MANUAL ORIENTADOR SPDA

PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
PROTEÇÃO CONTRA SURTOS

2011

Procedimentos para proteção contra descargas atmosféricas

sabesp

sabesp

sabesp

MANUAL ORIENTADOR SPDA

PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

PROTEÇÃO CONTRA SURTOS

sabesp

EDIÇÃO 2011

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO SÃO PAULO - SABESP

PRESIDENTE
Dilma Seli Pena

DIRETORIA DE TECNOLOGIA, EMPREENDIMENTO E MEIO AMBIENTE (T)
Marcelo Salles Holanda de Freitas

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO OPERACIONAL (TO)
Eric Cerqueira Carozzi

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DA OPERAÇÃO (TOE)
Érika Martins de Andrade

GRUPO DE TRABALHO

Alexandre Magno P. Rocha
alexandrerocha@sabesp.com.br
(11) 3388-8097

Alexandre Luiz Yamanaka
alyamanaka@sabesp.com.br
(11) 3388-9485

André Fochesato
afochesato@sabesp.com.br
(12) 3947-1512

Bruno Henrique Bocato
bhbocato@sabesp.com.br
(11) 3599-9123

Fabrício A. C. de Sousa
facsousa@sabesp.com.br
(11) 5682-2996

Geraldo Takashi Kodaira
gkodaira@sabesp.com.br
(11) 3388-9620

Heidi Kondo
hkondo@sabesp.com.br
(11) 5683-3173

Hélio Eiji Sueta
(Colaborador externo: IEE/USP)
sueta@iee.usp.br
(11) 3091-2505

João Alexandre Xavier Mingussi
jminguss@sabesp.com.br
(11) 2971-8102

João do Nascimento
jnascimento@sabesp.com.br
(11) 4638-2099

João Luís Bertagna
jbertagna@sabesp.com.br
(11) 3388-8675

Jobson Modena (Consultor Técnico)
jobson@guismo.com.br
(11) 8174-6913

Joel Leopoldo Costa
joelcosta@sabesp.com.br
(12) 3947-1527

Manuel Fernandez
manuelfernandez@sabesp.com.br
(11) 8635-5753

Marcelo de Souza (Coordenador)
marcelosouza@sabesp.com.br
(11) 3388-9068

Mauro M. Inoue
minoue@sabesp.com.br
(13) 3828-7734

Normando V. B. Alves
(Colaborador externo: Termotécnica)
normando@tel.com.br
(31) 3308-7000

Renato da Cruz Silva
renatocs@sabesp.com.br
(11) 3388-7315

Robson Emanuel da Silva
resilva@sabesp.com.br
(11) 5682-2885

Rodrigo M. S. Bolou
rodrigomsbolou@sabesp.com.br
(11) 5682-2996

Sérgio Roberto Santos
(Colaborador externo: Jet Engenharia)
jet@splicenet.com.br
(15) 9772-2118

Sidnei Rodrigues
(Colaborador externo: Phoenix Contact)
msidney@phoenixcontact.com.br
(11) 3871-6430

Vagner Lúcio da Silva
vlsilva@sabesp.com.br
(11) 5683-3042

APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido, com o objetivo de fornecer informações sobre o fenômeno “Descarga Atmosférica” e suas conseqüências para os seres vivos, edificações e equipamentos, bem como desenvolver métodos normalizados de proteção para seus efeitos, especialmente mostrando a importância do correto dimensionamento, instalação e manutenção do SPDA - Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas e das medidas de proteção contra surtos, particularmente os DPSs – Dispositivos de Proteção contra Surtos que, como complemento das mesmas aumentarão o nível de proteção dos recursos humanos e materiais da Empresa.

Nessa visão o trabalho mostrará aos profissionais das áreas os procedimentos técnicos normalizados a serem seguidos.

Esse assunto é bastante controvertido e polêmico. O fenômeno é decorrente de fatores da natureza, acarretando riscos à vida e grandes danos materiais. Mesmo seguindo rigorosamente as orientações apresentadas a seguir nunca haverá 100% de proteção, mas a negligência quanto aplicação das normas de segurança e de proteção deixam os profissionais responsáveis à mercê das penalidades civis e criminais previstas em Lei.

Desta forma esperamos contribuir com os profissionais relacionados ao Sistema de Automação dos Processos de Água e Esgotos, Áreas de Manutenção, Desenvolvimento Operacional, Segurança do Trabalho, Empreendimentos, Gerentes e Técnicos das Áreas Comerciais e Administrativas como também com profissionais que tenham interesse no assunto.

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

SENDO COMPLEMENTO DE LEI AS PRESCRIÇÕES DE UMA NORMA TÉCNICA SÃO OBRIGATÓRIAS. NÃO SEGUI-LAS PODE IMPLICAR EM TOMAR PARA SI RESPONSABILIDADES DE ORDEM CIVIL E CRIMINAL.

A fim de evitarem-se falsas expectativas sobre o sistema de proteção, vejamos os seguintes esclarecimentos:

A descarga elétrica atmosférica (raio) é um fenômeno da natureza absolutamente imprevisível e aleatório, tanto em relação às suas características elétricas (intensidade de corrente, tempo de duração, etc), quanto em relação aos efeitos destruidores decorrentes de sua incidência sobre estruturas, edificações e equipamentos.

Nada em termos práticos pode ser feito para impedir a incidência (queda) de uma descarga elétrica em determinada região. A normalização brasileira não reconhece equipamentos que promovam "atração" de raios a longas distâncias, sendo os sistemas prioritariamente captores. Assim, as soluções internacionalmente normalizadas e aplicadas buscam tão somente minimizar os efeitos destruidores a partir da colocação de pontos preferenciais de captação e condução segura da descarga elétrica para sua conveniente dispersão na terra.

O assunto SPDA é normalizado internacionalmente pela IEC (International Eletro-technical Comission) e em cada país por entidades próprias como a ABNT (Brasil), VDE (Alemanha), NFPA (Estados Unidos), BSI (Inglaterra), entre outros.

Somente os projetos elaborados com base em disposições normalizadas podem assegurar uma instalação reconhecidamente eficiente e confiável. Entretanto, esta eficiência nunca atingirá os 100 % estando, ainda assim, sujeita a falhas na proteção. As mais comuns são a destruição de pequenos trechos do revestimento das fachadas de edifícios ou de quinas da edificação ou ainda de trechos de telhados. É comum a ocorrência do deslocamento das telhas provocado pela movimentação do ar criada durante uma descarga atmosférica.

Não é função do SPDA proteger equipamentos conectados à rede elétrica de energia ou de sinal. Mesmo uma descarga captada e conduzida à terra com segurança, poderá produzir forte interferência eletromagnética, capaz de danificar estes elementos. Para sua proteção, deverá ser elaborado um projeto, específico para adequação da instalação elétrica e colocação de DPSs – Dispositivos de Proteção contra Surtos. Os sistemas de proteção elaborados de acordo com a NBR-5419:2005 da ABNT visam à proteção de pessoas, estruturas e edificações contra as descargas atmosféricas que as atinjam de forma direta. Já a proteção contra impactos indiretos causados pelos raios deve seguir a NBR-5410:2008.

É de fundamental importância que após a instalação de um SPDA, sejam programadas inspeções e manutenções periódicas a fim de garantir sua confiabilidade. São também recomendadas inspeções preventivas após reformas que possam alterar o sistema e toda vez que a edificação for atingida por descarga direta.

OBJETIVO

Este documento tem por finalidade orientar e direcionar as ações referentes a proteções contra descargas atmosféricas, VISANDO PROTEGER OS RECURSOS HUMANOS E MATERIAIS DA EMPRESA. Suas prescrições devem ser atentamente observadas, pois para determinadas situações de interesse da SABESP foram adotadas medidas mais restritivas do que aquelas que constam das normas vigentes.

ÍNDICE

GRUPO DE TRABALHO 3
APRESENTAÇÃO 4
CONSIDERAÇÕES INICIAIS 5
OBJETIVO 6

1. INTRODUÇÃO 9

2. SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGA ATMOSFÉRICA – SPDA 10
2.1. AVALIAÇÃO DA NECESSIDADE DE PROTEÇÃO 10
2.2. NÍVEIS DE PROTEÇÃO 13
2.3. SUBSISTEMAS DO SPDA 14
2.3.1. SUBSISTEMA DE CAPTAÇÃO 14
2.3.1.1. OS CAPTORES RADIOATIVOS 15
2.3.1.2. PROCEDIMENTO PARA MANUSEIO E ACONDICIONAMENTO DE CAPTORES RADIOATIVOS 16
2.3.1.3. TRANSPORTE DE INVÓLUCRO CONTENDO CAPTORES RADIOTIVOS 17
2.3.1.4. PROCEDIMENTOS PARA ENTREGA DOS CAPTORES RADIOATIVOS JUNTO À CNEN 18
2.3.2. SUBSISTEMA DE DESCIDA 18
2.3.3. SUBSISTEMA DE ATERRAMENTO 19
2.4. CONCEITOS DE RESISTIVIDADE DO SOLO 21
2.4.1. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE MEDIÇÃO POR CONTATO (ARRANJO DE WENNER) 21
2.4.2. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS 24
2.5. REGRAS PARA EQUALIZAÇÕES DOS POTENCIAIS (OU EQUIPOTENCIALIZAÇÃO) 24
2.6. PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM ÁREAS ABERTAS 26
2.7. PADRONIZAÇÃO DA SIMBOLOGIA 27
2.8. COMO ELABORAR UM PROJETO DE SPDA 28
2.9. GUIA DE INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO 28
2.9.1. OBJETIVOS DA INSPEÇÃO 28
2.9.2. ORDEM DAS INSPEÇÕES 28
2.9.3. PERIODICIDADE DAS INSPEÇÕES 29
2.9.3.1. ROTEIRO DE INSPEÇÃO 30
2.10. A RESISTÊNCIA ÔHMICA DO ATERRAMENTO 33
2.11. DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA 34

3. DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS (DPS) 35
3.1. O ATERRAMENTO ELÉTRICO NA PROTEÇÃO CONTRA SURTOS 35
3.2. ESQUEMAS DE ATERRAMENTO 36
3.3. IMPULSO DE CORRENTE 37
3.4. SURTOS DE TENSÃO 39
3.4.1. IMPULSOS ELETROMAGNÉTICOS CAUSADOS POR RAIOS (LIGHTNING ELETROMAGNETIC IMPULSE – LEMP) 41

3.4.2. INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA (ELETROMAGNETIC INTERFERENCE – EMI) 42
3.4.3. COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA (ELETROMAGNETIC COMPATIBILITY) 42
3.4.4. A PROTEÇÃO DOS ETIs CONTRA SURTOS DE TENSÃO 42
3.5. RECURSOS DISPONÍVEIS 43
3.5.1. TIPOS DE COMPONENTES PARA DPSs 43
3.5.1.1. CENTELHADORES 43
3.5.1.2. VARISTORES 46
3.5.1.3. DIODOS 47
3.6. TOPOLOGIA DOS NÍVEIS DE PROTEÇÃO 49

4. ANEXO A 56
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 79

1. INTRODUÇÃO

Raio, relâmpago, faísca, descarga atmosférica, são alguns sinônimos utilizados para definir o fenômeno que se inicia a partir da combinação de ingredientes simples como ar, água e outras tantas partículas. Com temperaturas elevadíssimas, alguns centímetros de espessura e quilômetros de extensão, que gera tensões e correntes da ordem de centenas de milhares de volts e de ampéres respectivamente e que pode causar sérios danos, inclusive levar uma pessoa à morte sem mesmo atingí-la diretamente.

Após tantas civilizações o homem acabou descobrindo que o raio é, basicamente, ”corrente elétrica” e por isso deverá ser conduzido o mais rápido e da melhor maneira possível para o solo, minimizando seus efeitos destrutivos e que a melhor forma de se proteger contra tamanha força da natureza é manter-se em local fechado durante as tempestades. Como isso nem sempre é possível e principalmente, quanto aos recursos materiais e equipamentos que ficam geralmente expostos ou em prédios e instalações passíveis de serem atingidas por estas descargas, foram criados sistemas para minimizar seus efeitos danosos. A estes sistemas foi dado o nome de SPDA - Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas.

2. SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (PARA-RAIOS) - SPDA

No Brasil, a decisão de se proteger estruturas contra os raios pode ser por:
• Exigência legal, neste caso cabe às Secretarias de Obras Municipais determinarem quais os tipos de estruturas deverão ser protegidas, ou ainda por exigência de normas regulamentadoras do MTE, no caso a NR-10;
• Para obtenção de certificações de qualidade, ambiental ou de segurança;
• Por exigência de companhias de seguro, relacionando esta proteção a incêndios, perdas físicas ou patrimoniais;
• Precaução, quando um proprietário, mesmo isento de obrigações legais quer proteger seu patrimônio;

Para qualquer que seja o caso as normas devem fornecer subsídios aos legisladores, proprietários e agentes fiscalizadores para que estes possam decidir quanto à necessidade da proteção. Caso as leis não especifiquem quais as estruturas devem obrigatoriamente ser protegidas, deverá ser empregado o método que exporemos a seguir, que consta do anexo B da NBR-5419:2005.

2.1. AVALIAÇÃO DA NECESSIDADE DA PROTEÇÃO:

Consideremos como exemplo, a vista em planta de uma torre de seção circular. Nesse caso a equação para calcularmos o número de raios (N_{dc}) que essa torre receberia em um ano seria:

$$N_{dc} = \pi . r^2 . N_g . 10^{-6} \quad \text{(Raio/ano)},$$

onde:

N_g = densidade de raios da região (raios/km^2/ano);
r = raio da seção transversal da torre (m)

e:

$$N_g = 0{,}04 . I^{1{,}25}$$

O coeficiente I deve ser retirado do Mapa Isocerâunico existente na NBR5419. O mapa mostrado a seguir é uma fragmentação para o estado de São Paulo do mapa citado.

Figura 1: Mapa isocerâunico

Porém para o cálculo de "N_{dc}" deve ser considerada a altura da estrutura, uma vez que se olharmos a mesma de forma lateral, é razoável supor que por sua altura, alguns raios que incidiriam em suas proximidades, serão interceptados por ela.

A NBR-5419 considera que a área de exposição (A_e) deve ser a área da estrutura vista em planta, quando considerada a influência da altura da mesma:

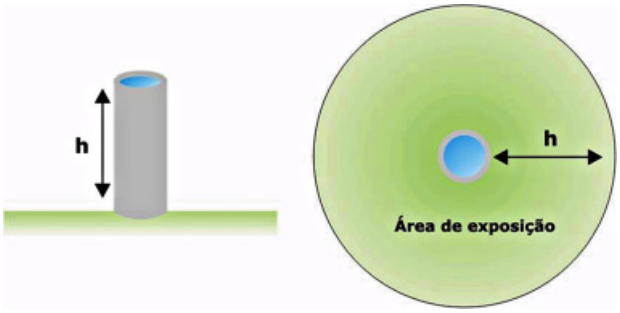


Figura 2: Área de exposição de uma torre de seção transversal circular

Sendo assim, teremos:

$$A_e = \pi.(r + h)^2$$

De forma análoga, se condiderarmos uma estrutura paralelepípidica de base igual a (a.b), teremos:

$$A_e = a.b + 2.(a+b) + \pi.h^2$$

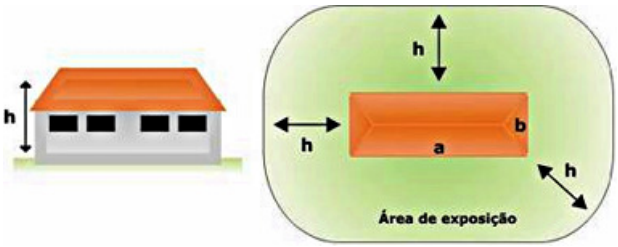


Figura 2a: Área de exposição de uma estrutura paralelepípidica

Tendo a área de exposição A_e e a densidade de raios à terra N_g, calcula-se a probabilidade de incidência de raio sobre a estrutura N_d utilizando-se a expressão:

$$N_d = A_e . N_g . 10^{-6} \text{ (raios / ano na edificação)}$$

Finalmente a necessidade de proteção poderá ser definida através da expressão:

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

onde: os coeficientes de **A** a **E** podem ser encontrados nas tabelas a seguir:

Tipo de Ocupação:	Fator A:
Casas	0,3
Casas com antena externa	0,7
Fábrica, laboratórios	1
Escritórios, hotéis, Apartamentos	1,2
Museus, exposições, shopping centers, estádios	1,3
Escolas, hospitais	1,7

Figura 3: Fator a – tipo de ocupação da estrutura

Característica do Material de Construção:	Fator B:
Metal revestido, cobertura não metálica	0,2
Concreto, cobertura não metálica	0,4
Metal ou concreto, cobertura metálica	0,8
Alvenaria	1
Madeira	1,4
Alvenaria ou madeira com cobetura metálica	1,7
Cobertura de palha	2

Figura 4: Fator b – tipo de material utilizado na construção da estrutura

Se: $N_{dc} < 10^{-5}$ → PROTEÇÃO DESNECESSÁRIA;

$N_{dc} > 10^{-3}$ → PROTEÇÃO NECESSÁRIA;

$10^{-3} > N_{dc} > 10^{-5}$ → A OPÇÃO PELA NÃO INSTALAÇÃO DO SPDA DEVE SER MUITO BEM ANALISADA E TECNICAMENTE JUSTIFICADA. ESTA JUSTIFICATIVA DEVE CONSTAR DO MEMORIAL DO PROJETO.

Conteúdo:	Fator C:
Comum, sem valor	0,3
Sensível a danos	0,8
Subestações , gás, rádio/ TV/ telefônica	1
Museu, monumentos, valores especiais	1,3
Escolas, hospitais	1,7

Figura 5: Fator c – conteúdo da estrutura

Localização:	Fator D:
Rodeado por árvores	0,4
Semi-isoladas	1
Isolada	2

Figura 6: Fator d – localização da estrutura

Topografia:	Fator E:
Planície	0,3
Colina	1
Montanha, 300 a 900m	1,3
Motanha, acima de 900m	1,7

Figura 7: Fator e – topografia da região

2.2. NÍVEIS DE PROTEÇÃO

Neste item a NBR 5419:2005 classifica as edificações ou estruturas em quatro níveis de risco de danos causados por raios, sendo:

Nível I: risco muito elevado;
Nível II: risco elevado;
Nível III: risco aceitável;
Nível IV: baixo risco.

Tipo de Edificação	Nível de Proteção
Estruturas nas quais uma falha do sistema de proteção pode causar danos às estruturas vizinhas ou ao meio ambiente. Ex.: Depósitos de explosivos, fábricas ou depósitos de produtos tóxicos ou radioativos, indústrias com áreas classificadas e outros.	I
Estruturas cujos danos em caso de falha serão elevados, grande quantidade de ETIs ou haverá destruição de bens insubstituíveis e/ou de valor histórico. Em qualquer caso, o dano deve ser restringido á estrutura e seu conteúdo. Incluir também casos de locais com grande aglomeração de público, havendo risco de pânico. Ex.: Museus, ginásios esportivos, praças, parques, etc.	II
Estruturas de uso comum. Ex.: Residências, escritórios, fábricas (Excluídas aquelas com áreas classificadas) e outras.	III
Estruturas construídas de material não inflamável, com pouco acesso de pessoas, e com conteúdo não inflamável. Ex.: Depósitos em concreto armado, alvenaria ou estrutura metálica de produtos agrícolas não inflamáveis.	IV

Figura 8: Tabela dos níveis de proteção

A constante busca da SABESP pela segurança, tanto pessoal quanto patrimonial exige uma análise crítica da tabela acima no que concerne a atribuição do nível de proteção. Para estruturas que contenham grande quantidade de ETIs* deve ser adotado, no mínimo, o nível II de proteção mesmo que as características da mesma induzam à escolha do nível III. Ainda, estruturas e edificações que, ao serem atingidas por raios, possam por qualquer motivo afetar o funcionamento do fornecimento dos serviços da SABESP devem ter proteção dimensionada considerando-se o nível I.

* Cabe aqui a informação que desde a revisão de 2004 da NBR 5410, ETI deixou de ser uma simples denominação (Equipamento de Tecnologia da Informação) passando a ser um conceito, a saber: Equipamento concebido com o objetivo de receber dados de uma fonte externa (por exemplo, linha de entrada de dados), ou processar os dados recebidos (por exemplo, executando cálculos, transformando-os ou arquivando-os) ou ainda, fornecer dados de saída (seja a outro equipamento, seja reproduzindo-os).

2.3. SUBSISTEMAS DO SPDA

2.3.1. SUBSISTEMA DE CAPTAÇÃO (Item 5.1.1 da NBR-5419:2005):

Tem como função receber as descargas que incidam sobre a edificação e distribuí-las pelas descidas. É composto por elementos condutores verticais ou horizontais, devidamente dimensionados.

Na NBR 5419:2005, são adotados três métodos de dimensionamento:

Método do ângulo de proteção ou de Franklin.

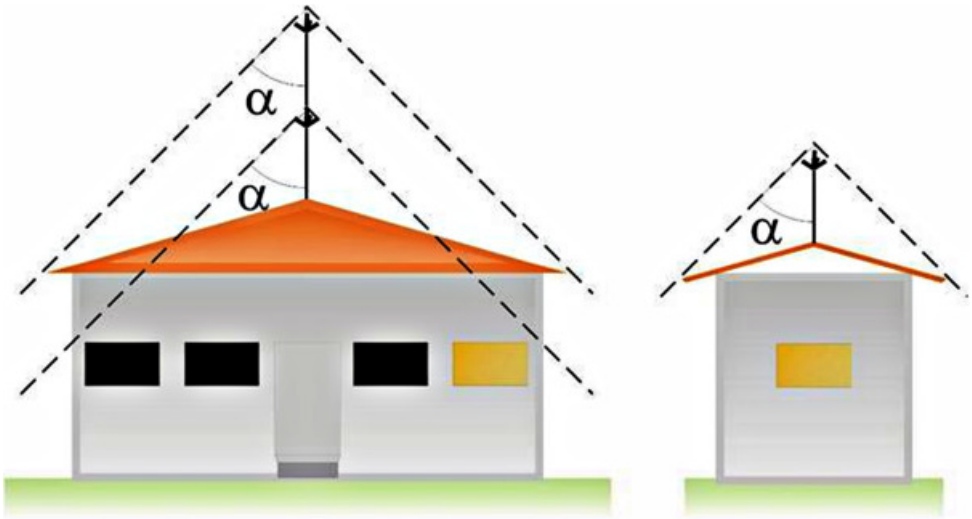
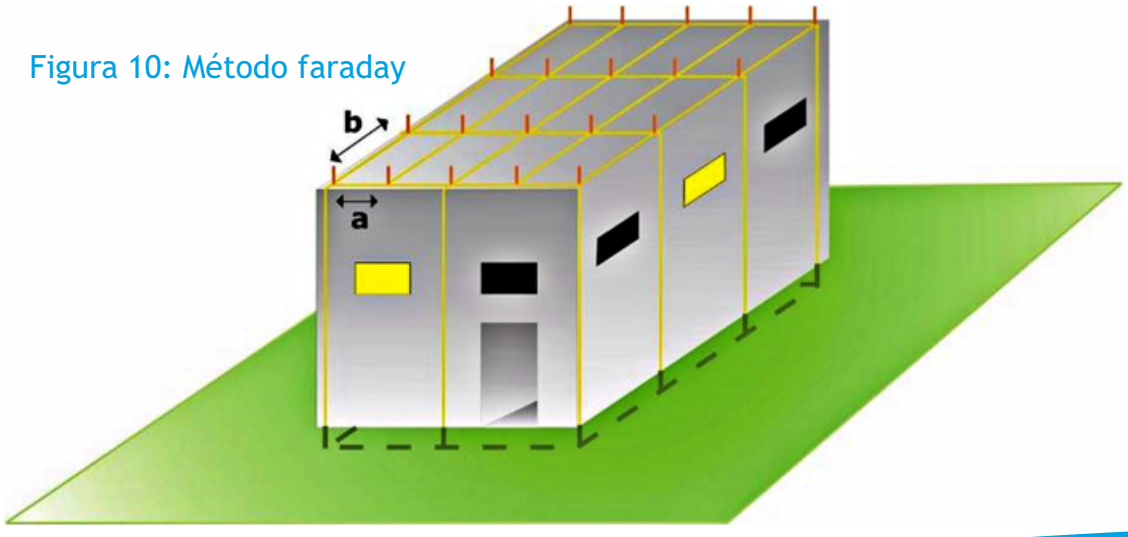


Figura 9: Método franklin

O método Franklin, devido às limitações impostas pela tabela 1 da NBR 5419:2005 tem sido cada vez menos utilizado, ficando seu uso restrito a edificações de pequeno porte ou aplicações específicas.

