra. A condução elétrica entre as seções da torre é fundamental, já que a estrutura da torre será o caminho para a condução de correntes de descargas elétricas. Não é permitido que por um motivo ou por outro as seções da torre estejam isoladas entre si. Na base da torre além dos suportes de fixação da estrutura, devemos observar a necessidade do forte aterramento local e a inclusão dos radiais de aterramento com as hastes e os contrapesos que compõem o eletrodo; [item 2.2; figura 2](#)

A própria estrutura da torre é o elemento básico de proteção, ajuda a dissipar os raios diretos, pois minimiza o aumento de tensão entre os elementos suportados por ela. São eles, as antenas, os cabos coaxiais e outros elementos suportados pela torre, além de prover uma certa proteção para prédios adjacentes.

Os estais de suporte da torre, quando existirem, que ficam mais abaixo da altura da torre, estarão em contato direto com a parte metálica da torre e devem ser ligados nos contrapesos de aterramento. Isto ajuda em muito a dissipação de corrente de descargas elétricas. Já os estais de suporte da torre que estão ligados na parte mais acima, próximo aos elementos irradiantes, têm isoladores de seccionamento. Esses isoladores sofrem com diferenças de potenciais muito altas e podem ser danificados, causando caminhos de rastreamento sobre eles. Isto resultará numa isolação ineficaz ao longo do tempo.

A seleção adequada dos isoladores e a manutenção preventiva são um importante item na manutenção dos serviços da estação.

5.1.2 Para Raios

Os terminais aéreos ou captosres (Para Raios) são hastes metálicas soldadas na parte superior da estrutura da torre de forma horizontal ou vertical e que servem para captar descargas elétricas que se dissiparão via estrutura metálica da torre; [ver anexo 1; página 44.](#)

A utilização de para raios com cabos de descida isolados não é a melhor opção já que a estrutura metálica da torre tem muitas vezes maior capacidade de condução de corrente do que um simples fio isolado com uma seção transversal equivalente muito menor. Conforme citado na norma ITU-T K56, a utilização de um condutor de

proteção separado de descida contra raios não se faz necessário para a dissipação adequada das correntes do raio.

A utilização de hastes horizontais (perpendiculares a estrutura da torre) se faz necessário em torres com altura de 50m ou mais, pois estas recebem muitos ataques de raios laterais.

Para as antenas de serviços auxiliares e/ou outros dispositivos instalados na torre, faz-se necessário a colocação de captosres acima e abaixo deles para sua proteção. Já no sistema irradiante principal de FM, não é comum a instalação de captosres acima e abaixo dele, pois além das dimensões mecânicas serem muito maiores também contamos com que um sistema irradiante de FM tem a sua estrutura aterrada na estrutura da torre.

5.1.3 Descida do cabo coaxial

O cabo coaxial deve ser aterrado na estrutura da torre em lances de 5m a 10m (máximo) para garantir uma melhor equipotencialização elétrica. Quando possível deve ser instalado por dentro da estrutura da torre, pois melhora a proteção contra correntes de descargas atmosféricas que descem pela parte externa do cabo.

O ponto de saída do cabo da torre tem que ser o mais próximo possível ao solo. O lance de suporte do cabo coaxial entre a torre e o anteparo situado na parede do prédio, deve ser uma eletrocalha aterrada em ambos os pontos, ou seja, na torre e no anteparo de entrada do prédio dos equipamentos.

5.1.4 Descida dos condutores de iluminação

Os condutores de iluminação de sinalização da torre devem ser instalados dentro de um conduíte metálico, eletrodutos aterrados, em lances de 5m a 10m (máximo). Deverão ser fixados por dentro da estrutura da torre; nunca fixar o conduíte pela parte externa da torre.

A saída do conduíte deve ser junto ao cabo coaxial para evitar diferenças de potenciais indesejáveis entre as duas partes. O lance de suporte do conduíte metálico e do cabo coaxial entre a torre e o anteparo, situado na parede do prédio, deve ser uma eletrocalha aterrada em ambos os pontos, ou seja, na torre e no anteparo de entrada do prédio dos equipamentos.

5.1.5 Descida de cabos acessórios

Os cabos ditos acessórios são aqueles que carregam informações de serviços auxiliares. Descem pelo interior da torre dentro de eletrodutos até a sua saída suportada pela eletrocalha aterrada na torre e no anteparo. Para os cabos coaxiais dos serviços auxiliares não é necessário a passagem por dentro de eletrodutos. Os eletrodutos serão aterrados em lances de 5m a 10m.