Método das Malhas ou de Faraday.

Figura 10: Método faraday



Composto por módulos fechados de condutores, cujas dimensões constam da tabela de dimensionamento (figura 16), o método de Faraday pode ser aplicado com maior eficiência em estruturas que tenham grandes dimensões tanto na largura quanto no comprimento.

• Método do Modelo Eletrogeométrico (EGM) ou da Esfera Rolante.

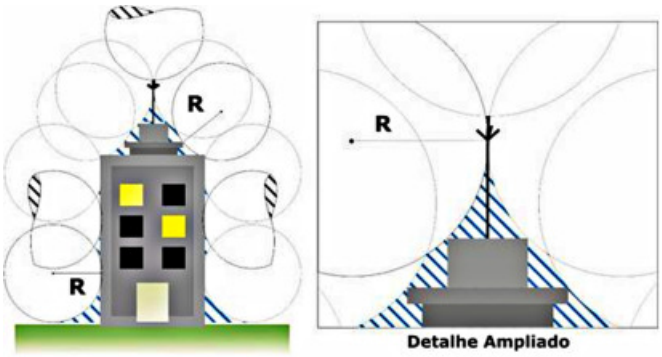


Figura 11: Método EGM

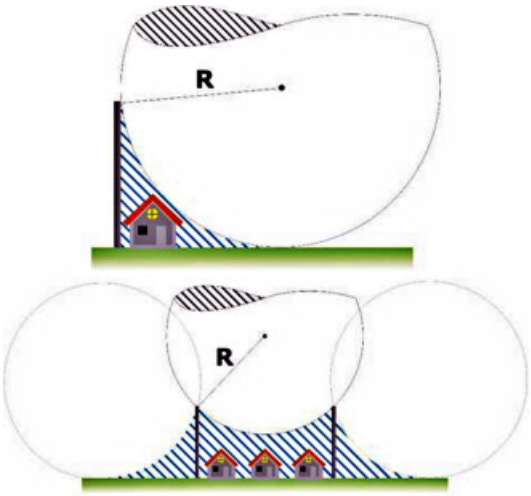


Figura 12: Método EGM

O método EGM consiste teoricamente em se rolar uma esfera fictícia por todas as partes externas da edificação. Esta esfera terá seu raio definido em função do nível de proteção.

Os locais onde a esfera toca na edificação são os locais mais preferenciais para o impacto direto dos raios. Resumindo, poderemos dizer que: “os locais onde a esfera toca, os raios também podem tocar”. Portanto devemos proteger esses locais através da instalação de condutores pertencentes ao SPDA, de modo que a disposição dos seus elementos não permita que a tangente da esfera fictícia toque a edificação ou a estrutura a ser protegida.

2.3.1.1. OS CAPTORES (PARA-RAIOS) RADIOATIVOS

A maior eficácia em relação ao aumento do raio de proteção no subsistema de captação quando utilizados captores radioativos em relação aos convencionais não foi tecnicamente comprovada, contrariando assim o princípio da justificativa de sua utilização: "Qualquer atividade envolvendo radiação ou exposição deve ser justificada em relação a alternativas a produzir um benefício líquido positivo para a sociedade".

Portanto a resolução CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear, 04/89 de 19/04/89 - Publicada no D.O.U. - Diário Oficial da União, em 09/05/89, estabeleceu um prazo até 1993 para que todos os captores radioativos fossem retirados e encaminhados àquela Comissão.

Sendo assim, desde 1993, captores radioativos compondo o subsistema de captação de um SPDA, por si só, já constituem uma não conformidade com a NBR-5419:2005 e uma ilegalidade segundo a resolução acima citada.

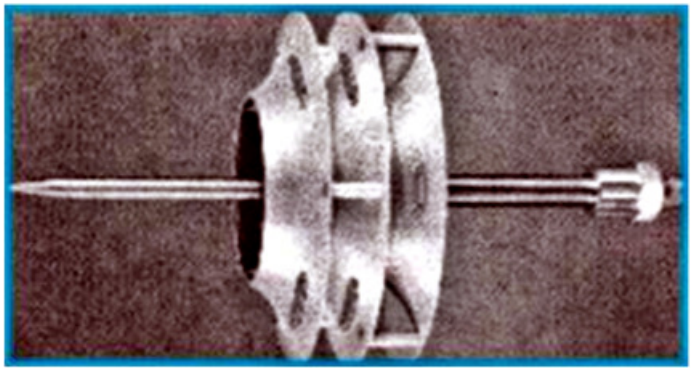


Figura 13: Tipo de captor radioativo

2.3.1.2. PROCEDIMENTO PARA MANUSEIO E ACONDICIONAMENTO DE CAPTORES RADIOATIVOS

• Utilizar, conforme o caso, uma ou mais embalagens metálicas robustas, p.ex.: tambores metálicos com tampa de fechamento por cintas, com capacidade mínima de 38 litros (0,36 m de diâmetro e 0,43m de altura), devendo o sistema de fechamento garantir a vedação da embalagem em condições normais de transporte;

• O manuseio deverá ser feito com luvas de borracha, saco plástico, fita adesiva, rótulo com simbologia apropriada e os dizeres "MATERIAL RADIOATIVO", material absorvedor de impacto (isopor ou jornal fragmentados);

• Colocar, uniformemente, uma camada de material absorvedor de impacto no fundo da embalagem;

• Colocar o saco plástico no interior da embalagem;

• Abrir o saco plástico e utilizar a parte superior do mesmo, que deverá ser utilizado em excesso, para revestir as bordas da embalagem;

• Calçar as luvas;

• Colocar o captor radioativo no interior da embalagem;

Retirar as luvas do seguinte modo:

• Descalçar parcialmente os dedos de ambas as mãos;

• Retirar uma luva e colocá-la no interior do saco plástico;

• Introduzir dois dedos da mão descalçada entre a luva e a pele da mão calçada;

• Deslocar com os dedos a luva, até que haja condições de removê-la totalmente. (Nunca colocar a mão sem luva em contato com a parte externa de uma luva que manipulou material radioativo);

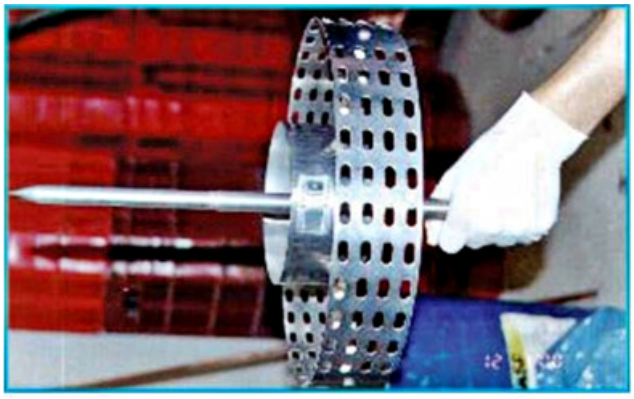
• Segurar a luva pela parte interna e colocá-la no interior do saco plástico.

• Retirar a parte superior do saco colocada sobre as bordas da embalagem e fechar o mesmo utilizando fita para amarrá-lo.

• Manter o dispositivo, contido no saco, no centro da embalagem e preencher os espaços vazios com o material absorvedor de impacto (esse material deverá também ser distribuído no espaço entre a tampa da embalagem e a parte superior do saco já fechado).

• Inserir os rótulos com os dizeres "Material Radioativo" no interior da embalagem metálica em local visível quando da abertura da mesma e também em sua face externa.

• Fechar o invólucro metálico (tambor).



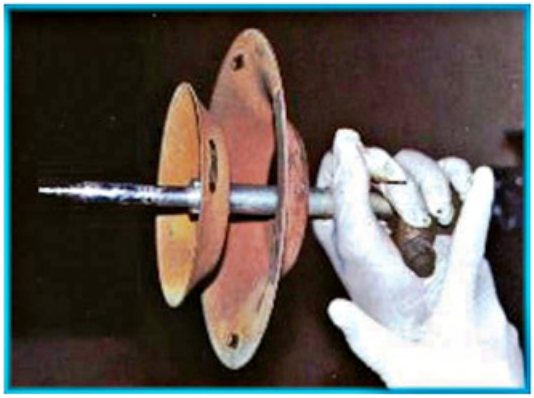


Figura 14: Tipos e manuseio de captores radioativos.

2.3.1.3. TRANSPORTE DE INVÓLUCRO CONTENDO CAPTORES RADIOATIVOS

Os documentos que acompanham o transporte de invólucro contendo para-raios radioativos são:

• Certificado de aprovação especial para invólucro e transporte de captores contendo o elemento radioativo Am-241 (Amerício);

• Declaração de Expedidor do Material Radioativo;

• Ficha de Emergência.

• Envelope de transporte.

• Completar o preenchimento dos documentos de transporte com os dados pertinentes à Sabesp;

• O invólucro selecionado para o transporte de captores radioativos não deve ser enviado por correio.

• Telefones de emergência fornecidos pela CNEN em 2010.

IMPORTANTE: A atualização desses números deve ser verificada antes do início da operação de retirada dos para-raios radioativos:

• Plantão de emergência do IPEN: (11) 8447-3842;

• CNEN/IPEN/SP (proteção radiológica): (11) 3816-9226;

• CNEN/RJ: (21) 9218-6602/2173-2001/2173-2621;

• Polícia: 190;

• Defesa civil: 199;

• Corpo de bombeiros: 193.

2.3.1.4. PROCEDIMENTOS PARA ENTREGA DOS CAPTORES RADIOATIVOS JUNTO À CNEN

• Redigir o protocolo de entrega em 02 (duas) vias:
-1a Via SABESP;
-2a Via CNEN.

• Ligar para a divisão de radio-proteção da CNEN – IPEN, na Cidade Universitária e marcar hora para a entrega do(s) captor(es) com pelo menos um dia de antecedência, pelo telefone (11) 3816-9241 ou pelo Fone-Fax (11) 3816-9240, números fornecidos pela CNEN em 2010.

• Levar envelope de transporte contendo:
-Ficha de emergência;
-Certificado de Aprovação especial para Invólucro e Transporte de para-raios contendo o Am-241;
-Declaração de Expedidor do Material Radioativo.

• Entregar na CNEN o certificado para despacho e declaração do expedidor (ambos assinados).

• Pegar recibo comprovando a entrega do(s) captor(es) e as cópias dos protocolos (ambos assinados).

Todos os esclarecimentos e informações complementares deverão ser obtidos junto à CNEN, na Cidade Universitária, São Paulo.

2.3.2. SUBSISTEMA DE DESCIDA (Item 5.1.2 da NBR-5419:2005)

Parte do SPDA que é destinada a conduzir a corrente elétrica de descargas atmosféricas desde o subsistema de captação até o subsistema de aterramento. Os componentes deste subsistema podem também estar embutidos na parede da edificação ou ser parte integrante da armadura da estrutura do concreto, desde que esta possua continuidade elétrica suficiente. Para verificação desta continuidade elétrica é necessário conhecer a construção das armações e saber se nesta foram conectadas as armaduras de acordo com o especificado na norma ou realizar medições de continuidade elétrica.

Esta medição deve ser realizada em vários trechos da estrutura de forma a assegurar que esta tem condições de conduzir as correntes dos raios. Para tanto deve ser utilizado um microhmimetro, que tenha capacidade de injeção mínima de corrente elétrica de ensaio igual a 1A. A resistência máxima de contato permitida por trecho analisado, segundo o anexo E da NBR 5419:2005 é de 1Ω.

Para dimensionar-se o número de descidas de modo convencional, deve ser observada a coluna "espaçamento entre descidas" da tabela de dimensionamento. Toma-se o perímetro real da edificação, divide-se pelo número encontrado na tabela de dimensionamento, em função do nível de proteção. O número de descidas encontrado deve ser dividido equidistantemente pelo perímetro da edificação. Iniciar o posicionamento das descidas preferencialmente pelas quinas da mesma.

Quando as armaduras dos pilares forem utilizadas como condutores naturais de descida, todos os pilares da periferia que estejam amarrados às fundações e cheguem ao topo da estrutura devem ter esses pontos de chegada interligados ao subsistema de captação. Para o caso específico da utilização da armação de aço embutida no concreto que não esteja localizada em pilares, por exemplo: paredes de reservatórios a SABESP requer a adoção do nível I de proteção para a determinação do número de interligações entre o subsistema de captação e os vergalhões de aço que serão utilizados como descida natural.

INDEPENDENTEMENTE DO NÍVEL DE PROTEÇÃO ADOTADO E DO PERÍMETRO CALCULADO DEVEM SER INSTALADAS, NO MÍNIMO, DUAS DESCIDAS EM UMA EDIFICAÇÃO.

2.3.3. SUBSISTEMA DE ATERRAMENTO (Item 5.1.3 da NBR-5419:2005)

O aterramento está presente em diversos sistemas de proteção dentro de uma instalação elétrica: proteção contra choques elétricos (NBR-5410:2008, item 5.1), contra descargas atmosféricas (NBR-5419:2005, item 5.1.3), contra sobretensões, proteção de linhas de sinais, equipamentos eletrônicos, telecomunicações (NBR-14306:1999) e proteções contra descargas eletrostáticas (NBR-5410:2008, item 6.4).

Normalmente, estuda-se cada proteção mencionada separadamente, o que pode induzir a um erro de interpretação de que trata-se de eletrodos separados.

Isto não é verdade. Para efeito de estudo e compreensão, é conveniente separar os casos, porém, para um efetivo e confiável funcionamento das instalações elétricas, sua consequente proteção e das pessoas por ela servidas, o que deve existir é **UM ELETRODO DE ATERRAMENTO ÚNICO POR EDIFICAÇÃO OU ESTRUTURA. A INTERLIGAÇÃO DESSES ELETRODOS DEVE SER ESTUDADA CASO A CASO, PORTANTO, O ELETRODO DE ATERRAMENTO PARA QUALQUER FINALIDADE (PROTEÇÃO PESSOAL, DA INSTALAÇÃO ELÉTRICA E DE EQUIPAMENTOS) DEVE SER ÚNICO PARA CADA EDIFICAÇÃO OU ESTRUTURA.**

NOTA: Entende-se por eletrodo de aterramento todo o elemento condutor de corrente elétrica que esteja enterrado no solo. Este elemento pode ter a função específica de atender a instalação elétrica ou não.

A tabela de seções mínimas dos materiais especifica a bitola dos cabos do subsistema de aterramento do SPDA que, via de regra, deve ser constituído, pelo menos, por um anel fechado em torno da edificação, distando desta entre um metro e um metro e meio. O condutor deve ser enterrado a, no mínimo, meio metro de profundidade. Caso seja verificada a continuidade elétrica das armaduras das vigas das fundações, através do mesmo método já descrito para as descidas, estas deverão ser utilizadas preferencialmente como eletrodos naturais de aterramento.

A SABESP não aceita como eletrodo de aterramento aquele conhecido como "pontual", ou seja, qualquer tipo de configuração de eletrodo, por exemplo: hastes engastadas, em delta, ou radiais (pé de galinha) ou ainda que não esteja posicionado sob (envolvendo) a estrutura a ser protegida. Obrigatoriamente o eletrodo deve circundar todo o perímetro da edificação formando um anel. As hastes ou quaisquer tipos de eletrodos verticais ou inclinados, na sua mais variada configuração devem ter função complementar ao anel de aterramento.

A NBR 5419:2005 é o documento aceito por órgão de certificação ou que complementa leis nacionais, por exemplo, a NR-10, estabelecendo condições mínimas de proteção, portanto, nenhum outro método de dimensionamento poderá ser utilizado quando além de segurança, se desejar obter respaldo legal tanto no projeto, quanto na instalação de um subsistema de aterramento para o SPDA.

Nível de Proteção	Raio da Esfera (m) R=	Ângulo de Proteção (α) (Franklin)					Módulo da Malha (m) b ≤ 2a	Espaçamento entre Descidas (m)	Eficiência do S.P.D.A. (%)
		h=20m	21⩾h⩾29 (m)	30⩾h⩾44 (m)	45⩾h⩾59 (m)	h⩾60m			
I	20	25º	A	A	A	B	a=5	10	98
II	30	35º	25º	A	A	B	a=10	15	95
III	45	45º	35º	25º	A	B	a=10	20	90
IV	60	55º	45º	35º	25º	B	a=20	25	80

A= Aplicar somente Método das Malhas ou Esfera Rolante
B= Aplicar somente Método das Malhas
h= Altura do Captor
α= Ângulo de Proteção (Franklin)
a= Largura do Módulo
b= Comprimento do Módulo

Módulos a serem adotados para o Método das Malhas

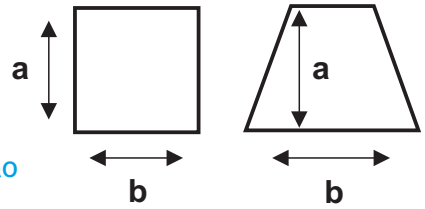


Figura 15: Dados para de dimensionamento da captação

Secções Mínimas dos Materiais							
Nível de Projeção	Material	Captação mm²	Descidas com h ≤ 20m mm²	Descidas com h >20m mm²	Aterramento mm²	Equalizações Alta Corrente mm²	Equalizações Baixa Corrente mm²
I a IV	Cobre	35	16	35	50	16	6
	Alumínio	70	25	70	–	25	10
	Aço	50	50	50	80	50	16

Figura 16: Seções mínimas dos materiais

NPQ - Não haverá ponto quente
NPF - Não haverá perfuração
PPF - Pode haver perfuração

Nível de Proteção	Material	Espessura da chapa metálica				
		Captação			Descidas	Aterramento
		NPQ	NPF	PPF		
I a IV	Cobre	5	2,5	0,5	0,5	0,5
	Alumínio	7	2,5	0,5	0,5	–
	Aço	4	2,5	0,5	0,5	5

Figura 17: Espessura de chapas metálicas

2.4. CONCEITOS DE RESISTIVIDADE DO SOLO (NBR-7117:2011)

Antes de tomarmos qualquer decisão em termos de projeto, (antes do início da execução de qualquer tipo/parte de construção da edificação no local a ser ensaiado) e / ou instalação de um eletrodo de aterramento, é fundamental conhecermos a resistividade do solo. O método de ensaio utilizado pela SABESP para determinação da resistividade do solo é o "Método de medição por contato com o arranjo de Wenner". Este método consta da NBR 7117:2011. A resistividade do solo é o parâmetro que nos auxilia a conhecer a resistência do eletrodo de aterramento (quando na dispersão de correntes em baixas freqüências ou sua impedância quando submetido a correntes impulsivas.

A resistividade do solo é definida como a resistência entre as faces opostas (ambas metálicas) de um cubo de aresta unitária, preenchido com material retirado do local. Depende do tipo, umidade, temperatura, salinidade, contaminação e compactação do solo, entre outras variáveis. Todos os conceitos e aplicações ligados à resistividade do lasolo encontram-se na NBR 7117:2011 e devem ser aplicados quando necessário, como complemento às informações contidas neste manual.

Na tabela abaixo apresentamos valores típicos de resistividade do solo (p) em Ohm x metro (Ω . m).

Tipo de Solo	Resistividade (Ω . m)
Água do mar	Menor que 10
Alagadiço, limo, humus, lama	Até 150
Água destilada	300
Argila	300 a 5000
Calcário	500 a 5000
Areia	1000 a 8000
Granito	1500 a 10000
Basalto	A partir de 10000
Concreto A categoria molhado é típica de aplicação e ambientes externos. Valores inferiores a 50 Ω.m são considrados altamente corrosivos	Molhado: 20 a 100 Úmido: 300 a 1000 Seco: 3k a 2 M

Figura 18: Valores típicos de resistividade do solo

2.4.1. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE MEDIÇÃO POR CONTATO (ARRANJO DE WENNER)

Quatro eletrodos devem ser cravados firmemente no solo, alinhados e dispostos simetricamente em relação a um ponto de origem (A) e espaçados entre si por uma distância (d), todos a uma mesma profundidade(p).

Pelos eletrodos externos faz-se circular corrente (I) e, entre os dois eletrodos internos, é medida a tensão (V). A relação (V/I), nos fornecerá a resistência (R) em ohm (Ω), com a qual é calculada a resistividade do solo até uma profundidade aproximadamente igual à distância (d) entre os eletrodos, segundo a equação:

$$\rho = \frac{4.\pi.d.R}{1+\frac{2.d}{\sqrt{d^2+4.p^2}}-\frac{d}{\sqrt{d^2+p^2}}} \ (\Omega.m)$$

Se $p \leqslant d/10$, a fórmula pode ser simplificada para:

$$\rho = 2.\pi.d.R \ (\Omega.m)$$

Por exemplo, se o espaçamento (d) for de 4 metros e os eletrodos forem cravados (p) a 20 cm, a fórmula simplificada pode ser utilizada, mas se o espaçamento for de 1 metro, ter-se-ia que cravar o eletrodo com menos de 10 cm, o que geralmente não é suficiente para ter um contato adequado entre o eletrodo de ensaio e o solo.

Um conjunto de leituras em linha geralmente tomadas para d= 1, 2, 4, 8, 16, 32 e se o local permitir, até 64 e 128 m, indica como varia a resistividade do solo em função da profundidade. Podem ser utilizadas distâncias intermediárias entre eletrodos desde que repetidas durante todo o ensaio.

Notar que a resistência de contato dos eletrodos de potencial, pode influenciar nos resultados. Em alguns instrumentos há compensação automática para tais influências, em outros podemos ajustar esses valores. Via de regra, os fabricantes dos instrumentos fornecem nos catálogos dos produtos as informações necessárias. Comumente este ensaio é feito com um terrômetro de quatro pontos.

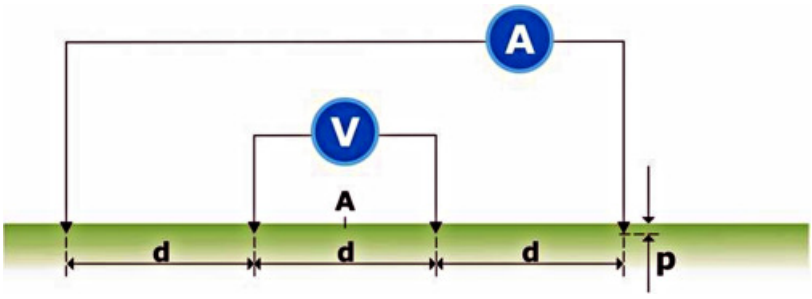


Figura 19: Circuito elementar conceitual

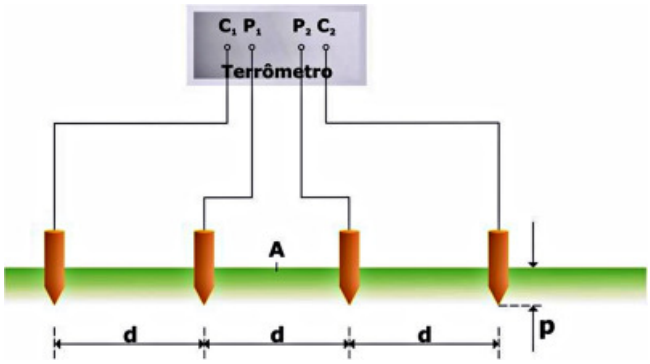


Figura 20: utilização do terrômetro de 4 pontos para medições de campo. arranjo de wenner.

As medições de resistividade devem cobrir toda a área em que o eletrodo for instalado. O número de pontos onde deverão ser efetuadas estas medições é função das dimensões do terreno.

A SABESP adota a configuração abaixo para uma área de até 20.000m², conforme a NBR 7117:2011. A partir da análise dos resultados obtidos no local, podem ser necessárias medições com outras configurações. Caso necessário a norma mencionada deve ser consultada e o arranjo correspondente, utilizado. As alterações devem ser informadas em projeto. Em terrenos com dimensões maiores basta fracionar o terreno e repetir as configurações adotadas. As condições ideais do terreno para se realizar a medição são de terreno seco, terraplenado e compactado, livre de interferências externas. Quando possível efetuar mais de uma medição de resistividade em épocas diferentes do ano. Em caso de medição única esta deve ser executada em época seca do ano, ou pelo menos após um período mínimo de dias sem chuva que garanta um solo livre da saturação de água.

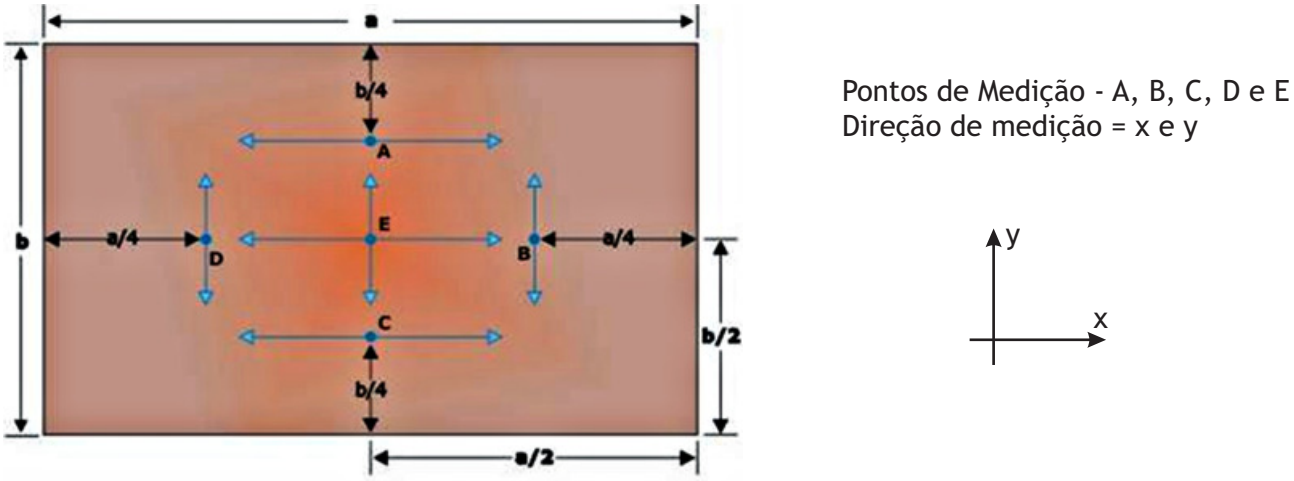


Figura 21: Disposição dos pontos no terreno e direção das medições

Além da área, outros aspectos devem ser observados na determinação do número de medições, são eles:

• As variações nas características do solo local, devendo-se medir separadamente a resistividade nos diferentes tipos de terreno existentes;

• As variações entre os resultados obtidos nas diversas linhas de medição para uma mesma distância entre eletrodos. Quanto maior a discrepância entre os resultados, maior deve ser o número de linhas de medição;

• Pontos de uma mesma área em que sejam obtidos valores de resistividade com desvio superior a 50% em relação ao valor médio das medições realizadas podem vir a caracterizar uma subárea específica, devendo ser realizadas medições complementares ao seu redor, para ratificação do resultado; se isso não for possível, considerar a conveniência de descartar a linha de medição;

No caso de aterramentos em linhas de transmissão e distribuição e subestações unitárias, as medições devem ser efetuadas nas direções dos eixos das mesmas.

Para se medir resistividade do solo próximo a subestações, linhas de transmissão, elementos condutores enterrados ou cercas aterradas deve ser observada uma distância mínima de 1,5.d desses elementos quando a linha de medição for disposta perpendicularmente a eles e 1.d quando a linha de medição estiver disposta de forma não ortogonal ao aterramento.

A presença de elementos metálicos enterrados próximo às áreas de medição pode ocasionar erros sensíveis nos valores obtidos. Um dos fatores que indica a presença de interferências externas pode ser caracterizado pela não variação do valor da resistência medida para os diversos espaçamentos.

Devem ser considerados os seguintes fatores na análise de risco prévia ao ensaio:

• Não fazer medições sob condições atmosféricas adversas, tendo-se em vista a possibilidade da incidência de raios;

• Utilizar Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) compatíveis com o tipo e o local da medição a ser realizada;

• Evitar que pessoas estranhas e animais se aproximem do local;

• Não tocar nos eletrodos durante a medição.

2.4.2. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

O relatório de medições deve conter um grande número de informações consideradas úteis para o projeto do eletrodo de aterramento, tais como:

• Tipo do solo, (terraplenado, compactado);

• Características da camada visível (visível);

• Interferências encontradas;

• Umidade do solo;

• Clima em que se deu a medição (chuvoso ou seco);

• Identificar com um croqui na planta baixa do local as direções em que foram realizadas as medições.

Informações mínimas para Cálculo de Resistência do Solo						
d (m)	p (m)	R (Ω)	v (v)	I (A)	ρa (Ωm)	Obs:
1						
2						
4						
8						
16						
32						
64						

Características do Solo		
Terraplanado:	Sim	Não
Compactado - Se possível informar data:___/___/___	Sim	Não
Tipo de camada superficial:		
Estado aparente de umidade:	Seco	Úmido
Época do ano:_____Data:___/___/___	Seca	Chuvosa
Interferências encontradas:		

Figura 22: Tabela para levantamento de dados da resistividade do solo

A interpretação dos resultados obtidos no campo é a parte mais crítica do processo e consequentemente, necessita maiores cuidados na sua validação. A variação da resistividade do solo pode ser grande e complexa em função da sua heterogeneidade. Exceto para alguns casos é essencial estabelecer uma equivalência simples com os valores apresentados na tabela da figura 19 para a estrutura do solo.

2.5.REGRAS PARA EQUALIZAÇÕES DOS POTENCIAIS (OU EQUIPOTENCIALIZAÇÃO)

A palavra equipotencialização agrega um conceito assim definido: Conjunto de medidas a serem tomadas para minimizar as diferenças de tensão a níveis suportáveis pelas instalações elétricas, equipamentos e pessoas por elas servidas.

1. As descidas do SPDA devem ser dispostas ao longo do perímetro da edificação, de maneira uniforme e eqüidistante, preferencialmente nos cantos;

2. Todas as partes metálicas existentes na cobertura, inclusive e principalmente os mastros das antenas de TV, radiocomunicação e transmissão de dados devem ser interligados ao subsistema de captação evitando centelhamentos perigosos. Para os casos onde a realização dessa interligação não seja possível deve-se proteger o elemento contra impacto direto dos raios e fazer valer as distâncias de segurança contidas em 5.2.2 na NBR 5419:2005;

3. Prédios com altura superior a 20m devem possuir anéis intermediários interligados às descidas e às armações do concreto dos pilares ou vigas de amarração, o que estiver mais próximo, devem ser dispostos na edificação a cada 20m de altura a partir do nível do piso;

4. O aterramento deve ser em anel (Arranjo B, item 5.1.3.3.3, da NBR-5419:2005) ou preferencialmente utilizando as armaduras da fundação;

5. Todas as tubulações metálicas que entrem na edificação devem ser ligadas ao BEP – Barramento de Equipotencialização Principal. Este BEP deve ser constituído por uma barra de cobre com dimensões que promovam espaço suficiente para as conexões e que sejam compatíveis para suportar os esforços elétricos, térmicos e mecânicos inerentes à corrente elétrica que fluirá pelo mesmo;

6. O BEP deve ser isolado da parede do prédio ou da caixa do QDP – Quadro de Distribuição Principal, por isoladores de porcelana ou resina (Epoxy), e deve ser posicionado o mais próximo do solo possível;

7. O BEP deve ser ligado ao subsistema de aterramento através de uma ligação mais curta e reta possível. Cabos de cobre que possuam proteção contra corrosão devem ter bitola mínima 16 mm^2. Cabos de cobre que não possuam proteção contra corrosão devem ter bitola mínima # 50 mm^2. Essas bitolas podem aumentar quando a esses condutores for agregada a função de drenagem das correntes de curto circuito.

8. Todas as massas metálicas dos equipamentos e aparelhos elétricos que não sejam destinadas especificamente à condução de corrente elétrica devem ser ligadas ao BEP através dos condutores de equipotencialização;

9. Cada edificação deve possuir um BEP. A zona de influência do BEP é de 10m em todas as direções. Quando a ligação exceder esse limite em função das dimensões da edificação, p.ex.: prédios, galpões, etc, deve ser criado um novo barramento. Esse barramento é denominado na NBR-5410:2008 de BEL – Barramento de Equipotencialização Local. O BEL deve ser interligado ao BEP com condutores dimensionados e posicionados de forma a promover uma interligação de baixa impedância. Este tipo de instalação proverá melhor equalização dos potenciais para a proteção dos ETIs, assunto a ser tratado adiante.

10. Todas as instalações elétricas expostas aos efeitos diretos ou indiretos dos raios devem ser protegidas por DPSs – Dispositivos de Proteção contra Surtos, pelo menos, em seu primeiro nível de proteção. Os DPS podem ser ou conter componentes tais como:
Varistores, centelhadores, diodos supressores (taz, transzorb), ou uma associação entre eles;

11. Todos os terminais “terra” dos equipamentos devem ser convenientemente ligados ao BEP ou ao BEL. Em relação ao aterramento dos DPSs deve ser observada a topologia da instalação para se evitar laços (loops) nos circuitos e manter a interligação para a terra sempre a mais curta e retilínea possível;

12. Se alguma tubulação não puder ser diretamente aterrada, p.ex.: por razões de corrosão, ela deverá ser ligada ao BEP com o auxilio de centelhador com característica de corrente IIMP ⩾ 20kA, (10/350)µs. Ver maiores detalhes na seção de proteção contra surtos;

13.Todo o barramento de aterramento existente nos quadros de distribuição (principal, intermediário ou de circuitos terminais), devem ser considerados BEP ou BEL, dependendo da sua localização em relação à entrada dos condutores alimentadores na edificação;

14. Em instalações de telecomunicações, deverá existir uma barra específica, com as mesmas características das já mencionadas para o BEP e conectada a ele. Esta barra é denominada TAT – Terminal de Aterramento de Telecomunicações. No TAT são aterradas todas as blindagens dos cabos de telefonia e dele saem todos os condutores de equipotencialização para “servir” aos componentes e equipamentos de telecomunicações, segundo a NBR 14306:1999. O TAT deve estar posicionado no DG – Distribuição Geral de telefonia. Vinculado ao posicionamento do TAT devem ser posicionados e instalados DPSs adequados para o tipo de distribuição de sinal, p.ex.: numa central eletrônica, os módulos de proteção devem ter dois estágios, sendo no primeiro a o componente deve ter característica curtocircuitante e o último formado por um diodo supressor.

2.6. PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM ÁREAS ABERTAS

Independentemente do projeto e posterior instalação do SPDA, tanto nas edificações ou estruturas quanto, e principalmente, nas áreas abertas, sempre haverá a possibilidade, probabilisticamente aceitável pela NBR-5419:2005, da incidência direta de raios. De forma geral esta probabilidade pode ter sua variação baseada no nível de proteção adotado para o projeto, a saber:

Níveis Proteção	I	98 %
	II	95 %
	III	90 %
	IV	80 %

Portanto é recomendável que seres vivos não permaneçam em áreas abertas quando da ocorrência de trovoadas, mesmo sem a presença de chuva.

Certas áreas ficam parcialmente protegidas dos efeitos diretos causados pelos impactos das descargas atmosféricas devido aos postes de iluminação, mastros metálicos ou outras estruturas existentes. Isso possibilita a evacuação do local com relativa segurança.

Para evitar que esses raios venham a oferecer riscos diretos às pessoas que trabalham e/ou circulam em áreas abertas, é recomendado que seja adicionado ao procedimento de segurança adotado pela SABESP um padrão que vise à retirada das pessoas de áreas abertas, quando da ocorrência de trovoadas. Esse padrão poderá ser agregado a processos de integração, aliado a colocação de avisos em locais estratégicos (estacionamentos, pátios, áreas de circulação, etc).

A fim de padronizar os avisos a recomendação contida neste documento é que o mesmo tenha tamanho compatível com o local em que estiver posicionado e contenha os seguintes dizeres: “Não permanecer neste local em caso de trovoada, com ou sem a ocorrência de chuva, dirigindo-se a uma edificação fechada”.

2.7. PADRONIZAÇÃO DA SIMBOLOGIA

Enquanto não houver norma que regulamente a simbologia para projetos de SPDA, a SABESP adotará uma simbologia padrão, simplificada, para todos os projetos, sejam executivos, orientativos ou “as built”. Esta diretriz apenas poderá ser descumprida, caso seja normalizada uma simbologia diferente da aqui adotada durante a vigência deste documento.

Essa medida facilitará o entendimento tanto dos engenheiros de fiscalização quanto dos da manutenção.

Padronização de Simbologia:	
Mx	Captor Frankilin sobre mastro metálico M, x=altura do captor em m;
	Mini captor tipo terminal aéreo;
----------	Condutor de captação;
	Condutor de descidas;
	Descida natural pela ferragem;
----------	Condutor de aterramento;
	Aterramento com hastes (mínimo de 2 hastes engastadas);
	Interligação para equipotencialização de estruturas metálicas na captação;
	Interligação para equipotencialização de estruturas metálicas nas descidas;
	Interligação para equipotencialização de estruturas metálicas no aterramento;
	BEP - Barramento de equipotencialização principal.

Figura 23: Padronização de simbologia

2.8. COMO ELABORAR UM PROJETO DE SPDA

Na elaboração da documentação mencionada neste roteiro de projeto é imprescindível a entrega do memorial descritivo juntamente com os desenhos.

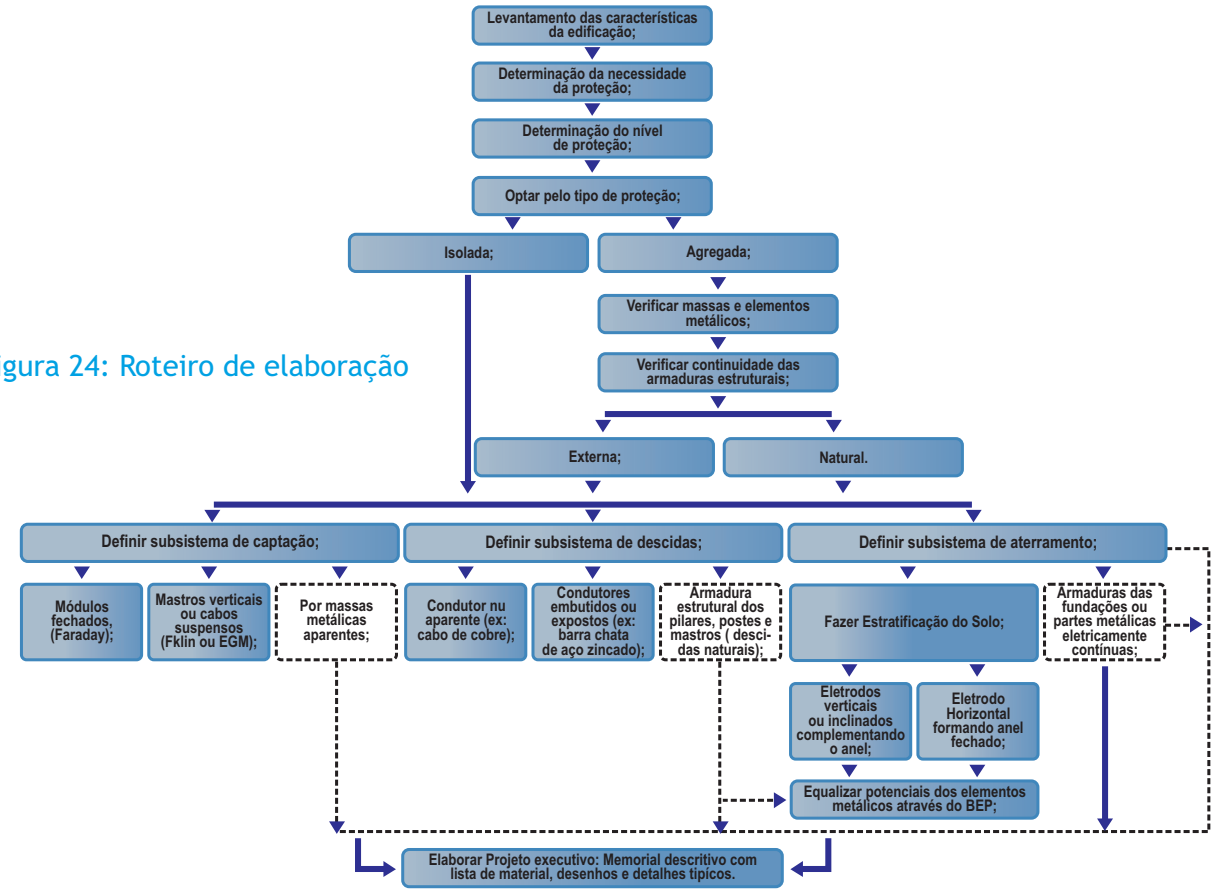


Figura 24: Roteiro de elaboração

2.9. GUIA DE INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO

2.9.1. OBJETIVOS DAS INSPEÇÕES

As inspeções visam assegurar que:

• O SPDA esteja conforme o projeto;

• Todos os componentes do SPDA estejam em bom estado, as conexões e fixações firmes e livres de corrosão;

• O valor da resistência ôhmica de contato (continuidade elétrica dos condutores do SPDA) para verificação de sua integridade seja não superior a 200 mΩ, em analogia ao adotado pela IEC 62305-3:2011para verificação da continuidade das armaduras metálicas da edificação.

• Todas as construções acrescentadas à estrutura posteriormente à instalação original estão integradas no volume a proteger, mediante ligação ao SPDA ou ampliação deste.

2.9.2. ORDEM DAS INSPEÇÕES

As inspeções prescritas nos itens anteriores devem ser efetuadas na seguinte ordem cronológica:

• Durante a construção da estrutura, para verificar a correta instalação dos componentes do SPDA, inclusive verificando criteriosamente a qualidade do material empregado, ex.: só são admitidos materiais ferrosos se estes passarem por zincagem a fogo, inclusive roscas;

• Imediatamente após o término da instalação do SPDA, para verificação final das condições gerais da instalação prescritas acima;

• Periodicamente, para que seja mantida a eficiência do SPDA, em intervalos não superiores aos estabelecidos em "Periodicidade das Inspeções";

• Após qualquer modificação ou reparo no SPDA, para inspeções completas conforme "Objetivos das inspeções";

• Quando o SPDA tiver sido atingido por uma descarga atmosférica.

2.9.3. PERIODICIDADE DAS INSPEÇÕES

Uma inspeção visual do SPDA deve ser efetuada anualmente.

Inspeções completas, utilizando o modelo de roteiro de inspeções apresentado a seguir, devem ser efetuadas periodicamente. Além de verificar se o SPDA está em condições operacionais aceitáveis, esta medida fornecerá condições para futuras comparações, facilitando a criação de relatórios de danos, ou para levantamentos de relação custo de instalação versus benefícios após a mesma ter sido implantada.

A NBR-5419:2005 estabelece os seguintes intervalos:
• Cinco anos, para estruturas destinadas a fins residenciais, comerciais, administrativos, agrícolas ou industriais, excetuando-se áreas classificadas com risco de incêndio ou explosão;

• Três anos, para estruturas destinadas a grandes concentrações públicas, ex.: áreas comerciais, estações de tratamento de água, estações de tratamento de esgotos, hospitais, escolas, teatros, cinemas, estádios de esporte, shopping centers, pavilhões, e outros, indústrias contendo áreas com risco de explosão conforme NBR IEC 60079-0:2006 - Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas, e depósitos de material inflamável. Por uma questão de padronização a SABESP exigirá que mesmo seus prédios administrativos se enquadrem nesta condição;

• Um ano, para estruturas contendo munição ou explosivos ou em locais expostos à corrosão severa, ex.: regiões litorâneas, ambientes industriais com atmosfera agressiva,etc.