É muito importante que as hastes de aterramento também sirvam como fixadores mecânicos dos cabos e eletrodutos, pois devemos evitar o chicoteamento deles que pode causar mau funcionamento do dispositivo com o tempo de uso. Lembrando que as causas principais do chicoteamento são, além do vento, as correntes das descargas atmosféricas que geram campos magnéticos assimétricos forçando o movimento de elementos metálicos.

5.1.6 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva do sistema da torre é importante para garantir uma vida duradoura dos componentes e a eficácia do sistema de transmissão. As torres de transmissão estão sempre localizadas na intempérie e sofrem com ventos, descargas elétricas, sol, chuva, etc. Isto causa corrosão, afrouxamento de parafusos, fixadores e danos nos elementos de proteção. Como consequência teremos o mau funcionamento no sistema. Aconselhamos que seja feita uma revisão em todos os elementos citados neste Guia a cada 2 anos.

5.2 Prédio dos equipamentos de transmissão

5.2.1 Entrada da rede elétrica, cabos de internet, coaxial principal e acessórios

A entrada da rede elétrica, cabo coaxial, etc., bem como a de todos os elementos de acesso ao prédio deverá ser feito por uma parede somente e de preferência bem próximos um dos outros; por essa razão estabelecemos a necessidade de um ponto metálico conhecido como anteparo. O anteparo é um ponto de fixação de passagem de todos os cabos onde ali juntamos todos os pontos de terras e retornamos para o eletrodo de aterramento externo. Uma única fita de passagem de aterramento deve atravessar a parede e formar o ponto comum de terras interno que se ligará com o ponto único de aterramento dos equipamentos. Os cabos de energia elétrica, Fases mais o fio Neutro (F+N), deverão ser enterrados em eletrocalhas próprias em toda a extensão do caminho desde o poste de alimentação de baixa tensão até a entrada do prédio.

O fio Neutro deverá ser fortemente aterrado na base do poste de baixa tensão e também no anteparo do prédio.

5.2.2 Distribuição e localização interna dos equipamentos e plano de terra

Não há uma regra básica de distribuição e localização dos equipamentos dentro do prédio, desde que observemos que os mesmos estejam isolados do solo por um piso adequado e estejam ligados entre si por um aterramento único. Esse aterramento por sua vez deverá ser ligado ao ponto comum de entrada dos cabos, o anteparo. Não é permitido que fitas ou fios de aterramento entrem por quaisquer outros pontos da sala que não seja o ponto único; o anteparo. Com isso evitamos fluxo de correntes de descargas que fatalmente atravessarão a sala desenvolvendo tensões de passo entre os equipamentos.

Também em hipótese alguma devemos permitir a entrada de cabos por mais de uma parede do prédio.

De forma errônea, em muitos casos, entram as fiações de grupos geradores localizados em outro prédio, cabos de internet, cabos coaxiais auxiliares de antenas situadas em outra torre, cabeamento de painéis solares, etc.

A menos que seja feito um estudo exclusivo para estes casos, devemos evitar mais de um ponto de acesso de cabos ao prédio.

5.2.3 Portão de acesso, cerca de proteção e solo de trânsito

Uma cerca metálica geralmente circunda o terreno onde está localizada o prédio dos equipamentos e a torre de transmissão. Algumas precauções deverão ser tomadas para minimizar riscos de choques elétricos transferidos pela cerca. Alguns procedimentos necessários deverão ser tomados; [ver anexo 3, página 44.](#)

- 1- Um eletrodo de aterramento em anel deverá circundar o terreno ao longo da cerca;
- 2- A cerca deverá estar conectada a esse eletrodo em intervalos regulares;
- 3- Se o portão for metálico este também deverá estar aterrado;
- 4- Os eletrodos deverão ser feitos de fita ou cabo com seção mínima de 50mm²;
- 5- Os eletrodos deverão estar fortemente conectados entre si;
- 6- Uma camada de brita de a partir de 15cm deverá ser posta sobre o aterramento onde haja trânsito de pessoas;
- 7- A camada de brita deverá se estender por mais um metro além da cerca para proteção, pois pessoas que por ventura estejam do lado de fora da cerca e entrem em contato com a mesma em dia de tempestades, sofram de descargas elétricas e consequentes ferimentos.