2.9.3.1. ROTEIRO DE INSPEÇÃO

Edificação:_____ Referência:_____

Data:_____/_____/_____

1. **Existência de documentação:**

☐ Projeto Atualizado
☐ ART
☐ Laudo Atualizado
☐ ART

2. **Alterações nas Características da Edificação:**

2.1. Dimensões Básicas Aproximadas:

Comprimento: m
Largura: m
Altura: m
Altura Máx.: m
Incluindo cumeeira): m

2.2. Reparos na edificação em função de instalação de SPDA:

☐ Alvenaria
☐ Calçamento
☐ Não se aplica
☐ Laje de concreto armado
☐ Estruturas metálicas

2.3. Alterações construtivas na edificação:

☐ Total
☐ Parcial
☐ Não se aplica

2.4. Teto (Telhas / Cobertura):

☐ Metálicas
☐ Concreto armado(laje)
☐ Concreto protendido
☐ Concreto pré-moldado
☐ Cerâmica

2.5. Estrutura do Telhado:

☐ Madeira
☐ Metálicas
☐ Concreto armado
☐ Concreto protendido
☐ Concreto pré-moldado

2.6. Colunas:

☐ Madeira
☐ Metálicas
☐ Concreto armado
☐ Concreto protendido
☐ Concreto pré-moldado
☐ Alvenaria (tijolo)

3. SPDA:

3.1. Área classificada:
☐ Sim
☐ Não
☐ Em parte da edificação

3.2. Necessidade de proteção (anexo B da NBR-5419:2005), ver pagina 4:
☐ Sim
☐ Não
☐ A analisar

3.3. Nível de proteção, ver figura 8:
☐ I
☐ II
☐ III
☐ IV

3.4. Tipo de captação existente:
☐ Não há proteção instalada
☐ Franklin
☐ Faraday
☐ Calculada pelo EGM
☐ Estrutura auto-protegida
☐ Utiliza de massas metálicas
☐ Isolada
☐ Existência de captores radioativos

3.5. Verifica de continuidade elétrica das armaduras Pilares / Colunas:
☐ Sim
☐ Não
Fundações:
☐ Sim
☐ Não

3.6. Suficiência do número de descidas:
☐ Sim
☐ Pelas armaduras dos pilares
☐ Não
☐ Não instaladas

3.7. Aterramento:
☐ Há
☐ Em anel
☐ Pontual
☐ Pelas armadurasas fundas
☐ Não há
☐ Dados de resistividade segundo tabela da figura 22. Anexar
☐ Valores de resistência ôhmica de contato. Ensaio de continuidade dos condutores do eletrodo de aterramento visando sua integridade. (anexar tabela)

3.8. Condição das Conexões:
☐ Boas
☐ Trocar
☐ Reapertar

3.9. Interligações entre estruturas metálicas para equalização dos potenciais:
☐ Há
☐ Direta
☐ Indireta (por centelhador)
☐ Não há
☐ Desnecessária

3.10. Recomendações:
☐ Instalar
☐ Substituir
☐ Completar
☐ Satisfatório
☐ Fazer Manutenção

Obs.:
_____
_____
_____
_____

4. **DPS:**

4.1. Definição da topologia da Instalação:

☐ QDP
☐ QD
☐ QD alimentando ETI
☐ DG (Telefonia)
☐ Dados
☐ Rádio
☐ Instrumentação

4.2. Esquema de aterramento existente:

☐ TN-C
☐ TN-C-S
☐ TN-S
☐ TT
☐ Não há informações

4.3. Existência de malhas de aterramento independentes:

☐ Sim
☐ Não
☐ Não há informações

4.4. Interligação entre malhas:

☐ Sim
☐ Não
☐ Não há informações

4.5. Existência de proteção adequada contra surtos conduzidos:

Na entrada de energia:

☐ Sim
☐ Não

Nos quadros de distribuição:

☐ Sim
☐ Não

No DG de telefonia:

☐ Sim
☐ Não

Próximo aos ETIs:

☐ Sim
☐ Não

4.6. Instalação adequada do BEP-Barramento de equipotencialização Principal:

☐ Sim
☐ Não
☐ Não há i nformações

4.7. Existência de interligação de linhas de dados com outras edificações:

☐ Sim
☐ Por fibra óptica
☐ Em canaleta/tunel de concreto armado
☐ Dentro de tubulação de PVC, envelopada em concreto
☐ Dentro de tubulação metálica
☐ Por cabo coaxial em linha aérea
☐ Outros: _____
☐ Não
☐ Não há informações

4.8. Necessidade de proteção:

☐ Sim
☐ Ponto de entrada
☐ QDP
☐ QD
☐ QD alimentando ETI
☐ DG (Telefonia)
☐ Dados
☐ Rádio
☐ Instrumentação
☐ Não

4.9. Recomendações:

☐ Instalar
☐ Substituir
☐ Completar
☐ Satisfatório
☐ Fazer Manutenção

Obs.:_____

2.10 A RESISTÊNCIA ÔHMICA DO ATERRAMENTO

Sob a ótica da proteção contra descargas atmosféricas o objetivo dos ensaios nos eletrodos de aterramento, via de regra, deve ser o de comprovar sua integridade física e consequente eficiência na dispersão das correntes indesejáveis no solo, causando a menor perturbação possível (tensões de passo e toque) no local. Portanto, nas inspeções periódicas dos SPDAs da SABESP recomenda-se o ensaio da continuidade elétrica do eletrodo de aterramento. Essa recomendação não se aplica para eletrodos naturais (que utilizem as armaduras das fundações).

A continuidade elétrica pode ser medida a partir da segmentação do eletrodo em vários trechos de comprimento semelhante. Essa separação dos condutores deve ser feita através de pontos próprios, tais como: conexões em caixas de inspeção, rabichos de aterramento de elementos metálicos e pontos de medição do SPDA. Com o trecho de ensaio definido conectam-se os cabos do microhmímetro nos extremos do trecho de condutor a ser ensaiado, conforme exemplificado na figura 25. Os valores encontrados devem ser compatíveis com o comprimento do trecho envolvido. Por analogia técnica com as prescrições contidas na IEC 62305-3:2011, valores abaixo de 200 mΩ, indicam boas condições tanto no que concerne a continuidade elétrica do condutor, quanto àquelas relacionadas à resistência de contato entre emendas que estiverem no percurso ensaiado.

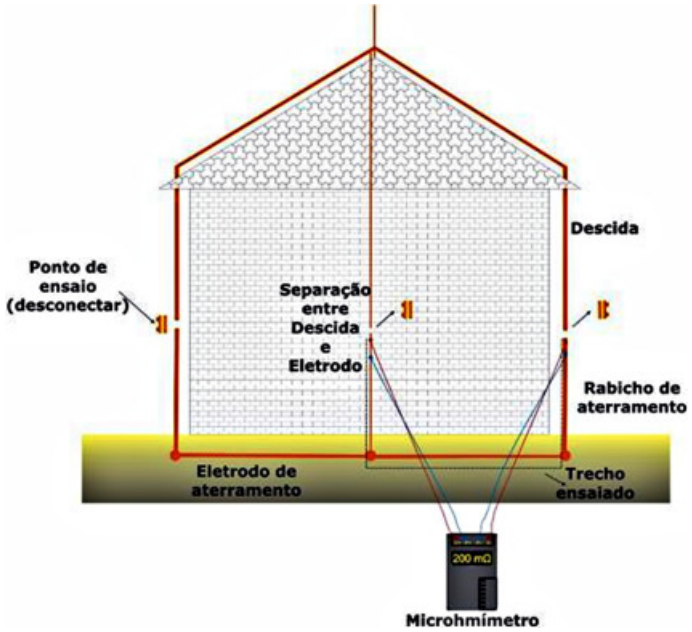


Figura 25: Exemplo de um circuito válido para medição da continuidade elétrica nos condutores e nas conexões do eletrodo de aterramento

Quando houver a necessidade da medição do valor da resistência ôhmica do eletrodo, com a finalidade de determinarem-se as tensões de toque e passo que eventualmente surgirão no local, oriundas da circulação de correntes elétricas espúrias pelo eletrodo e deste à terra deve-se utilizar um método de medição mais adequado para o local onde o eletrodo estiver posicionado. A NBR 15749:2009 – Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento oferece pelo menos seis métodos de ensaio cuja aplicação deve ser criteriosamente estudada a fim de garantir a utilização do mais adequado.

2.11. DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

A seguinte documentação técnica deve ser mantida no local, ou em poder dos responsáveis pela manutenção do SPDA:

• Relatório de verificação de necessidade do SPDA e de seleção do respectivo nível de proteção, elaborado conforme Anexo B da NBR-5419:2005;

• Desenhos em escala mostrando as dimensões, os materiais e as posições de todos os componentes do SPDA (captores, condutores de descida e especialmente os eletrodos de aterramento);

• Dados sobre a natureza e a resistividade do solo (quando aplicável);

• Valores dos ensaios de continuidade do eletrodo de aterramento;

• A esse relatório deve ser anexada a ART – Anotação de Responsabilidade Técnica do profissional responsável pelo trabalho e, posteriormente, mais uma a cada modificação ou complemento realizado;

• "Roteiro de inspeção" com o registro evolutivo dos dados do sistema. Este relatório deve ser atualizado em todas as inspeções periódicas, e depois de quaisquer modificações ou reparos no SPDA.

• Laudos técnicos de conformidade com as normas vigentes devem ser exigidos apenas após a execução de levantamentos para verificação da situação da instalação, emissão de relatório técnico e consequente adequação das mesmas às prescrições deste Manual, que em alguns itens, são mais restritivas que a NBR 5419:2005 e a NBR 5410:2008.

OBS: A IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA NAS INSTALAÇÕES DO SPDA DEVE SER RESSALTADA, ESPECIALMENTE NO SUBSISTEMA DE ATERRAMENTO, POIS ESTE ESTÁ MAIS SUJEITO A AÇÃO DA OXIDAÇÃO E DA CORROSÃO O QUE PODERÁ SER FATOR DETERMINANTE PARA A PERDA DE SUA EFICIÊNCIA, COMPROMETENDO A PROTEÇÃO DE PESSOAS E EQUIPAMENTOS.

A APLICAÇÃO DESTAS NORMAS NÃO DISPENSA A OBSERVÂNCIA DOS REGULAMENTOS MAIS RESTRITIVOS DE ÓRGÃOS PÚBLICOS REGIONAIS AOS QUAIS AS INSTALAÇÕES DEVAM SATISFAZER.

3. DPS – DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS

Não faz muito tempo os efeitos indiretos dos raios, geralmente invisíveis e quase inaudíveis, eram pouco pesquisados, pois os equipamentos eletroeletrônicos, não continham componentes de monitoramento e controle tão sensíveis aos efeitos eletromagnéticos como os atuais, tão pouco condutores interligando-os para promover sua comunicação.

O SPDA, quando bem projetado e devidamente instalado, contribui na prevenção contra danos causados em edificações e pessoas devidos ao impacto direto dos raios.

Ele também pode reduzir o risco desse impacto direto em outras edificações ou estruturas que estejam localizadas dentro de seu volume de proteção, porém o SPDA não protege os ETIs contra os danos causados pelas tensões provocadas pelos raios e que os atingem através das redes elétricas de energia e de sinal.

A essas tensões induzidas ou conduzidas chamamos de transientes elétricos, impulso eletromagnético, picos de tensão, surtos de tensão ou simplesmente surtos.

3.1. O ATERRAMENTO ELÉTRICO NA PROTEÇÃO CONTRA SURTOS

Tanto os projetos de SPDA quanto os de instalações elétricas devem fornecer dados necessários para a correta instalação do eletrodo de aterramento.

O aterramento é, essencialmente, uma conexão entre os elementos da instalação e a terra e é um componente fundamental da instalação elétrica para o seu correto funcionamento. O valor de resistência ôhmica do eletrodo representa a eficácia desta conexão, ou seja, quanto menor o valor, melhor a eficiência do conjunto, porém uma conveniente equalização de potenciais aliada a correta utilização do esquema de aterramento, sempre oferecerá melhores resultados em termos de proteção, que é a função principal do aterramento elétrico.

Instalações elétricas em geral possuem massas metálicas não energizadas (barreiras, invólucros, etc.) com a finalidade de evitar contato das pessoas com partes energizadas, tais como barramentos de quadros elétricos, interior de equipamentos, etc, contudo, se houver uma falha no isolamento dos equipamentos, seus operadores ou usuários estarão sujeitos a choques elétricos, com consequente risco à vida. O sistema de aterramento deve ser utilizado como ferramenta complementar para assegurar que o potencial das partes metálicas aterradas fique sempre abaixo do nível dos potenciais perigosos, por exemplo, proporcionando a atuação de dispositivos de proteção que desliguem automaticamente o circuito no momento em que a falha ocorrer garantindo assim que haja baixo risco para as pessoas.

Já para o controle dos surtos que possam trafegar nas instalações elétricas de energia e de sinal devem ser utilizados os DPSs que ao atuarem dispersam parte das correntes impulsivas no eletrodo de aterramento.

Atualmente toda instalação elétrica é composta de ETIs, se a mesma não for blindada estará está sujeita a interferências provocadas por campos eletromagnéticos. A blindagem é um recurso utilizado para minimizar estas interferências, necessitando de aterramento para estabelecer barreiras eficazes para os ruídos, diferenças de tensão próximo de zero, ou para proporcionar um caminho para as correntes induzidas até a terra.

3.2. ESQUEMAS DE ATERRAMENTO

As topologias dos esquemas de aterramento em baixa tensão, conforme especificadas pela NBR-5410:2008, são apresentadas através das letras:

• A primeira letra significa: situação da alimentação em relação à terra:
  -T: sistema de alimentação diretamente aterrado;
  -I: sistema de alimentação isolado, ou aterrado através de impedância de alto valor.

• Segunda letra significa: situação das cargas em relação à terra:
  -T: cargas diretamente aterradas;
  -N: cargas ligadas ao aterramento da fonte, via condutor específico (PE) ou não (PEN);

• Outras letras são necessárias para dar significado a esse(s) condutor(s) de interligação :

  -S: funções de Neutro (N) e Proteção (PE) em condutores distintos;
  -C: funções de Neutro (N) e Proteção (PE) em um mesmo condutor (PEN);
  -C-S: funções de Neutro (N) e Proteção (PE) separados a partir de um ponto da instalação.

Os esquemas mais comuns são o TN, podendo ser configurado de várias formas e o TT, ainda utilizado por algumas concessionárias.

ESQUEMA TN: TN-C, TN-S, TN-C-S

Esquema de Aterramento TN-C

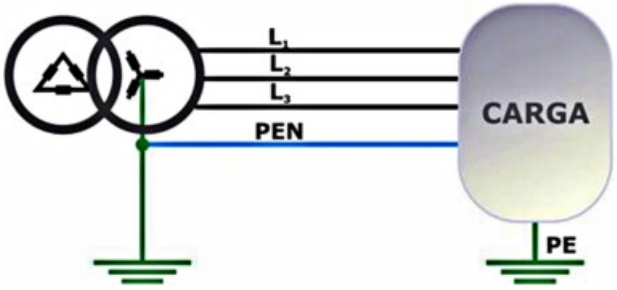


Figura 26: Esquema TN-C

Esquema de Aterramento TN-S

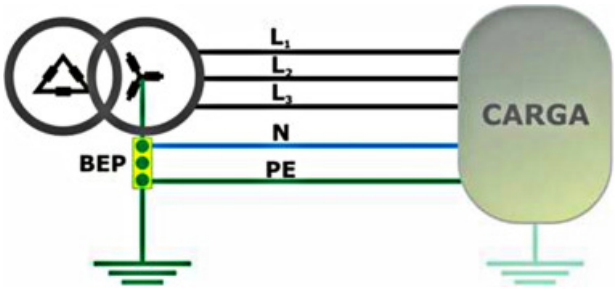


Figura 27: Esquema TN-S

Esquema de Aterramento TN-C-S

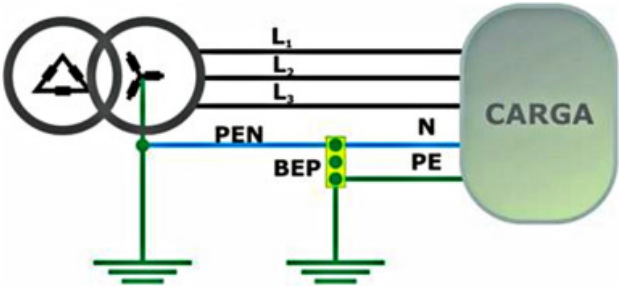


Figura 28: Esquema TN-C-S

ESQUEMA TT

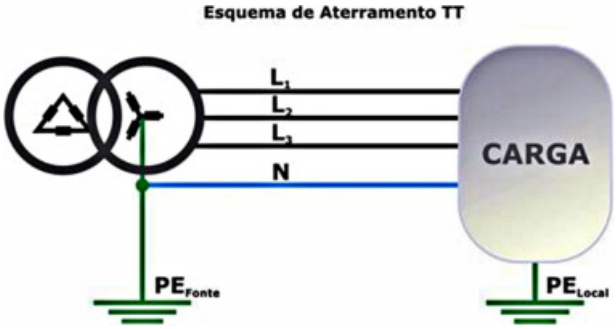


Figura 29: Esquema TT

Para este esquema de aterramento os DPSs deverão possuir características mais robustas, pois a impedância do circuito envolve a terra e uma parcela maior da energia do surto será dissipada no DPS em forma de calor.

3.3. IMPULSO DE CORRENTE:

É um transitório produzido em laboratório com a finalidade de ensaiar os DPSs; tem forma aproximadamente triangular, subindo rapidamente até um valor máximo (de crista) e caindo mais lentamente. Os impulsos são representados por:

• Tempo de frente (t1) – Tempo, em μs, contado entre 10% do inicio do pulso e 90% do seu valor de crista.;

• Tempo de cauda (t2) – É o tempo, em μs, entre o início do impulso e o instante em que o mesmo cai à metade do valor de crista (medido na cauda da onda).

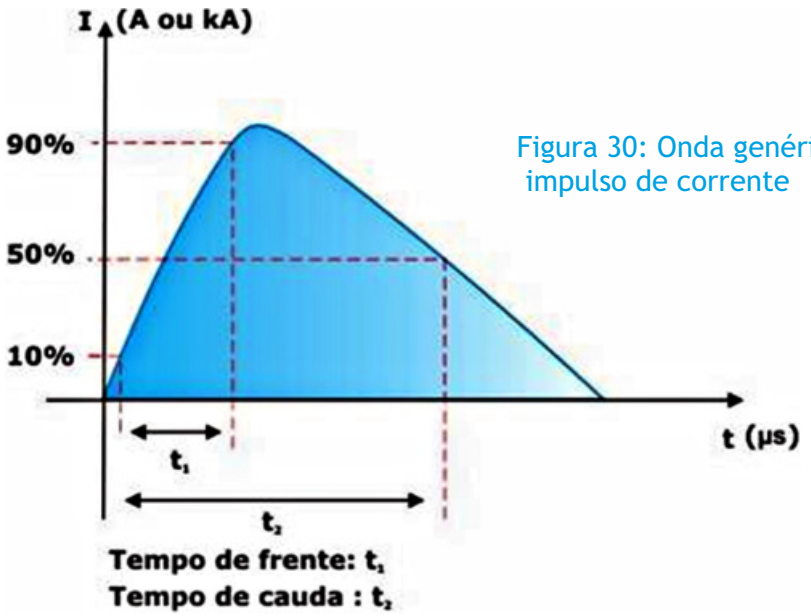


Figura 30: Onda genérica de um impulso de corrente

Portanto, os parâmetros básicos de corrente para especificação de um DPS, são: a corrente máxima de curto-circuito presumida no ponto de instalação que o DPS é capaz de suportar, a corrente de descarga nominal In (relacionada à curva de ensaio 8/20μs) e/ou a corrente de impulso Iimp (relacionada à curva de ensaio 10/350μs).

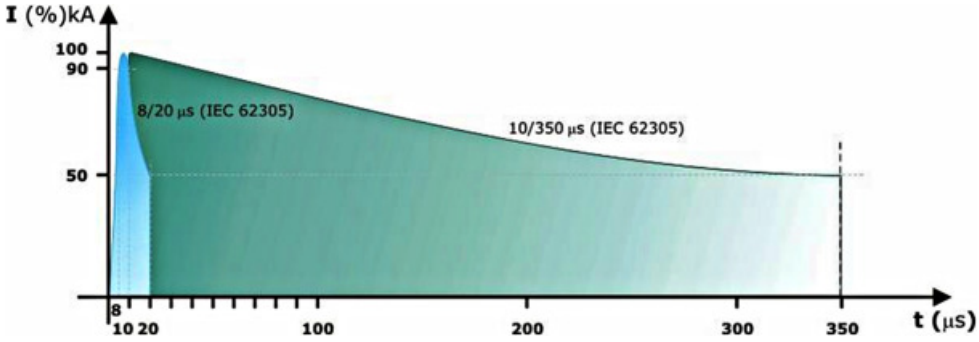


Figura 31: Formas típicas das ondas 8/20 e 10/350 μs

a. TENSÃO MÁXIMA DE OPERAÇÃO CONTÍNUA U_c:

É a máxima tensão eficaz ou c.c. que pode ser aplicada continuamente ao modo de proteção do DPS.

b. TENSÃO DISRUPTIVA (SPARKOVER VOLTAGE):

É o valor da tensão máxima antes da descarga disruptiva entre os eletrodos do centelhador de um DPS.

c. TENSÃO RESIDUAL (DISCHARGE VOLTAGE OU RESIDUAL VOLTAGE):

É o valor de pico da tensão que aparece entre os terminais de um DPS devido à passagem de corrente de descarga.

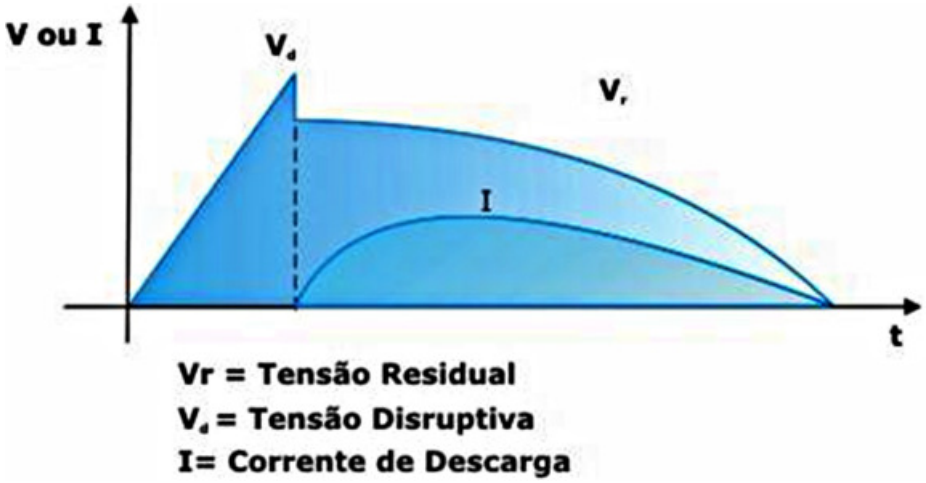


Figura 32: Tensões residual, disruptiva e corrente de descarga

d. NÍVEL DE PROTEÇÃO DE TENSÃO U_p

É o parâmetro que caracteriza o desempenho do DPS para limitação da tensão entre seus terminais, selecionado a partir de uma lista de valores preferenciais. Este valor deve ser inferior ou igual à suportabilidade da isolação da instalação elétrica e dos equipamentos por ela servidos. Como referência utilizar os valores da tabela A1.

e. CORRENTE SUBSEQÜENTE (I_F):

Corrente fornecida pelo sistema de energia elétrica fluindo através do DPS após uma descarga de corrente de impulso. A corrente subseqüente é significativamente diferente da corrente de operação contínua Ic.
Existem três tipos de DPSs em relação a esta corrente:

• O que suprime a corrente subseqüente em poucos µs;

• O que suprime a corrente subseqüente na sua primeira passagem pelo "zero da tensão" da rede;

• O que não a suprime, necessitando de um dispositivo de proteção contra sobrecorrente, (disjuntor ou fusível).

3.4. SURTOS DE TENSÃO:

Picos de tensão de alta amplitude e de características transitórias, ou seja, que ocorrem em espaços curtíssimos de tempo, os surtos de tensão podem ser causados por descargas atmosféricas, manobras na rede elétrica (chaveamentos), descargas estáticas ou outras perturbações eletromagnéticas

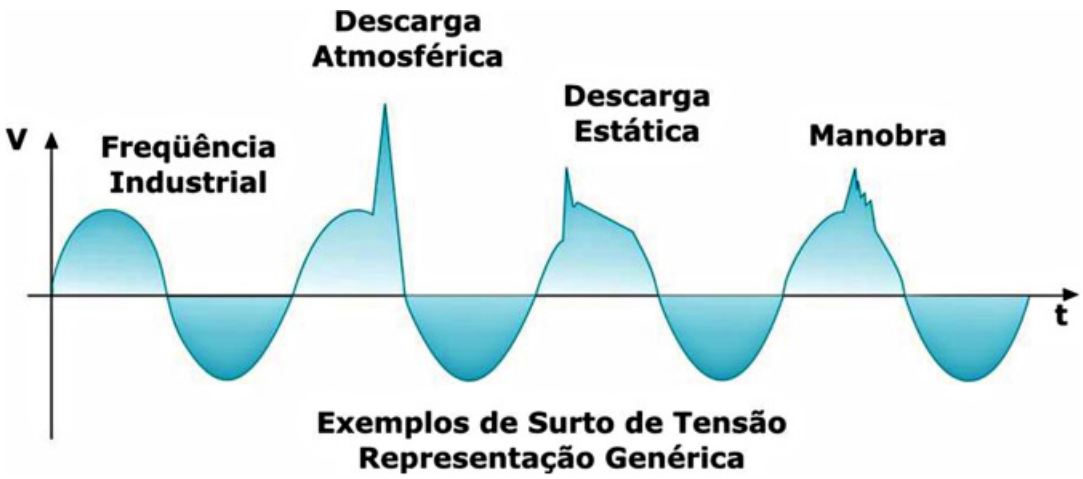


Figura 33: Surtos de tensão

Surtos provocados por fontes diferentes (chaveamento, raios, etc), mas que causam danos similares (queima ou mal funcionamento dos ETIs), exigem proteção similar (DPSs). Então de nada adiantará a edificação possuir um SPDA eficiente, pois este não protege os ETIs. Dessa forma deverão ser instalados DPSs, convenientemente dimensionados e coordenados para, simultaneamente, conduzir parte da corrente causada pelo surto para a terra e dissipar a outra parte em forma de calor (energia liberada pelo efeito Joule). Os surtos podem ocorrer de forma repetitiva ou aleatória (randômica).

Surtos repetitivos são aqueles provocados por fenômenos conhecidos e periódicos, p.ex.: efeitos resultantes de chaveamentos elétricos (excitação de motores, chaveamentos de cargas indutivas, etc). Este tipo de surto pode ter sua causa e características (tensão e tempo de duração) detectadas mais facilmente e conseqüentemente as medidas de supressão serão mais eficazes, duradouras e confiáveis. Os surtos aleatórios (randômicos) ocorrem em pontos inesperados, sem periodicidade definida e são de natureza complexa, p.ex.: aqueles causados por raios ou descargas estáticas. Mesmo assim a tecnologia existente nos permite proteger os ETIs desses surtos.

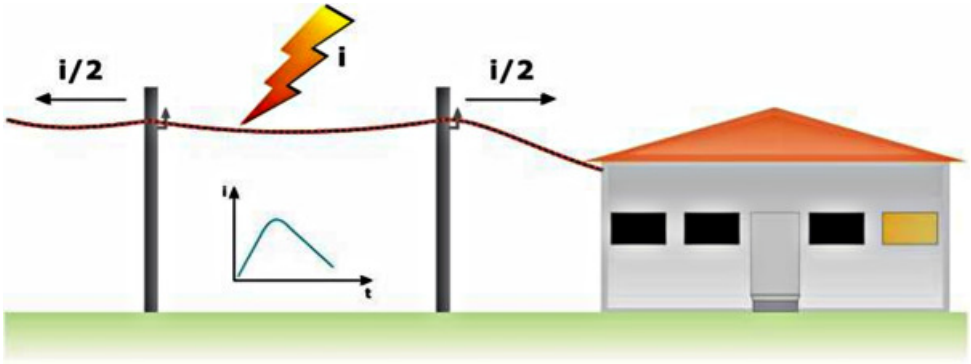


Figura 34: Surto causado por impacto direto de raio

Existem duas formas de surtos que podem aparecer em uma instalação elétrica ou equipamento por ela servido: surtos MODO COMUM e MODO DIFERENCIAL.

• O surto Modo Comum ocorre entre o sistema de aterramento ou os condutores PE e os condutores de energia e/ou de sinal ficando assim relacionado à tensão de isolamento do equipamento;

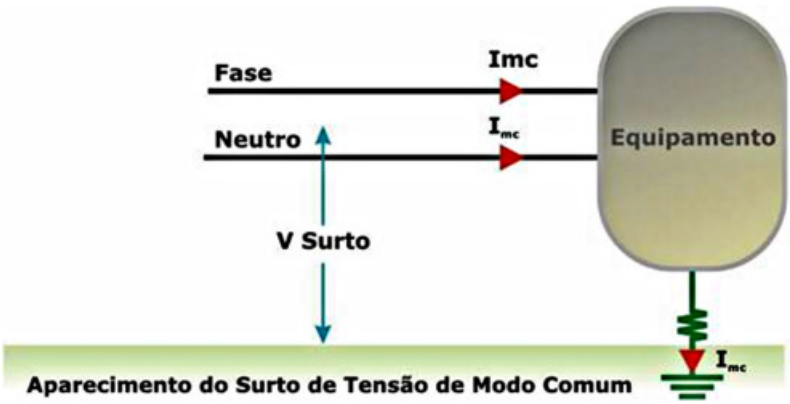


Figura 35: Surto modo comum

• O Surto Modo Diferencial ocorre entre condutores de energia e ou de sinal, ficando assim relacionado à tensão de imunidade do equipamento;

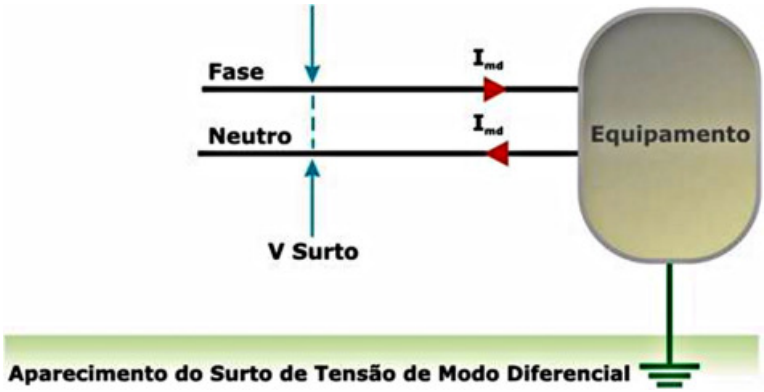


Figura 36: Surto modo diferencial

• Dessa forma são necessários dispositivos de monitoramento rápido que identifiquem o surto e dissipem previamente sua energia, total ou parcialmente, habilitando a instalação elétrica e os equipamentos a trabalharem com seus níveis de tensão e corrente controlados, conforme conceitos apresentados anteriormente. Devido aos problemas apresentados nos últimos anos, relativos à baixa imunidade à tensão impulsiva (NBI- Nível Básico de Isolamento), dos componentes eletrônicos a tecnologia de fabricação de DPSs vem se desenvolvendo rapidamente no que diz respeito à oferta de componentes mais rápidos e de elevada capacidade de dissipação energética.

3.4.1. IMPULSOS ELETROMAGNÉTICOS CAUSADOS POR RAIOS (LEMP-LIGHTNING ELECTROMAGNETIC IMPULSE):

São pulsos provenientes de campos magnéticos provocados por raios. Sua magnitude pode variar desde insignificante até devastadora.

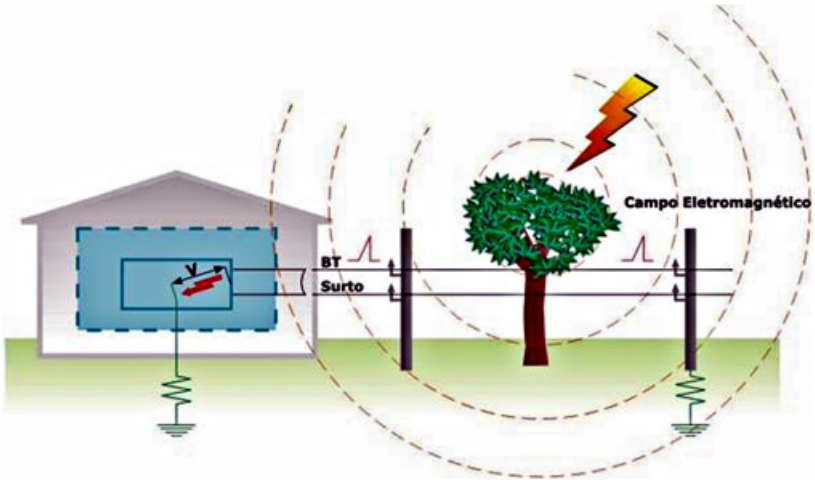


Figura 37: Surto provocado por impulsos eletromagnéticos

Há alguns anos não havia essa preocupação com os efeitos de picos elevados das tensões induzidas na rede. Enquanto o uso de transistores e circuitos integrados ainda não era comum, as válvulas termo-iônicas com sua inércia térmica, bem como a maioria dos elementos passivos dos circuitos, apresentavam em relação a estes picos elevados de tensão, imunidade muitas vezes maior do que os atuais semicondutores. Estes, atualmente presentes em quase todos os equipamentos de monitoramento e comando, podem se danificar com um único pulso de tensão, por mais curta que seja sua duração. Com a sofisticação sempre maior dos equipamentos e sua interconexão para troca de dados bem como sua utilização crescendo de forma exponencial, o valor médio dos prejuízos causados por um único pulso tenderá sempre a aumentar.

3.4.2. INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA (EMI - ELECTRO MAGNETIC INTERFERENCE):

É a incapacidade de um equipamento funcionar no ambiente eletromagnético de modo satisfatório, ou seja, sem causar ou sofrer interferências significantes relacionadas com o ambiente ou os demais componentes da instalação.

3.4.3. COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA (EMC - ELECTRO MAGNETIC COMPATIBILITY):

É a capacidade de um equipamento ou sistema de funcionar no seu ambiente eletromagnético de modo satisfatório, causando ou sofrendo a menor interferência possível em relação ao ambiente externo.

3.4.4. A PROTEÇÃO DOS ETIs CONTRA SURTO DE TENSÃO:

Não existe proteção 100% eficiente, mas é possível chegar-se a um elevado coeficiente de prevenção, combinando-se a correta utilização da instalação elétrica de energia e de sinal com diferentes dispositivos de proteção e um eficiente sistema de aterramento.

Como, infelizmente, não existe meio de proteção perfeito, cada configuração de DPS possui vantagens e desvantagens. Assim sendo, para chegar a um elevado coeficiente de segurança, recomenda-se utilizar uma combinação de vários DPSs que, em conjunto, atingirão o nível de proteção que satisfaça aos requisitos:

- Suportabilidade quanto à energia recebida por LEMP ou outro tipo de surto;
- Apresentar tempo de resposta adequado à aplicação;
- Limitar o excesso de picos de tensão;
- Apresentar relação favorável entre a tensão de ruptura e a tensão residual no dispositivo de proteção;
- Permitir ampla escolha de tensões de proteção, para atender às mais variadas aplicações;
- Apresentar a maior vida útil em função do número de descargas absorvidas.

3.5. RECURSOS DISPONÍVEIS

Dispositivos mais velozes como: diodos supressores, ou de proteção, Zeners (Taz, Transzorb) possuem capacidade de dissipação energética muito pequena quando comparada à de dispositivos mais lentos como: centelhadores e varistores, que por sua vez apresentam maior suportabilidade.

Um bom sistema de proteção deve aliar as características positivas dos diversos componentes de supressão, coordenando a atuação dos mesmos em estágios que atuem em diferentes intervalos de tempo durante a ocorrência de um surto.

Ao resultado dessa coordenação dá-se o nome de proteção por "efeito cascata". Num instante inicial o estágio de maior velocidade grampeia o impulso propiciando, num segundo momento, o estágio mais lento, porém de maior capacidade energética, atuar, drenando a parcela de maior energia do impulso para a terra.

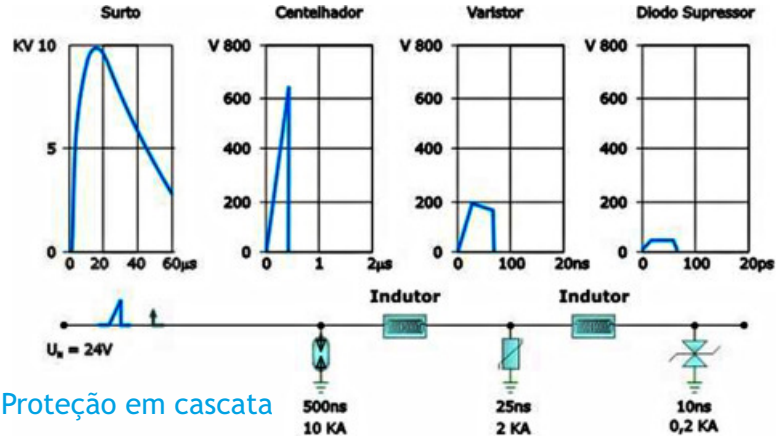


Figura 38: Proteção em cascata

O número de estágios de um sistema de proteção dependerá das características inerentes ao ambiente de trabalho do mesmo, tais como perda máxima de inserção admissível, capacitância máxima, tensão nominal de operação do equipamento, etc.

3.5.1. TIPOS DE COMPONENTES PARA DPSS:

3.5.1.1. CENTELHADORES:

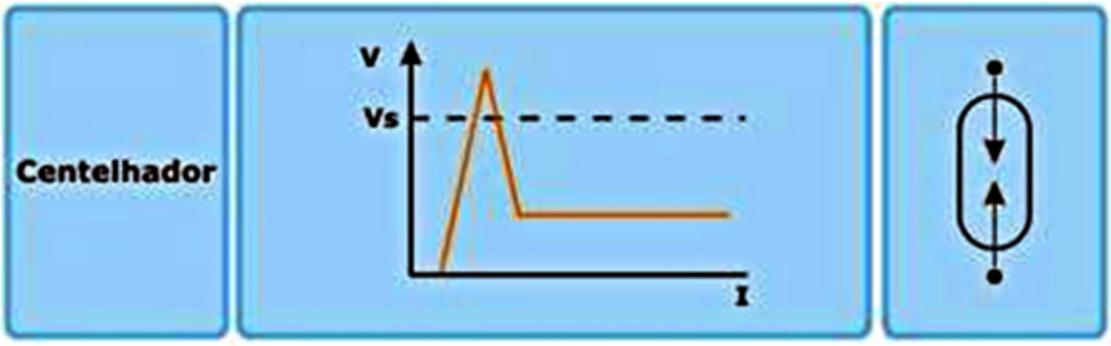


Figura 39: Curva genérica e simbologia

A AR:

Os centelhadores a ar podem ser classificados em dois grupos básicos:

- Abertos;
- Encapsulados.

Os centelhadores a ar tanto abertos quanto encapsulados, são DPS's com eletrodos e invólucros à base de materiais altamente resistentes e apropriados para suportar os efeitos das descargas atmosféricas diretas nas instalações elétricas. Há no mercado modelos de DPS à base de centelhadores com tensões residuais reduzidas (0,9 e 1,5 kV) proporcionando uma excelente coordenação com os demais níveis de proteção.

Em casos onde a incidência de descargas atmosféricas é elevada, recomenda-se utilizar DPSs que suportem alta dissipação de energia, com IIMP $\geqslant$ 35kA, ensaiados na forma de onda (10 / 350) µs.

Centelhadores encapsulados são também denominados centelhadores de isolação ou de acoplamento e são empregados nas chamadas equipotencializações indiretas, em que dois circuitos não podem ficar permanentemente interligados, mas devem buscar o mesmo potencial quando houver influência de um raio sobre os mesmos, p. ex.: circuitos em que pode haver corrosão galvânica entre eles, ou entre eles e o sistema de aterramento.

A maior demanda destes centelhadores se dá em área de ambientes com risco de explosão (centelhadores à prova de explosão). Nestes casos, os centelhadores têm características especiais, por exemplo tensão disruptiva de 2,2 kV e corrente suportável de impulso de 100 kA, na curva 8/20.

Como desvantagens, temos: risco de incêndio, tensão disruptiva variando com as condições atmosféricas, com a poluição, etc.

A GÁS:

O Centelhador a Gás é formado por dois eletrodos posicionados em um tubo cerâmico ou de vidro. Entre os eletrodos existe um gás inerte, como argônio ou neônio. A tensão disruptiva será determinada pela distância entre os eletrodos e a pressão do gás. A durabilidade é determinada pelo material dos eletrodos, já a corrente de fuga é dada pela qualidade do vidro ou do material cerâmico utilizado. Alguns artifícios podem ser utilizados para melhorar a qualidade do centelhador, p.ex.: o recobrimento dos eletrodos com material de poder de emissão secundária.

Se o centelhador estiver em um estado de baixa impedância e dependendo da magnitude da impedância da instalação poderá haver circulação de corrente elétrica indesejada. Para interromper esta corrente se necessário, deve ser conectado um dispositivo de proteção contra sobrecorrente (fusível ou disjuntor) à montante do centelhador.

Desvantagens:

• Baixa margem de proteção para surtos com frente de onda brusca;
• Geralmente causa falta à terra no circuito*;
• Produz oscilações de alta freqüência devido à brusca queda de tensão entre seus eletrodos.

* ESTA DESVANTAGEM OBRIGA A INSTALAÇÃO DE UM DISPOSITIVO DE SOBRECORRENTE ENTRE O CENTELHADOR E A FONTE ALIMENTADORA. ATENTAR PARA O DETALHE DE INSTALAÇÃO DO DISPOSITIVO DE SOBRECORRENTE. SE ESTE ESTIVER EM SÉRIE COM A FONTE, EM CASO DE OCORRÊNCIA DE FALTA (CURTO CIRCUITO ENTRE FASE E TERRA), O CIRCUITO TERÁ SEU FUNCIONAMENTO SUSPENSO. SE POR OUTRO LADO O DISPOSITIVO ESTIVER EM SERIE COM O CENTELHADOR E ESTES DOIS EM PARALELO COM A LINHA, O EQUIPAMENTO ESTARÁ DESPROTEGIDO DE UM PRÓXIMO SURTO ATÉ QUE O DISPOSITIVO SEJA TROCADO OU REARMADO.

Vantagens:

• Grande capacidade de condução de corrente (dezenas de kA);
• Longa vida útil;
• Baixo valor de capacitância, não interferindo na operação de circuitos em altas freqüências.

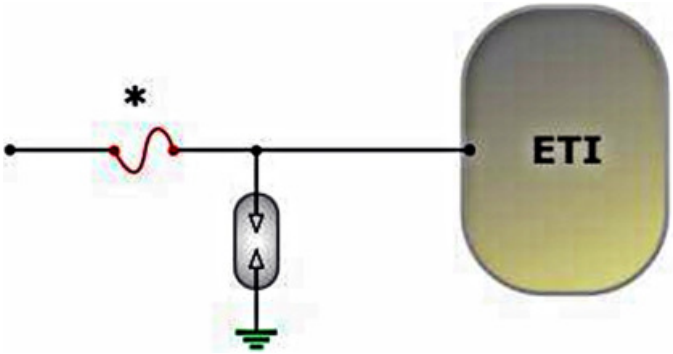


Figura 40: Centelhador com dispositivo proteção contra
curto-circuito (* disjuntor ou fusível) em série com o equipamento (ETI)

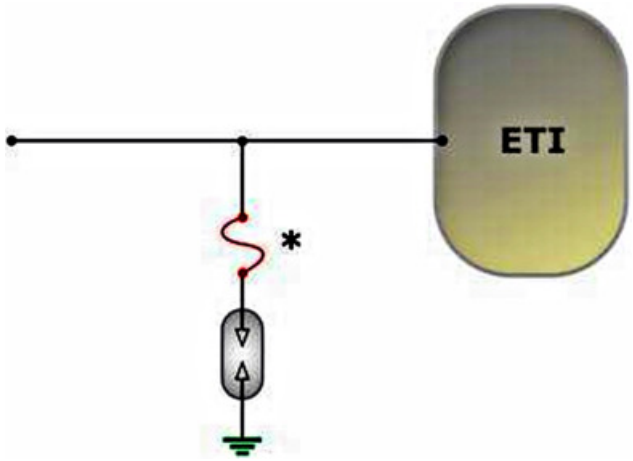


Figura 41: Centelhador com dispositivo proteção contra
curto-circuito (* disjuntor ou fusível) em paralelo com o equipamento (ETI)

3.5.1.2. VARISTORES

O Varistor, ou VDR (Voltage Dependent Resistor), é um resistor cujo valor nominal é uma função da própria tensão aplicada aos terminais, ou seja a relação entre a tensão e a corrente em um varistor pode ser expressa por:

$I = kV^{\alpha}$, *onde:*

α *:* é o coeficiente de não linearidade, p. ex: Para resistores, $\alpha = 1$.