5.3 Instalações elétricas

5.3.1 Dimensionamento fios, disjuntores e protetores de surto

Vide tabela 2, página 33

5.3.2 Climatização

Vide tabela 3, página 34

Seção 6: Anexos

ANEXO I:

Método de proteção SPDA, Esfera Rolante ou Eletro-geométrico (ver norma NBR5419)

O método Eletro-geométrico ou Esfera rolante é o mais apurado atualmente para estabelecer uma zona de proteção contra descargas elétricas atmosféricas em prédios, torres e demais edificações que se queira proteger. Este conceito, utiliza-se de uma esfera fictícia cujo comprimento de seu raio R é igual a distância entre o Líder Descendente até o captor (ponta do para raio ou terminais aéreos).

O processo se baseia em desenhar um conjunto de circunferências de raio r sobre um plano onde conste o prédio ou os elementos a serem protegidos. Então determinar as zonas de interesse, localizar os captores e a distância entre eles, também a altura necessária de cada um. A zona protegida será a área abaixo da catenária fixada entre dois captores, ver figura 14.

Descargas atmosféricas:

Em princípio nuvens do tipo Cúmulos Nimbos, comuns em tempestades, são carregadas por intensos campos elétricos responsáveis pelas descargas atmosféricas. As descargas acontecem pelo rompimento do dielétrico do ar contaminado com pó e umidade devido ao aumento de potencial entre dois pontos. É mais comum, embora não seja uma regra, que a parte mais abaixo da nuvem se carregue com polaridade negativa enquanto a sua parte superior esteja carregada positivamente.

Da mesma forma o solo encontra-se carregado com polaridade oposta, no caso positivamente. O valor da intensidade dos campos elétricos tende a aumentar e, portanto, quando a intensidade dos campos elétricos atingirem valores elevados, o suficiente, haverá o rompimento do dielétrico entre dois pontos causando a descarga elétrica (raio). Esses dois pontos podem ser entre duas nuvens ou entre uma nuvem e o solo. As nuvens do tipo Cúmulo Nimbos encontram-se em média a uma distância entre 1km a 3km do solo. Portanto, mesmo com potenciais da ordem de milhares de volts, seria impossível haver o rompimento direto do ar úmido para causar uma descarga elétrica entre a nuvem e o solo.

Porém a coisa funciona um pouco diferente. À medida que a nuvem se carrega e antes da descarga propriamente dita, há uma aproximação das cargas elétrica em direção ao solo conhecida como Líder Descendente. O Líder Descendente tem uma característica de aproximação em saltos de alguns poucos metros de cada vez. Cada salto de aproximação ao solo não é necessariamente em linha reta, pois ele procura o caminho mais curto do ponto de vista elétrico. Ao aproximar-se do solo o Líder Descendente encontra o Líder Ascendente localizado geralmente no ponto mais alto, com carga positiva e que tenha o mesmo potencial do solo. A distância entre o líder descendente e o objeto que gera o líder ascendente é chamada de ponto de impacto e é a base para análise do modelo da Esfera Rolante. É nesse momento haverá a descarga elétrica (raio), também conhecida como descarga de retorno. A descarga elétrica é então uma corrente elétrica de alta intensidade que vai da nuvem ao solo ou vice versa utilizando-se do caminho aberto pelo Líder Descendente.

Os ataques de raios às estruturas podem se apresentar de duas formas; ataques diretos e ataques remotos. Os ataques diretos normalmente são aqueles aplicados as estruturas e que atingem os captores, antenas, iluminação de advertência etc. Os ataques remotos são causados por campos magnéticos gerados por raios de alta

intensidade, alguns kA, descarregados nas cercanias e que induzem altas tensões nos elementos metálicos próximos. Ambos os ataques podem causar danos consideráveis se as proteções não forem adequadas.

Através de estudos científicos descobriu-se que o Líder Descendente se aproxima do solo em pequenos saltos de alguns metros podendo variar entre 20m a 60m e também que a intensidade da consequente descarga elétrica é proporcional ao comprimento desses saltos. Líder.