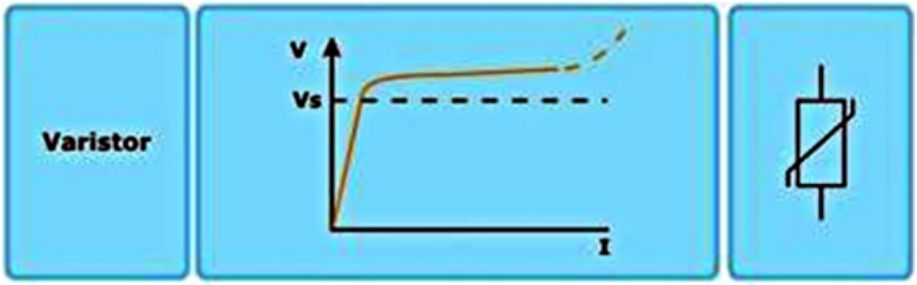


Figura 42: Curva genérica e simbologia

No princípio os varistores eram baseados nas propriedades do carboneto de silício (SiC), sendo usados na forma de cristais puros e tratados de SiC compactados em um corpo de porcelana. Posteriormente, visando melhorar α, foi usado o óxido de chumbo, pois o inconveniente do varistor de SiC era o fenômeno conhecido por AVALANCHE TÉRMICA: Se energizado permanentemente entre linha e terra, o varistor SiC admite uma corrente que, a princípio, é pequena, mas que provoca o aquecimento desse componente, fazendo consequentemente sua resistência diminuir e a corrente aumentar. Com a evolução na tecnologia da construção dos varistores é utilizado o óxido de zinco (ZnO). Com o varistor de ZnO, também denominado de óxido metálico, aumentou-se o antigo coeficiente α=5, dos varistores SiC, para α=30. Essa tecnologia possibilitou o emprego do varistor acoplado diretamente entre a linha e a terra, sem a necessidade do centelhador ligado em série, tanto para correntes c.a., quanto c.c.

Em baixa tensão, os varistores são utilizados com uma camada simples de resina protetora, já para alta tensão eles são montados em série dentro de um invólucro de porcelana ou plástico. São conhecidos na prática como para-raios sem centelhador (gap-less surge arrester).

APLICAÇÃO

Varistores têm uma gama de aplicação bastante extensa devido à larga faixa de tensões (4 a 10 V até 3 a 4 kV) e de correntes de impulso (100 a 200 A até 100 a 120 kA) existentes. Pode ser fornecido para soldagem direta (tecnologia SMD) nas placas de circuito impresso (PCB - Power Circuit Board), com terminais de alguns centímetros para uso geral nos circuitos de proteção, sem terminais (blocos para uso como DPSs).

CONSIDERAÇÕES IMPORTANTES SOBRE VARISTORES:

1. Quando se protege instalações elétricas e equipamentos por elas servidos com dois ou mais varistores num mesmo circuito, p. ex: no QDP e na tomada em que vai ser ligado o equipamento, é necessário coordená-los, de maneira que o varistor de maior capacidade atue primeiro, dissipando a maior parte da energia do surto. Quando há certa distância entre os componentes instalados esta pode ser suficiente (segundo dados colhidos no catálogo do fabricante) para se conseguir uma coordenação "natural" entre os varistores; caso contrário, será necessário introduzir uma impedância que garanta que o varistor de maior capacidade atuará primeiro.

2. Os fabricantes costumam designar os varistores pela tensão de operação por seu diâmetro, incluindo alguns códigos relativos à forma (disco, bloco) e à tolerância da tensão (+/- 10%; +/- 5%). A tensão de operação é dada em valor eficaz de onda senoidal. Para aplicações em corrente contínua, multiplica-se o valor dado por $\sqrt{2}$.

3. Os valores da capacitância fornecidos pelo fabricante são medidos à freqüência de 1 kHz; a variação da capacitância com a freqüência é pequena de modo que o valor em 1 kHz pode ser usado para outras freqüências.

4. Embora, teoricamente, seja possível ligar dois varistores em paralelo para aumentar a potência dissipada, isto deve ser evitado para que não haja uma distribuição não uniforme das correntes do surto. Para haver distribuição homogênea de corrente impulsiva pelos varistores seria necessário levantar as características de várias peças até encontrarem-se dois componentes **EXATAMENTE IGUAIS** e então ligá-los em paralelo com impedâncias do contato proveniente da ligação, também iguais. **É MAIS FÁCIL E BARATO ADQUIRIR UM COMPONENTE DE MAIOR CAPACIDADE.**

5. A ligação de varistores em série pode ser feita sem maiores preocupações salvo usar componentes de mesmo tamanho e fabricante. Com isto a tensão de operação do conjunto será a soma das tensões de cada varistor.

3.5.1.3. DIODOS

Os diodos Zener, baseados no efeito de avalanche descoberto por C. Zener são usados normalmente como diodos estabilizadores de tensão. Para uso como diodos de proteção sua construção deve possuir características especiais para obtenção de maiores junções entre os grãos de silício e maior massa nos terminais, a fim de aumentar sua capacidade de dissipar calor.

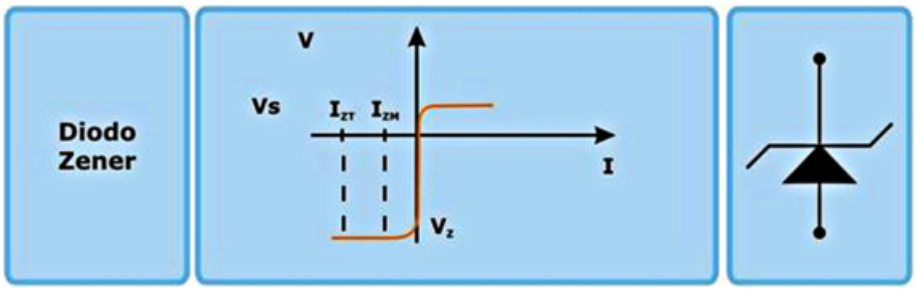


Figura 43: Curva genérica e simbologia

Comercialmente e em função da sua configuração os diodos recebem os nomes: TAZ, TRANSZORB, etc, e são os mais encontrados no Brasil.

Os diodos, quando em montagem simples, só podem ser usados na proteção contra surtos em apenas um sentido do circuito. Para proteger contra surtos provenientes dos dois sentidos no circuito devem ser montados de forma dupla e oposta (back-to-back).

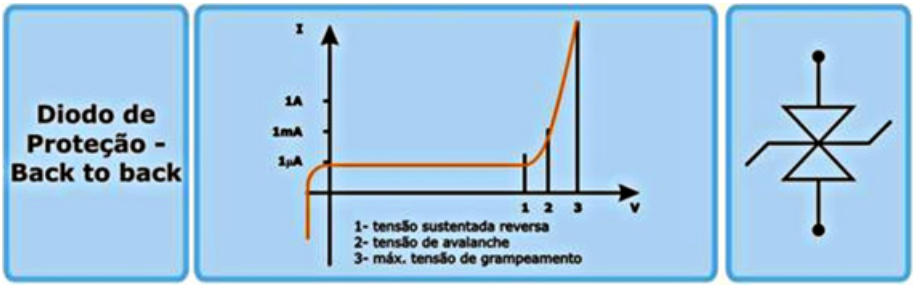


Figura 44: Curva genérica e simbologia

Quando a corrente atravessa o diodo, este apresenta uma dependência em relação à tensão da mesma maneira que os varistores de ZnO, porém com α da ordem de 100 até 500, o que faz com que a tensão residual (V_r) seja aproximadamente constante enquanto houver corrente de surto.

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

• TENSÃO SUSTENTADA REVERSA (reverse standoff voltage): é a tensão inferior àquela provocada pela corrente de fuga (abaixo de 1nA). Ver (1) na figura 40;

• TENSÃO (MÍNIMA) DE AVALANCHE OU DISRUPÇÃO (break down voltage): analogamente a tensão de referência de um varistor, é a queda de tensão produzida pela passagem da corrente de 1mA. Ver (2) na figura 40;

• TENSÃO MÁXIMA DE GRAMPEAMENTO (max. clamping voltage): é a máxima queda de tensão quando pelo diodo passa a máxima corrente de pico admissível. Ver (3) na figura 40 acima.

• TEMPO DE RESPOSTA: é, teoricamente, da ordem de 1 a 5 µs mas esse tempo raramente é conseguido pela influência da indutância dos terminais.

• FORMAS DE LIGAÇÃO:

Diodos são ligados em série para se obter um equivalente de maior tensão. A ligação de diodos em paralelo deve ser evitada pelas mesmas razões já apresentadas para os varistores.

COMPARAÇÕES:

Em relação aos varistores, os diodos são mais rápidos, de menor tamanho, dão melhor ajuste de proteção, porém, tem menor capacidade de dissipação e têm custo mais elevado. São usados como proteção fina (após os varistores) ou em locais em que as energias a serem dissipadas são baixas e há necessidade de um nível de proteção elevado.

3.6. TOPOLOGIA DOS NÍVEIS DE PROTEÇÃO

Um bom sistema de proteção deve aliar as características positivas dos diversos componentes de supressão, coordenando a atuação dos mesmos em estágios que atuem em diferentes intervalos de tempo durante a ocorrência de um impulso.

As linhas de energia (sistema de alimentação) e de sinal (telefônicas e de transmissão de dados que não sejam compostas por fibra ótica) devem receber cuidados especiais contra sobretensões derivadas das descargas atmosféricas ou outros meios, e de isoladores galvânicos para tornar o sistema o mais imune possível a interferências causadas por essas fontes, p.ex.: a proteção contra surtos, contendo sistema de aterramento, DPSs adequados e em certos casos blindagem, para a proteção das linhas de energia e sinal por indução eletromagnética devida a descargas atmosféricas.

O objetivo principal é distribuir os surtos de alta energia entre os protetores devidamente posicionados, dependendo da intensidade e da região em que se encontra a edificação, com vários níveis de proteção (tantos quantos forem necessários para atingir o objetivo proposto). A tensão residual a jusante dos protetores não deve exceder ao nível de suportabilidade a tensão impulsiva do isolamento do equipamento e dos componentes do sistema.

Deve-se coordenar os protetores obedecendo, no mínimo os valores de suportabilidade a tensão impulsiva para determinadas partes da instalação elétrica, especificados na tabela 31 da NBR 5410:2008, mostrada como tabela 1 no anexo A, bem como, considerar também as instruções de instalação dos fabricantes (catálogos), o local da instalação, a tensão, o tipo de alimentação (com ou sem neutro), o esquema de aterramento envolvido e o NBI dos equipamentos da instalação.

Para um melhor entendimento sobre o conceito de topologia na proteção contra surtos, dividiremos o ambiente a ser protegido em quatro partes. Estas partes são denominadas ZPRs – Zonas de Proteção contra Raios (LPZ – Lightning Protection Zones, contida na IEC – 62305-4:2011), ou zonas de proteção, sendo:

- ZPR_{0A} - Zona susceptível a incidência direta de raios (zona 0_A);
- ZPR_{0B} - Zona protegida pelo SPDA (zona 0_B);
- ZPR_1 - Zona onde se encontra o QDP da edificação, onde está instalado o BEP (zona 1);
- ZPR_2 - Zona onde se encontra o QD ou o ETI na edificação (zona 2).

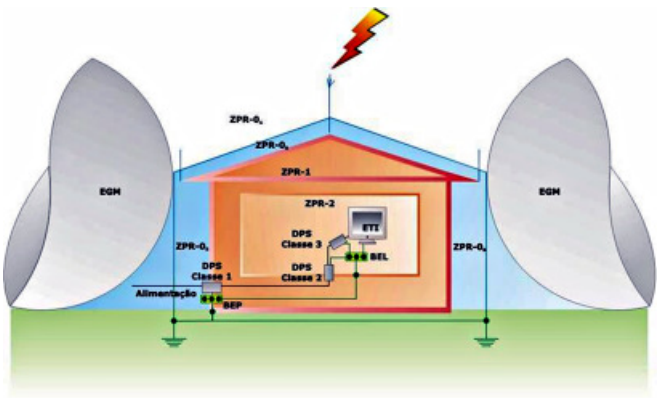


Fig 45: Zonas de proteção

NÍVEL 0 – ZPR_{0A}

Neste nível devem ser usados para-raios de linha (de corrente), geralmente instalados nas subestações de distribuição e nas entradas dos ambientes industriais, nas linhas de alimentação, fora das edificações.

NÍVEL 1 – ZPR_{0B}
ENTRADA DA INSTALAÇÃO

O DPS classe 1, assegura que a principal parcela da corrente de raio, com um pulso de até (10 / 350) µs, seja descarregada no solo e não alcance as partes sensíveis da instalação e dos equipamentos por ela servidos.

A tensão residual, pode variar entre 6, 4 ou 2,5 kV, dependendo da tabela anteriormente mencionada com capacidade de proteção da ordem de milhares de ampéres (10 / 350) µs. O DPS classe 1 deve ser posicionado na transição da ZPR_{0B} e ZPR_1 ou ZPR_{0B} e ZPR_2. A NBR 5410 denomina esse ponto como: ponto de entrada da instalação e o define como "o ponto onde os condutores penetram na edificação" p.ex.: se o quadro de distribuição principal estiver locado na parte interna da parede por onde os condutores adentraram a edificação o barramento de terra do mesmo poderá ser utilizado como BEP e a este devem ser vinculados os DPSs classe 1. Se o QDP não estiver posicionado no local indicado, um novo quadro deve ser instalado nesse local para acondicionar o BEP e os DPSs classe 1.

Para haver coordenação entre os DPSs, deve-se ter uma distância mínima de condutores na instalação entre o DPS de nível 1 e nível 2, que produza uma indutância entre 10 a 15 µH

NÍVEL 2 – ZPR_1
QD - QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO

O DPS classe 2, geralmente é utilizado no segundo nível de proteção, na transição para a próxima zona de proteção, em painéis de distribuição local que alimentem ETIs. Pode-se utilizar o DPS classe 2 também no nível 1 de proteção, caso a instalação esteja sujeita apenas a incidência dos efeitos indiretos dos raios.

NÍVEL 3 – ZPR_2
PROTEÇÃO PRÓXIMA AO ETI

Existe uma grande variedade de DPSs para o nível 3 de proteção, ou classe 3, que fornecem proteção adequada para os ETIs. Isso inclui, por exemplo, fontes de alimentação, transdutores, medidores de vazão, etc.

Quando da instalação de DPSs próximo aos ETIs, devemos observar que estes devem ser "desacoplados" uns dos outros nos diferentes níveis.

Geralmente entre os níveis 1 e 2 a indutância criada pelo comprimento do cabo que interliga os quadros é suficiente para fazer esse desacoplamento, como já citado. Quando isso não acontecer o desacoplamento pode ser feito através da inserção de indutores entre os protetores, que possibilitarão coordenação necessária para que os elementos do DPS

de forma ordenada e eficaz. Geralmente, cabos conectando os vários níveis funcionam como indutores de desacoplamento. Os requisitos do desacoplamento para o nível médio geralmente são atendidos quando existe um comprimento entre 5 a 15 m de cabo entre a proteção média e a proteção do equipamento, o que produz uma linha de indutância da ordem de 5 e 7,5 ou 10 e 15 µH, dependendo do fabricante.

Este tipo de proteção coordenada tem se mostrado extremamente confiável e permite ao sistema trabalhar 24 horas com uma quantidade muito pequena de interrupções devido à problemas causados por surtos porém, ainda não são a solução definitiva para esta questão, sendo necessária uma evolução constante, visando melhorar ainda mais as proteções destes sistemas essenciais ao abastecimento das cidades.

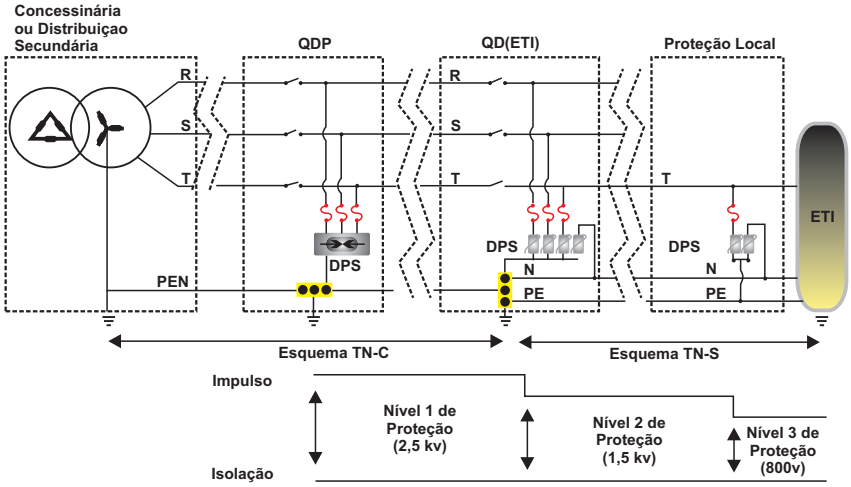


Figura 46: Coordenação de proteção em função da topologia da instalação

OUTROS NÍVEIS DE PROTEÇÃO

Para maior clareza na aplicação dos DPSs em casos específicos existentes na SABESP, serão mantidos os níveis topológicos 4 e 5. Embora não normalizados, estes níveis de proteção possuem conotação prática e estão inseridos nas ZPRs já mencionadas.

Os produtos citados para esses níveis, fazem parte do cotidiano da SABESP e estão baseados em catálogos de fabricantes fornecedores de DPSs para os ETIs situados nas mais diversas áreas da empresa.

NÍVEL 4

MÓDULOS DE INTERFACES DE ISOLAMENTO DOS SINAIS DE PROCESSO.

Digital (aberto / fechado) - interface a relé e acoplador óptico (Foto-acoplador) Analógico (mA / V / mV) - isolador galvânico

- Foto-aclopadores modulares
- Interfaces a relés
- Módulos de interface analógicos
- Diferenças de potencial de terra
- Circuitos referenciados à terra
- Amplificação de sinais
- Interferências

NOTA: Os módulos conversores e isoladores de sinais não devem ser utilizados como DPS.

CONVERSÃO DE SINAIS
FOTOACOPLADORES MODULARES

Devido à crescente utilização de equipamentos eletrônicos e dos diferentes circuitos com eles relacionados, é cada vez mais importante o isolamento galvânico para uma clara e segura separação dos potenciais. O equipamento de comando microprocessado de um sistema de automação tem de ser interligado de uma forma eletricamente segura, aos sensores e atuadores.

A interface e os periféricos do processo, e a eletrônica de comando tem que garantir um isolamento galvânico seguro e assegurar a compatibilidade entre os diferentes parâmetros físicos e elétricos. A interface tem de satisfazer todas as determinações de segurança, bem como as várias funções elétricas. Por outro lado é desejável que uma interface permita que o planejamento, a construção e a manutenção das instalações sejam efetuadas de forma clara.

Os fotoacopladores proporcionam, além do isolamento galvânico entre o circuito de entrada e o de saída, as seguintes características:

- Comando com consumo reduzido;
- Elevada freqüência de comutação;
- Nenhuma vibração de contatos;
- Insensibilidade a vibrações;
- Tamanho reduzido;
- Longa duração.

A soma destas características torna os módulos de interfaces com fotoacopladores uma valiosa alternativa as interfaces tradicionais a relé.

INTERFACES A RELÉS

Na tecnologia da automação, é indispensável à utilização de relés eletromecânicos para a separação galvânica, para a multiplicação de contatos ou para a amplificação ou adaptação entre diferentes níveis de tensões.

Nos anos 80 a indústria de relés desenvolveu uma nova geração de relés de interface cujas características foram adaptadas para responder às novas exigências da eletrônica e automação. As características dos modernos relés de interface são:

- Miniaturização;
- Menor consumo de energia;
- Maior durabilidade;
- Maior segurança nos contatos;
- Maior capacidade de comutação;
- Menor dissipação de calor.

Os relés de interface modernos têm hoje múltiplas tarefas na automação industrial.
Em todos os âmbitos industriais interessa assegurar a troca de informações entre os diversos

sistemas, livre de potencial e eletricamente isolados. Além disso, como forma de resolver os problemas freqüentes, resultantes de diferentes níveis de tensão, de diferentes formas de sinal e de diversas técnicas de ligação.

Uma interface elétrica que cumpra as exigências das instalações modernas, tem de apresentar, entre outras, as seguintes capacidades:

- Acoplamento de diversos níveis de sinal;
- A separação galvânica segura entre a entrada e a saída;
- Amplificação de sinais de nível baixo;
- A maior insensibilidade possível às perturbações eletromagnéticas e possibilidades flexíveis de configuração.

As características típicas dos relês de interface, assim designados porque são freqüentemente aplicados como elementos de acoplamento, satisfazem tais exigências.

MÓDULOS DE INTERFACE ANALÓGICOS
CONVERSÃO DE SINAIS

Na tecnologia de instrumentação são usados vários tipos de sinais. Os sinais de processo como mbar, psi, ar condicionado (AVAC), as sondas Pt 100, ou termopares, que necessitam ser convertidos e isolados antes de serem interligados aos cartões de entrada analógica de CLP, ou sistemas de E / S distribuídas.

Sendo assim, na maioria dos casos, é necessário realizar uma conversão de medida, para assegurar a correta adaptação entre os transmissores, periféricos de medida e o equipamento de controle.

CONVERSORES MODULARES PARA INSTRUMENTAÇÃO

Só é garantido um processamento seguro dos sinais, quando a transmissão das informações for feita sem qualquer tipo de interferência entre os dispositivos de medida, de controle e regulação dos sensores, atuadores e periféricos.

Os sinais analógicos de baixo nível, estão mais sujeitos às perturbações comuns em ambientes industriais agressivos. Por isso eles requerem meios seguros de transmissão.

Módulos que possuem interface analógica constituem um acessório indispensável para automação que deverá assegurar uma conversão e transmissão precisas no processamento dos dados.

DIFERENÇAS DE POTENCIAL À TERRA

A precisão de transmissão de sinais analógicos à longas distâncias é influenciada pela resistência das linhas de transmissão e pelas diferenças de potencial entre essas linhas e a terra.

Se a terra for utilizada como referência para a aquisição do sinal e para a recepção da medida, as eventuais diferenças de potencial de terra entre os dois locais serão diretamente refletidas na medida.

No caso de linhas de transmissão longas essas ddps podem atingir valores superiores a 200 V. Em geral os módulos de entradas analógicas possuem 8, 18 ou 32 canais, que partilham o mesmo conversor analógico - digital por meio de um multiplexador. Por este motivo estes possuem a mesma referência de tensão, e uma massa comum.

Apesar da comutação entre canais, realizada pelos multiplexadores, ser muito rápida, eles apenas suportam surtos modo comum muito pequenos.

Se existirem diferenças de potencial entre os vários conversores de medida, sobretudo se eles se situarem em locais diferentes da instalação é recomendável que os vários sinais analógicos sejam isolados galvanicamente entre si e das entradas analógicas. Além disso, os circuitos de retorno pela terra são uma fonte para diferenças de potencial de terra entre os vários pontos de um sistema de medida distribuído. O resultado são valores de medidas incorretos.

Módulos analógicos de isolamento galvânico solucionam os problemas de diferenças de potencial e de retorno pela terra. Realizam o isolamento galvânico entre a entrada e a saída analógicas e, dependendo dos modelos, da tensão de alimentação.

AMPLIFICAÇÃO DE SINAIS

No caso de distâncias de transmissão longas, são normalmente utilizados os sinais de corrente de 0-20 mA ou 4-20 mA, graças a sua maior imunidade à interferências.
Contudo é preciso garantir que a resistência da linha de transmissão somada à carga do equipamento receptor não ultrapassem a carga máxima suportada pelo conversor de medida.

Por outro lado, se existir um número elevado de equipamentos receptores ligados em série, para o mesmo sinal analógico (por ex. indicadores, registradores, reguladores automáticos programáveis, etc), a carga pode ser excessiva sobre a saída dos conversores.

São usados módulos de interface analógica para a amplificação de sinal, possuindo, segundo alguns fabricantes, uma baixa resistência de entrada da ordem de 50Ω e supor-tando na saída uma carga máxima da ordem de 500Ω.

Este valor é suficiente para o processamento de um circuito de medida com vários km de comprimento.

NÍVEL 5
MÓDULOS DE COMUNICAÇÃO

Entendem-se como circuitos de comunicação externos toda rede de condutores metálicos de sinais, externos às edificações, e que são responsáveis por estabelecer a comunicação entre os vários elementos pertencentes a um sistema de automação nelas situados. Seja na

forma de circuitos dedicados (linhas privativas), seja na forma de circuitos comutados (linhas discadas).
A proteção elétrica destes circuitos deve ser feita através de dispositivos cujas especificações e critérios de aplicação foram anteriormente mencionados e estão respaldados na NBR-14306:1999. Tais dispositivos deverão ser instalados no DG - Distribuição Geral de telefonia, ou nos HUBs das linhas de dados da edificação, quando existirem. Neste caso, tanto o terminal terra de cada dispositivo quanto a blindagem do cabo telefônico, quando existir, bem como os DPSs apropriados deverão ser vinculados ao TAT - Terminal de Aterramento de Telecomunicações.

SISTEMAS COM RÁDIO

Em sistemas onde são utilizados equipamentos de rádio com antenas instaladas externamente à edificação, deve - se obedecer todas as recomendações contidas na NBR-5419:2005 e NBR-5410:2008, executando o aterramento da estrutura que suporta a antena e incluir o sistema irradiante dentro do volume de proteção imposto pelo SPDA.

Recomenda-se ainda, quando se utiliza cabo coaxial como linha de transmissão entre a antena (ou módulo externo) e o equipamento interno, aterrar a malha deste cabo a cada 20m, interligando-o convenientemente (direta ou indiretamente) às estruturas metálicas da torre e incluir dispositivos de proteção contra surtos específicos para cada sistema de modo a minimizar os efeitos de eventuais descargas atmosféricas, p. ex.:

Nas proximidades do mastro ou torre, deve-se inserir no cabo coaxial um DPS (centelhador) devidamente aterrado que cumprirá ainda a função de aterramento da malha do cabo coaxial. Para sua especificação, deve-se levar em consideração:

- A impedância da linha de transmissão;
- Os tipos de conectores coaxiais utilizados;
- A faixa de freqüência do sistema;
- A máxima perda de inserção permitida;
- A máxima relação de onda estacionária permitida;
- A maior potência (RE) do sistema;
- A máxima distorção por intermodulação permitida (quando aplicável);
- A mínima corrente impulsiva de descarga (considerando forma de onda (8/20)μs;
- O número de descargas suportadas sem degradação;
- Testes ambientais suportáveis (resistência a água, raios solares, maresia etc);
- A máxima energia transferida ao sistema (considerando forma de onda 8/20 μs na corrente de descarga especificada) ou a máxima tensão residual ou de disparo nas mesmas condições.

Nas proximidades do equipamento, deve - se incluir na linha de transmissão um protetor coaxial à gás ou um Stub (somente se não existir a presença de V_{cc} na linha).

Para sua especificação devem ser considerados os mesmos critérios dos centelhadores indicados anteriormente. A inserção destes DPSs deve ser executada preferencialmente nos pontos de conversão de cabos coaxiais rígidos para cabos flexíveis. Os protetores a gás deverão ser vistoriados periodicamente em manutenções preventivas (sempre após a ocorrência de raios) ou corretivas e proporcionando a substituição das cápsulas de gás danificadas.

4. ANEXO A

ELABORAÇÃO DA METODOLOGIA DE PROTEÇÃO DOS MACROMEDIDORES DE VAZÃO (MMV), CONTRA OS EFEITOS INDIRETOS CAUSADOS POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

ÍNDICE:

• Objetivo

• Comentários preliminares

• Os MacroMedidores de Vazão (MMV)

• Descrição básica de funcionamento

• Efeitos a serem considerados

• Diretrizes de trabalho

• Embasamento teórico sobre interferências eletromagnéticas em circuitos elétricos de energia e de sinal

• Instalação de proteção contra surtos

• Apêndice 1 – Eqüipotencialização

• Apêndice 2 – As Interferências Eletromagnéticas nos Circuitos

• Apêndice 3 – Atenuação das Interferências Eletromagnéticas com a utilização de Massas Metálicas

• Apêndice 4 - Regras Básicas de Instalação e posicionamento dos condutores

• Apêndice 5 - Dados de referência da tabela 49 da NBR 5410:2008

• Procedimentos de proteção

• Recomendações

• Materiais

ÍNDICE DE FIGURAS:

• Figura A1 – Conceito de funcionamento

• Figura A2 – Configuração da blindagem dos condutores de energia elétrica e de sinal

• Figura A3 – Medição da resistência de contato entre emendas da eletrocalha com microhmímetro

• Figura A4 – Interligações das massas ao aterramento

• Figura A5 – Condutor de acompanhamento em bandejamento

• Figura A6 – Alternativa para atenuação das interferências eletromagnéticas em compartimento não metálicos

• Figura A7 – Alternativa para atenuação das interferências eletromagnéticas em emendas de condutores

• Figura A8 – Interligação da blindagem de cabos de sinal às massas metálicas

• Figura A9 – Desenho referencial de posicionamento

• Figura A9a – Instalação dos DPS Classe 1. Proteção contra surtos provocados por descargas atmosféricas diretas

• Figura A10 – Desenho referencial de posicionamento

• Figura A10a – Instalação dos DPS Classe 2. Proteção contra surtos induzidos

• Figura A11 – Interligação entre barramentos de eqüipotencialização e infra-estrutura de aterramento

• Figura A12 – Representação dos surtos do tipo modo comum e modo diferencial

• Figura A13 – Valores comparativos de atenuação para diferentes tipos de blindagem

• Figura A14 – Comparação de interligação e encaminhamento de condutores visando a redução de área susceptível a interferências eletromagnéticas

• Figura A15 – Determinação dos níveis de proteção contra surtos

ÍNDICE DE TABELAS:

• Tabela A1 – Tensão de suportabilidade a impulso de tensão (U_p), segundo tabela 31 da NBR 5410:2008

• Tabela A2 – Valor mínimo de tensão de operação contínua (U_c), de um DPS em função do esquema de aterramento segundo tabela 49 da NBR 5410:2008

• Tabela A3 – Especificações mínimas para os DPS

OBJETIVO:

Este anexo tem o objetivo de descrever sucintamente o funcionamento de três tipos de MMV e, apresentando a teoria envolvida, desenvolver um conjunto específico de atitudes para prover proteção contra surtos causados por descargas atmosféricas nas instalações dos mesmos.

Daqui a diante denominaremos:
• MMV-E os medidores do tipo eletromagnéticos;
• MMV-T os medidores do tipo turbina e
•MMV-P os medidores do tipo hidrômetro com saída de pulsos.

COMENTÁRIOS PRELIMINARES:

Mais de uma causa foi detectada para o mau funcionamento dos MMV, indepen-dentemente da necessidade da proteção contra surtos. Mesmo não sendo objeto deste trabalho, entendemos que seja importante numerá-las para que novos estudos possam ser considerados buscando o crescente aprimoramento do processo.
Salientamos:

• Sobretensões temporárias: causadas, geralmente, pela alimentação originada na conces-sionária;
• Bolhas de ar na tubulação: causadas por cavitação nas adutoras.

OS MACROMEDIDORES DE VAZÃO:

DESCRIÇÃO BÁSICA DE FUNCIONAMENTO

A descrição realizada a seguir visa delinear a necessidade da proteção a ser executada segundo este anexo. Sendo assim, será abordada a aplicação específica ao propósito de proteger o conjunto formado pelos elementos primário, secundário, transmissão remota de dados e condutores de interligação da instalação, contra os surtos de tensão causados pelos raios.

O conjunto funciona com elementos primários instalados nas tubulações de água e esgoto com a função de medir a vazão, transformando-a em sinais. Sinais estes que serão captados pelos elementos secundários e transformados em dados cujo significado possa subsidiar o controle de produto a ser adicionado ao sistema (cloro, flúor, etc.), a detecção de eventuais vazamentos e, ou demais medições pertinentes ao processo. Na maior parte dos casos, os sinais dos elementos secundários são transmitidos para as unidades remotas de controle que os transmitem, através de modems e linhas telefônicas, para o Centro de Controle Operacional (CCO). Há casos em que a leitura e o controle são realizados na própria instalação, através de visualização direta no painel do elemento secundário.

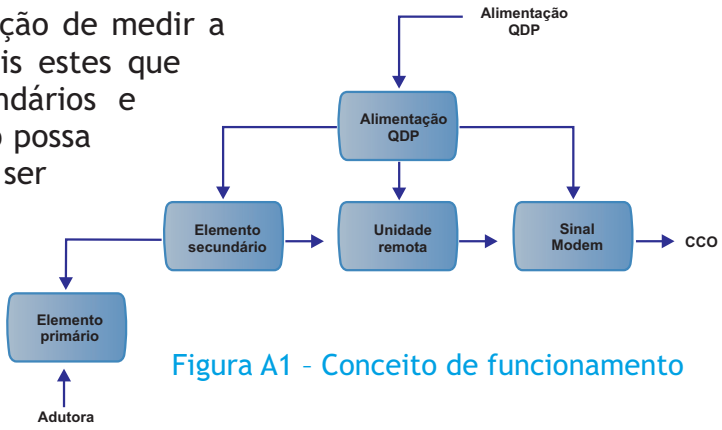


Figura A1 – Conceito de funcionamento

EFEITO A SER CONSIDERADO

Quando uma descarga atmosférica incide em uma estrutura, edificação ou mesmo no solo, seus efeitos indiretos (correntes induzidas e ondas eletromagnéticas trafegantes) podem atingir distâncias consideráveis, até 5 km, a partir do ponto de incidência. Caso os MMV não estejam devidamente protegidos contra esses efeitos a probabilidade de ocorrer erro de leitura ou mesmo queima de seus componentes é muito elevada.

Além disso, fruto de inspeções realizadas em campo notou-se uma grande variedade de tipos de instalação existente para o mesmo modelo de MMV. Além de esses procedimentos variarem em forma e em conceito, muitos conflitavam com os princípios da teoria da compatibilidade eletromagnética (CEM).

Sendo assim a SABESP recomenda um conjunto de medidas padrão que vise a proteção e a padronização da instalação elétrica de energia e de sinal dos componentes dos MMV. Esta recomendação visa alcançar maior confiabilidade e facilidade na manutenção da mesma, o que certamente trará redução de tempo de parada e consequentemente menos custos para a empresa.

Para os propósitos a que se destina este trabalho, a teoria mostrada a seguir direciona o conjunto de medidas de proteção a serem adotadas nos três tipos de MMV, não importando a forma como o sinal elétrico é captado pelo elemento primário.

DIRETRIZES DE TRABALHO:

Deve ser desenvolvido um procedimento para melhoria das instalações em função da minimização das interferências eletromagnéticas trafegantes (radiadas e conduzidas). O procedimento que consta deste anexo está embasado na bibliografia apresentada no final do documento.

Procedimentos complementares, específicos, serão encontrados no item “Procedi-mentos de Proteção”.

Para melhor compreensão por parte do usuário deste manual a complementação teórica que provê consistência técnica ao texto apresentado a seguir encontra-se nos apêndices de número 1 a 4.

EMBASAMENTO TEÓRICO SOBRE INTEREFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICAS EM CIRCUITOS ELÉTRICOS DE ENERGIA E DE SINAL:

Todo o percurso dos condutores entre elementos (primário, secundário, transmissão de dados e painel de alimentação) deverá ser executado dentro de elementos metálicos: dutos, caixas de passagem e conexões. A continuidade elétrica dos invólucros metálicos que abrigam a instalação deve ser mantida por todo o percurso da instalação através da conexão por rosca ou com chapas metálicas aparafusadas nos dois elementos.

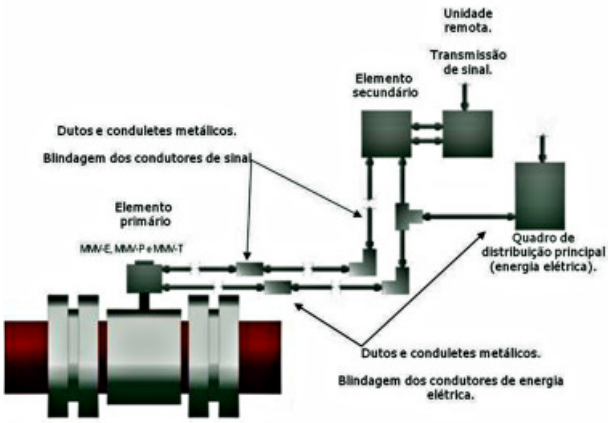


Figura A2 – Configuração genérica da blindagem dos condutores de energia elétrica e de sinal

A resistência de contato, medida com o microhmímetro deverá ser de, no máximo, 200 mΩ por emenda ou conexão entre elementos metálicos, tais como: eletrodutos (rígidos ou flexíveis), conduletes e eletrocalhas.

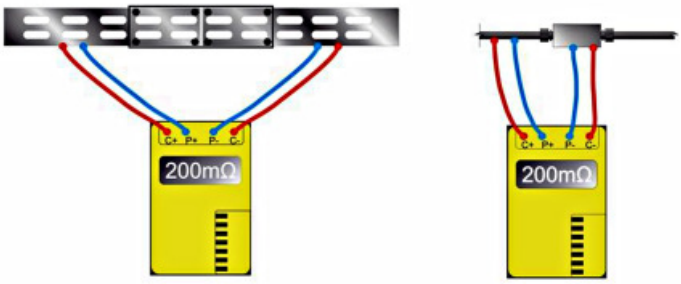


Figura A3 – Exemplo de medição da resistência de contato entre emendas de componentes de linhas elétricas com microhmímetro

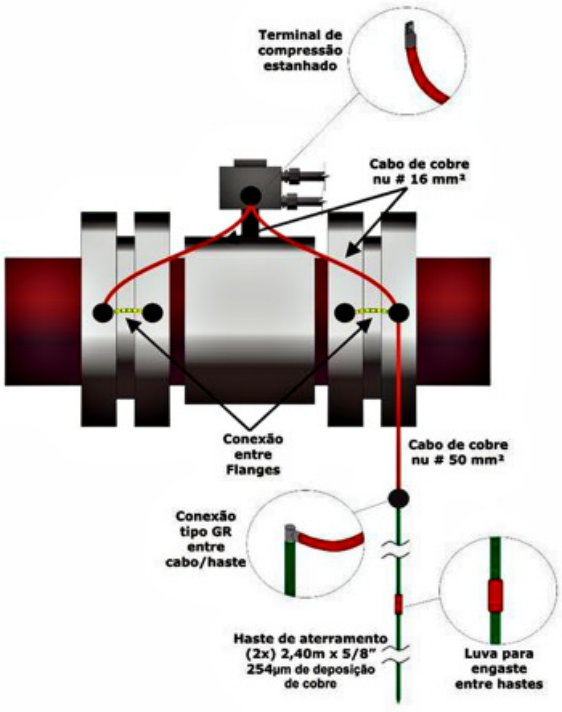


Figura A4 – Interligações das massas metálicas ao aterramento

Os condutores de cobre nu utilizados para aterramento dessas massas devem estar firmemente fixados às mesmas através de solda exotérmica ou conectores mecânicos bimetálicos, para evitar a corrosão causada por efeito galvânico.

Quando o encaminhamento desses cabos for feito em bandejamento, um condutor de cobre nu deve acompanhar todo o percurso. Ele deve estar conectado ao bandejamento a cada 2,5 m por parafusos fendidos, bimetálicos ou estanhados, com rosca métrica, porca e arruela. A secção transversal mínima destes cabos deverá ser de 16 mm^2.

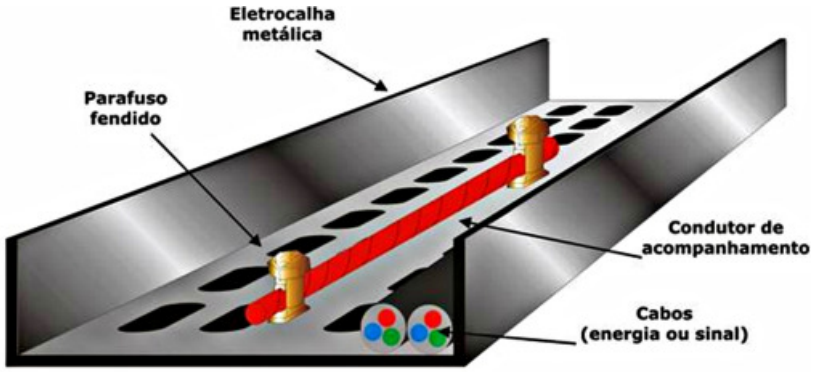
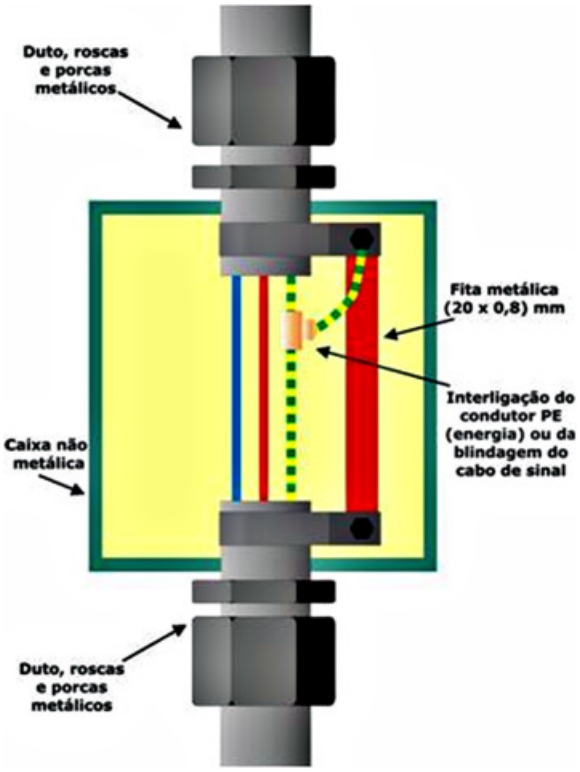


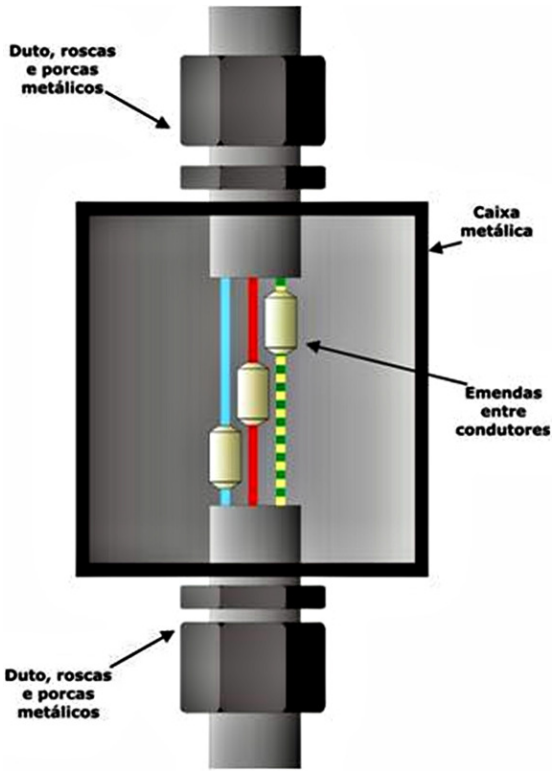
Figura A5 – Condutor de acompanhamento em bandejamento



As caixas de passagem, quando não metálicas, devem ter as extremidades dos tubos metálicos trespassadas ao seu interior em, pelo menos, 0,2m. As extremidades dos tubos metálicos devem ser interligadas por fitas metálicas, por exemplo, de latão perfurado com dimensões 20mm de largura e 0,8 de espessura. Esta fita deverá ser firmemente fixada por parafusos e abraçadeiras de aço inoxidável ou bronze estanhado. Como alternativa pode ser usada uma cordoalha chata de fios trançados de cobre estanhado fixada da mesma maneira.

Figura A6 – Alternativa para atenuação das interferências eletromagnéticas em compartimentos não metálicos

Emendas devem ser evitadas em todos os condutores da instalação. Quando sua execução for estritamente necessária, deve ser realizada dentro de padrões confiáveis, que possibilitem a inclusão da menor impedância possível ao sistema. Devem ter suportabilidade mecânica adequada e estarem posicionadas dentro de invólucros metálicos (caixas de passagem ou conduletes).



Todos os cabos de sinal devem ter suas blindagens aterradas nas duas extremidades. Em casos onde esse tipo de aterramento puder causar problemas de interferência no sinal, um dos lados da blindagem do cabo deverá ser aterrada indiretamente, através de um centelhador com IIMP ⩾ 10kA, (8/20) µs.

Figura A7 – Alternativa para atenuação das interferências eletromagnéticas em emendas de condutores

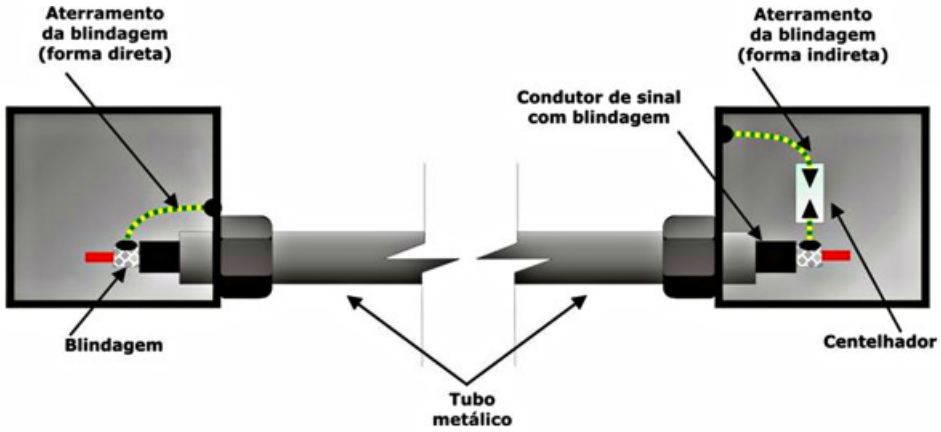


Figura A8 – Interligação da blindagem de cabos de sinal às massas metálicas

INSTALAÇÃO DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS:

As medidas indicadas para melhoria das condições de equipotencialização e atenuação das interferências eletromagnéticas nas instalações devem ser complementadas com a instalação de dispositivo de proteção contra surtos (DPSs), no mínimo, nas linhas de energia e de sinal que entrem ou saiam dos equipamentos para o campo. Essa complementação consiste em:

Para os locais onde haja alta probabilidade de incidência direta de raios (o método para determinar essa probabilidade consta do item “Avaliação da necessidade de proteção”), instalar DPS, classe 1, IIMP ⩾ 40kA, (10/350)µs, no primeiro nível de proteção. Essa instalação deverá ser executada dentro de uma caixa metálica junto ao barramento de equipotencialização principal (BEP). A localização do BEP será do lado interno à parede onde os condutores de energia penetrem a edificação (ponto de entrada da instalação). O comprimento total dos cabos de interligação entre os DPS e o BEP dentro dessa caixa deve ser de, no máximo, 0,5m. A bitola mínima para os condutores de interligação é de 16 mm². A este circuito deve ser instalado um dispositivo de proteção contra curto circuito, em série com o DPS, cuja capacidade de interrupção seja compatível com a corrente presumida de curto-circuito no ponto da instalação e com corrente nominal definida conforme parâmetros fornecidos pelo fabricante do DPS. A coordenação do dispositivo deve ser adequada com o condutor utilizado. Além da segurança esta exigência visa facilitar a manutenção dos DPSs.