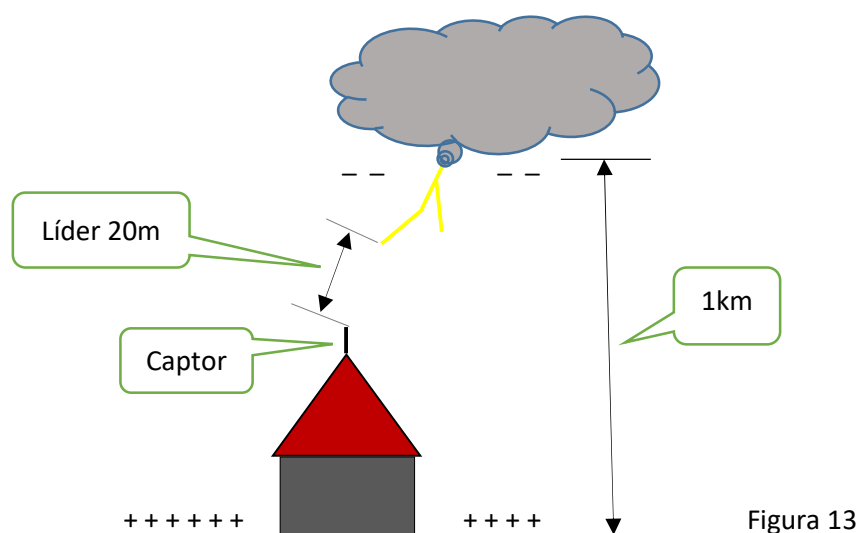


Figura 13

A equação 1.1 abaixo, estabelece a relação entre o comprimento do raio do Líder e a corrente em kA da descarga elétrica. Essa equação é citada na norma NBR5419 e seu resultado é aceito pela comunidade científica embora possamos encontrar outras formas de aproximações com resultados similares.

Eq. 1.1
$$R = 10 \cdot I_{max}^{0,65}$$

O princípio do modelo de Esfera Rolante ou Elétrico Geométrico baseia-se em traçar uma ou mais circunferências sobre um plano onde esteja localizada a zona a ser protegida cujos raios das circunferências são iguais a distância entre o captor ou captores (para-raios) e o ponto onde se encontra o Líder Descendente. A área protegida é aquela cujo arco da circunferência não toca o prédio a ser protegido, apenas nos captores, conforme mostra a figura 14.

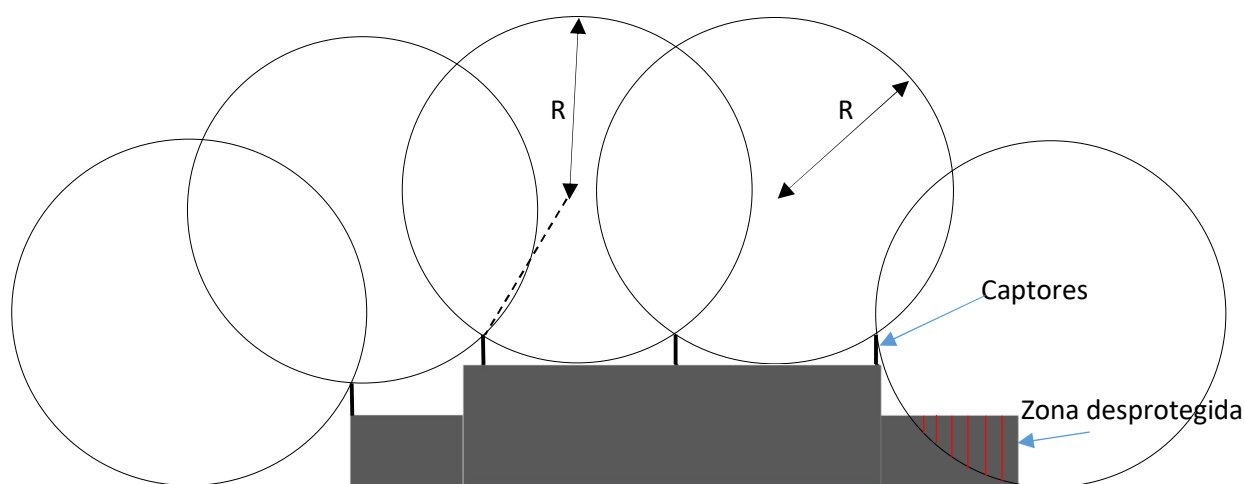


Figura 14

A figura 14 também mostra a zona do prédio hachurada em vermelho que representa a necessidade de mais um captor para a sua completa proteção. Dessa forma podemos entender que para um projeto de proteção contra descargas atmosféricas SPDA utilizando-se o método de Esferas Rolantes temos que trabalhar em três variáveis fundamentais, são elas: O raio da esfera que é quem determina o grau de proteção em função do módulo da corrente de descarga* que necessitamos proteger, a altura do captor e o afastamento entre eles. O número de captosres que serão utilizados dependerá da extensão da área a ser protegida, com isso poderemos determinar a cobertura necessária para o nosso projeto.

*corrente de pico;

A corrente de pico da descarga é então definida pela medida do raio da esfera que é a distância entre o Líder Descendente e a ponta do captor. Quanto menor for essa distância mais sensível será o conjunto de captação podendo-se captar correntes de descargas atmosféricas menores. Desta forma podemos estabelecer o grau de proteção necessário. Pela tabela 4 podemos notar que para uma distância de 20m, Classe I, a proteção será de 3kA para menor, também para uma distância de 60m, Classe IV, a proteção será de 15kA para menor.

Ficaram estabelecidos, dessa forma, os níveis de proteção de I a IV em função dos danos que uma descarga elétrica pode causar devido a sua intensidade. Esses padrões são os utilizados nas normas internacionais, citados na NBR5419, como orientação de uso para o tipo de construção a ser protegida em função da sua importância, levando-se em consideração o risco à vida humana, o valor econômico, risco de inflamabilidade ou de preservação de patrimônio histórico em questão.

Na NBR5419 encontra-se em detalhes o descritivo de utilização dos níveis de proteção sugeridos.

O nível de proteção portanto é mostrado na tabela 4, que é caracterizado pela distância r entre o Líder e o captor e a corrente em kA da descarga atmosférica. A equação 1.1 retorna outros valores se necessário.

Nível de proteção	Distância R (m)	Corrente em kA	Probabilidade da não ocorrência (%)
I	20	3	99
II	30	5	98
III	45	10	95
IV	60	15	90

Tabela 4

O detalhamento dos cálculos e projeto do método Esfera Rolante não é abordado aqui, porém o leitor poderá encontrar as orientações necessárias pesquisando nas Normas ABNT (NBR5419), ITU-T K56 e literaturas especializadas.

ANEXO II: Proteção pessoal

A ameaça pessoal durante a queda de um raio varia desde o perigo obvio do contato direto com o raio até mesmo os efeitos mais obscuros das tensões de passo e de toque.

A proteção contra um ataque direto, quando próximo ou dentro de estruturas, é obtido com métodos tradicionais de conceito de esfera rolante. No entanto, para garantir que seja fornecida uma zona de proteção adequada em áreas frequentadas por pessoas, a esfera rolante deve ser reduzida para um raio máximo de 30 metros. Os potenciais de toque e de passo são criados na medida que a descarga do raio passa através do solo resistivo ou outros caminhos disponíveis à medida que se dissipa na terra.

Uma pessoa em contato com apenas um ponto do gradiente simplesmente subirá e descenderá no modo comum sem se machucar. Uma pessoa em contato com vários pontos da terra ou objetos com potenciais diferentes ao longo do gradiente se tornará parte do caminho atual e poderá se ferir gravemente ou até mesmo vir a falecer.

Um técnico que respondesse a um problema de serviço durante uma tempestade provavelmente sairia do seu veículo pelo portão, destrancaria e abriria o portão e moveria seu veículo para o pátio interno. A ameaça de um raio direto foi minimizada através do estabelecimento de uma zona de proteção sobre as áreas a serem atravessadas. Essa zona é criada pela presença da torre e terminais aéreos montados em postes de luz. Os potenciais de passo são minimizados através do uso da malha enterrada logo abaixo da superfície onde o técnico deverá estar quando fora do veículo. Esses tapetes de aterramento como são conhecidos são feitos de cobre nu com fios de aproximadamente 8 AWG formando uma tela metálica aterrada, que deverá ser coberta por uma camada fina, cerca de 15cm, de brita ou pavimento.

A ameaça de potenciais de toque ou passo é minimizada pela ligação do tapete de aterramento ao perímetro de aterramento ao redor do prédio. A conexão de ambos os lados de abertura do portão ao tapete de aterramento ajuda a garantir que o técnico esteja no mesmo potencial enquanto o portão seja manuseado.

O vínculo flexível entre o portão e seu poste de suporte deve ser realizado usando um kit de aterramento, malha flexível, fixado com solda exotérmica.

Observações importantes.

O conteúdo aqui presente é apenas orientativo e indica que ao se realizar as regras de proteção pessoal seja acompanhado por profissional experiente e habilitado.

Um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas SPDA projetado e instalado conforme Norma NBR-05419 não pode assegurar a proteção absoluta de uma estrutura, de pessoas e bens. Entretanto, a aplicação desta Norma reduz de forma significativa os riscos de danos devidos às descargas atmosféricas.

ATENÇÃO: É admitido o não uso do emprego de proteções se as consequências dessa omissão, do ponto de vista material, constituir um risco assumido e calculado pelo usuário. Contudo nos casos de riscos diretos ou indiretos à segurança e à saúde não se pode omitir a proteção