Os DPSs do primeiro nível de proteção devem ser ligados entre todos os condutores vivos e o BEP.

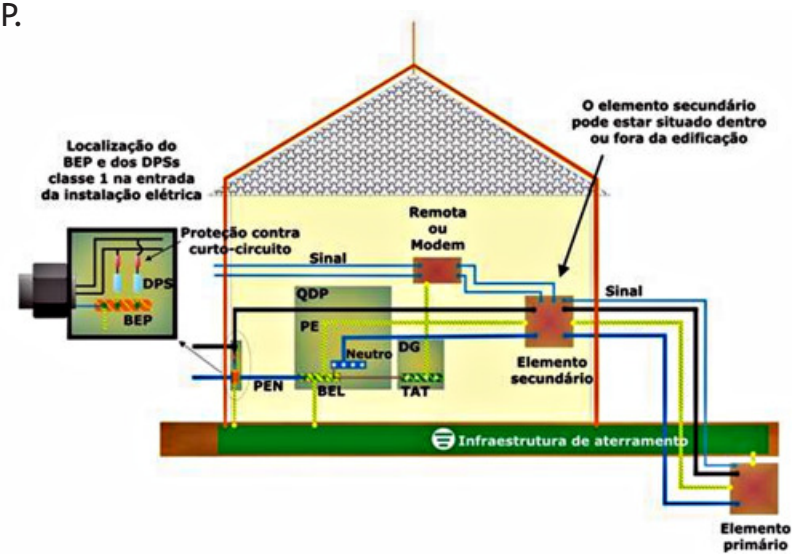


Figura A9 – Desenho de referência de posicionamento do DPS classe 1 para a linha de energia

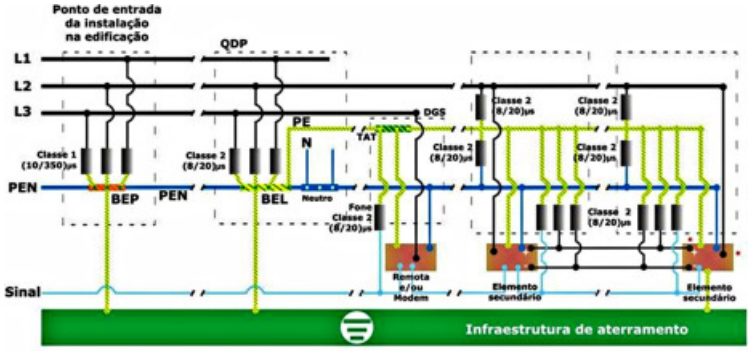


Figura A9A – Instalação dos DPS classe 1. proteção contra surtos provocados por descargas atmosféricas diretas

O elemento primário pode ser alimentado tanto em 127 V_{ac} como em 24 V_{cc}. Essas duas possibilidades são mostradas no desenho.

No segundo nível de proteção da instalação a barra de aterramento do próprio quadro de energia que alimenta os equipamentos acumulará a função de barramento de equipotencialização local (BEL) e os DPS, classe 2, I_N= 20 kA, (8/20)µs, podem ser instalados dentro do quadro.

Todos os DPS das linhas de energia devem estar ligados entre os condutores vivos e os barramentos (BEP ou BEL), da forma mais curta e retilínea possível. A bitola mínima para os condutores de interligação é de 4mm².

Para os locais onde a probabilidade de incidência direta de raios seja desprezível (ver o item "Avaliação da necessidade de proteção"), instalar DPS, classe 2, I_N= 20kA, (8/20)µs, no primeiro nível de proteção da instalação. Essa instalação poder ser executada dentro do próprio quadro de distribuição principal (QDP), não importando a distância entre ele e o ponto de entrada da instalação na edificação. A barra de aterramento do QDP acumulará a função de BEP. Todos os DPS das linhas de energia devem estar ligados entre os condutores vivos e o BEP da forma mais curta e retilínea possível. A bitola mínima para os condutores de interligação entre DPS e BEP é de 4mm².

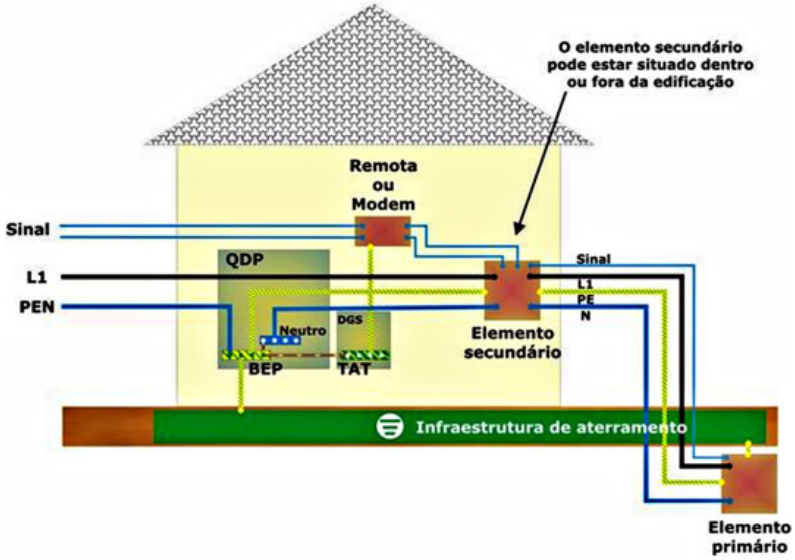


Figura A10 – desenho de referencia de posicionamento

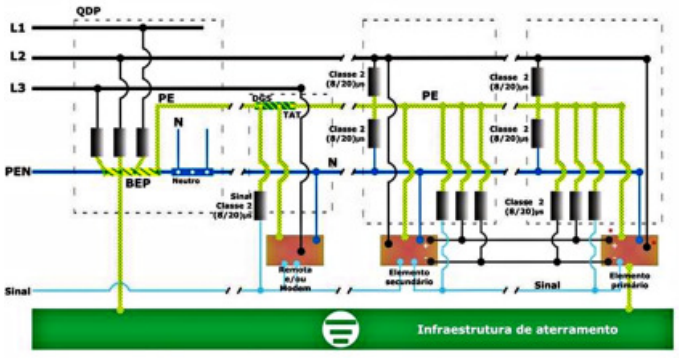


Figura A10A – Instalação do dps classe 2. proteção contra surtos induzidos

O elemento primário pode ser alimentado tanto em 127 Vac como em 24 Vcc. Essas duas possibilidades são mostradas no esquema.

Um segundo nível de proteção para os circuitos de energia deve ser estudado, tendo como base a suportabilidade dos equipamentos a impulsos. A tabela A1, que se refere aos valores existentes na tabela 31 da NBR 5410:2008, fornece os níveis mínimos adequados para essa coordenação. Os níveis de suportabilidade exigidos pelo fabricante dos MMV deverão ser seguidos apenas se estes forem mais restritivos que os mostrados na tabela A1.

É importante reafirmarmos que a determinação da probabilidade da ocorrência de danos em edificações ou estruturas é feita através dos cálculos do anexo B da NBR-5419:2005, que consta do item "Avaliação da necessidade de proteção" deste manual. Esse cálculo vincula a instalação de SPDA ao fato da probabilidade de ocorrer pelo menos um dano na edificação ou estrutura causado pela incidência de descarga atmosférica direta a cada 1000 anos. Toda vez que um estudo para verificação da necessidade de instalação do DPS classe 1 for necessário é recomendável executar o cálculo para avaliação da necessidade da proteção, mesmo se a edificação já possuir SPDA instalado. A justificativa para essa afirmação baseia-se na possibilidade da ocorrência de alterações no local, por exemplo: Quando prédios vizinhos, mais altos são construídos após a instalação do SPDA na edificação estudada. Se esta estiver dentro do volume de proteção do(s) prédio(s) ali construído(s), a utilização de DPS classe 2 é perfeitamente aceitável, segundo a NBR 5410:2008.

Tensão nominal da instalação (V)		**Tensão de impulso suportável requerida (kV)**			
		Categoria de produto			
Sistemas trifásicos	Sistemas monofásicos com neutro	Produto a ser utilizado na entrada da instalação	Produto a ser utilizado em circuitos de distribuição e circuitos terminais	Equipamentos de utilização	Produtos especialmente protegidos
		Categoria de suportabilidade a impulsos			
		IV	**III**	**II**	**I**
120/208 127/220	115–230 120–240 127–254	4	2,5	1,5	0,8
220/380 277/480	–	6	4	2,5	1,5

TABELA A1 – SUPORTABILIDADE A IMPULSO (UP), SEGUNDO TABELA 31 DA NBR 5410:2008.

Para as linhas de sinal, os DPS devem ser de três estágios (comumente são utilizados centelhador, varistor e diodo, coordenados por termistores ou indutores), $I_N \geqslant 10kA$, (8/20)μs. A instalação desses DPS deve ser executada sempre nas duas extremidades do cabo, o mais próximo possível dos equipamentos servidos por esses condutores.

APÊNDICE 1 - EQUIPOTENCIALIZAÇÃO:

Quando um raio incide em uma área, tem-se a formação de linhas de corrente no solo com centro no ponto de impacto do raio, seguindo caminhos bastante irregulares, conforme a resistividade do solo. Ao longo dessas linhas de corrente surgem potenciais decrescentes a partir do ponto de impacto. Unindo os pontos de mesmo potencial, têm-se linhas eqüipotenciais concêntricas. Se o solo tivesse resistividade constante em todas as direções, as linhas de corrente seriam retas, radiais, divergindo do ponto de impacto e as de potencial seriam círculos concêntricos com centro no ponto de impacto. Essa configuração justifica as tensões de passo a que os seres vivos são submetidos quando estão em campo aberto, próximo do ponto de incidência de raio.

Analogamente, essas tensões aparecem entre os terminais dos equipamentos, os condutores das instalações das linhas elétricas de energia, de sinal e os aterramentos ou as massas metálicas a ele ligadas. Este fenômeno pode provocar desde a queima dos componentes dos equipamentos até danos “menores”, mas que podem causar diferenças em leituras e proporcionar erros de medição. Para que essas diferenças de potencial sejam atenuadas é preciso que os aterramentos dos sistemas de energia elétrica e de sinal da edificação sejam o mesmo ou estejam devidamente interligados. É por isso que a NBR 14306:1999 determina que haja um barramento para aterramento dos componentes de telecomunicações chamado de TAT – terminal de aterramento de telecomunicações e a NBR-5410:2008 determina a existência do BEP. Por determinação desta ultima norma o aterramento do TAT deve ser executado através da interligação deste ao BEP. Esta interligação deve ser feita da forma mais curta e reta possível, de maneira a oferecer a mínima impedância ao conjunto. Com isso as entradas das linhas de energia, de sinal e as massas metálicas poderão subir de potencial, com uma pequena variação entre elas, operadores e instalação. Essas medidas somadas a instalação dos DPSs garantem variações de tensão impulsiva dentro dos níveis de suportabilidade originalmente projetado para o local.

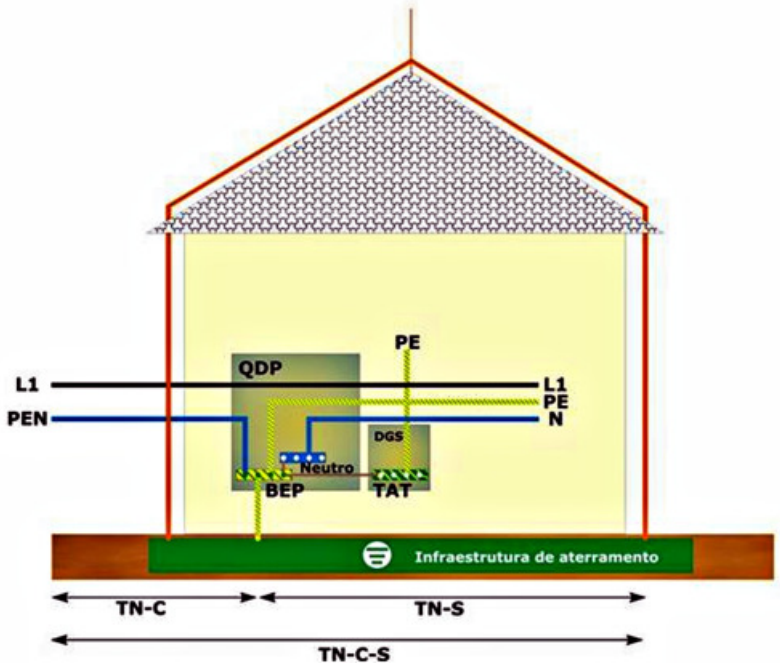


Figura A11 – Interligação entre barramentos de equipotencialização e infra-estrutura de aterramento

APÊNDICE 2 - AS INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICAS NOS CIRCUITOS:

Os Equipamentos da Tecnologia da Informação (ETI), anteriormente definidos podem ser considerados como sendo todos os equipamentos microprocessados ou que tenham uma, duas ou mais entradas e/ou saídas (energia e sinal). Os MMV e seus componentes agregados, por princípio, devem ser considerados como ETI. Sendo assim, podem ter seu funcionamento prejudicado ou ficarem susceptíveis a destruições totais ou parciais dos componentes internos. Esse efeito se origina nas tensões que surgem em suas linhas de alimentação elétricas (energia e sinal), oriundas de interferências causadas por ondas eletromagnéticas trafegantes ou ondas conduzidas.

As primeiras são causadas por campos magnéticos, eletrostáticos estacionários ou por ondas eletromagnéticas e são medidas em Volt por metro (V/m), definem campo elétrico (E) ou em Ampère por metro (A/m), definem campo magnético (H) enquanto as outras se propagam ao longo dos condutores metálicos dos circuitos e são medidas em Volts (V) para tensão e Ampères (A) para corrente. Ocorrem, geralmente, devido ao impacto direto de raio sobre ou próximo a estrutura que a abriga.

Todas as perturbações de modo comum, também chamadas de modo paralelo, longitudinal ou assimétrico aparecem no conjunto de condutores de um circuito na mesma direção. A corrente de retorno é pela terra, pelas conexões ao aterramento e os condutores de proteção (PE ou T), pelas blindagens dos cabos e etc. A diferença de potencial é medida entre a massa do equipamento (ponto de referência de tensão) e a terra ou aterramento. Tipicamente são causadas por quedas de raios nas proximidades. As de modo diferencial também são chamadas de modo simétrico, série, ou normal e são medidas entre dois condutores vivos. Elas aparecem em oposição de fase entre dois condutores de um circuito (de ida e de volta) e as mais severas são aquelas que ocorrem em “baixa freqüência”, tipicamente, 9 kHz. Podem ser citados os seguintes efeitos: flutuações de tensão, vales ou afundamentos da tensão (sags ou dips em inglês), flicker nas lâmpadas, variações de freqüência, harmônicos, picos de tensão e etc.

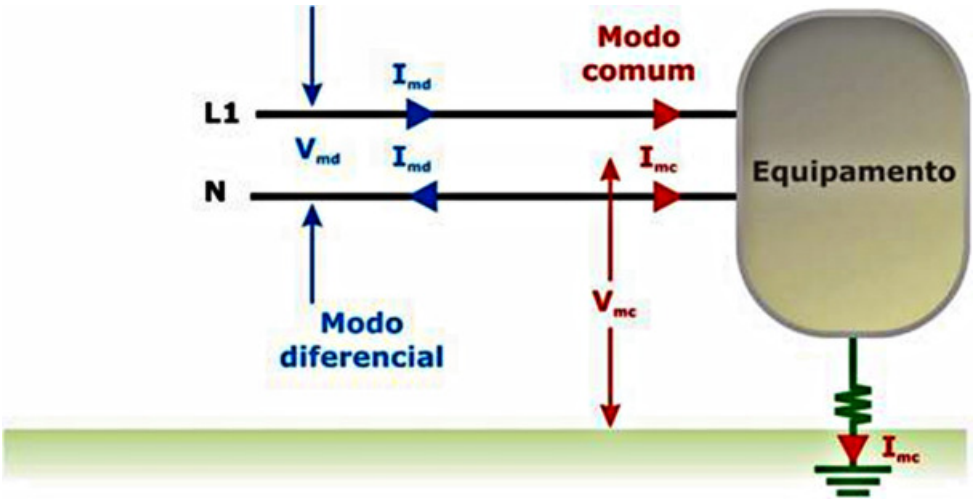


Figura A12 – Representação dos surtos do tipo modo comum e modo diferencial

Como é difícil eliminar as perturbações eletromagnéticas ou tornar os ETIs insensíveis aos seus efeitos resta aos projetistas e usuários algumas outras possibilidades como estudar a topologia ou lay-out mais adequado quando da instalação dos equipamentos; a blindagem, e a redução do valor das tensões e correntes através de DPSs. Um meio eficaz que impede a circulação de corrente induzida é a utilização de fibras óticas ou de acopladores óticos.

Por exemplo, os campos magnéticos ou elétricos estacionários, mas que mudam de intensidade só perturbam quando os condutores estão próximos, um simples afastamento é suficiente para eliminar as perturbações causadas por eles. Outro ex.: as sobretensões causadas pelos raios podem atingir algumas dezenas de kA e alguns kV, neste caso os circuitos necessitarão de blindagem para minimizar as interferências por acoplamento e da instalação de DPS para reduzir os surtos.

Cabe reforçar a informação que variáveis temporárias como: sobretensões causadas por perda do condutor de neutro, curto circuito, variações de tensão oriundas da concessionária (sub ou sobretensões) devem ser motivo de estudo complementar, pois as medidas aqui abordadas não contemplam a proteção para este tipo de interferências.

APÊNDICE 3 - ATENUAÇÃO DAS INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICAS COM A UTILIZAÇÃO DE MASSAS METÁLICAS

O efeito de atenuação de um tipo de interferência eletromagnética por uma estrutura metálica, que em condição normal não conduz corrente elétrica (massa metálica), é definido pela relação entre a amplitude da interferência de modo comum, que aparece em um cabo instalado em um local distante de qualquer massa e a amplitude da interferência no mesmo cabo devido à mesma perturbação, mas com o cabo instalado firmemente conectado à massa ao longo de todo seu comprimento.

O efeito de atenuação é um dos fatores chave em compatibilidade eletromagnética (CEM), sendo eficiente e de custo relativamente baixo, proporcionando a troca de dados em boas condições, isto é, limitando a interferência captada pelos cabos de sinal, reduzindo o acoplamento de modo comum.

Qualquer estrutura metálica, que esteja próxima, (em contato) e em paralelo ao longo (de uma ponta a outra) de um cabo de sinal pode proporcionar dois efeitos favoráveis:

Uma interligação mais eficiente das massas (mais fechada):

No caso de corrente contínua a malha não atua como um atenuador, seu efeito é reduzir a resistência entre as massas e não o de proporcionar um efeito de blindagem. O efeito galvânico da malha é independente da proximidade entre os cabos e a massa.

Um efeito de atenuação (blindagem):

Para situações de alta freqüência, o efeito de proximidade adiciona-se ao mencionado acima, se o conceito de “impedância” substituir o de “resistência”. Ele é conseguido pela conexão de equipamentos os quais estão interconectados à massa das estruturas metálicas que estão próximas dos cabos de dados. O benefício é uma blindagem eficiente, geralmente com baixo custo de execução.

Deve-se ter em mente que qualquer cabo é potencialmente uma excelente antena (receptora ou emissora) de banda larga, especialmente na faixa métrica (30 MHz a 300 MHz). Um método simples eficiente e barato de reduzir sua capacidade de radiar, consiste em instalar o cabo tão próximo quanto possível de uma estrutura metálica ao longo de seu comprimento, isto é, junto a uma bandeja, dentro de um duto metálico, viga mestra estrutural, etc. O efeito atenuante de uma massa condutora colocada próxima de um cabo de sinal pode ser explicado como segue: Na ocorrência de uma perturbação por onda eletromagnética, é induzida uma corrente (de Foucault) na massa condutora. Esta corrente gera, pela lei de Lenz, um campo magnético que atua em sentido oposto ao campo que produziu a corrente. Um cabo de dados próximo à massa será afetado pela diferença entre os dois campos, denominado campo residual, que é, evidentemente, de intensidade muito menor que a do campo original. Um cabo de sinal muito próximo e que segue toda a extensão de uma massa condutora é menos exposto a perturbações do tipo modo comum, o mais severo. Os efeitos de atenuação podem ser mais efetivos se as massas forem dispostas de modo à "envolver", sempre que possível, os cabos a serem protegidos. Desse modo, uma blindagem metálica entrelaçada, incorporada aos cabos de sinal e interligada às massas, protege os condutores envolvidos contra freqüências acima de 1 MHz com um fator de atenuação superior a 300. É muito mais difícil e de custo elevado blindar todas interligações em uma instalação do que escolher rotas que proporcionem boa atenuação para os cabos. É suficiente fixar, de ponta a ponta, os cabos a massas condutoras. Essas massas devem ser interligadas com continuidade elétrica entre si e a todas armaduras estruturais próximas. A quantidade (e, em conseqüência, o valor da impedância) das ligações de interconexão é de importância primordial. A mais eficiente é a de contato direto, retilíneo e curto entre duas chapas metálicas.

A continuidade elétrica de uma ponta a outra e a correta ligação às massas nas extremidades garantem um fator de atenuação eficiente. É recomendável conectar, espaçadamente, as bandejas ou dutos de cabos às estruturas condutoras do edifício ao longo da rota dos mesmos. O fator de atenuação não é reduzido por esses contatos adicionais, mas a malha de massas é melhorada. As massas metálicas não devem ser interrompidas: os dutos, as bandejas, leitos e outras estruturas servindo como massas devem ser interligados com chapas finas ou cordoalhas trançadas, chatas e largas, já que a ligação com cabos reduz significativamente a atenuação.

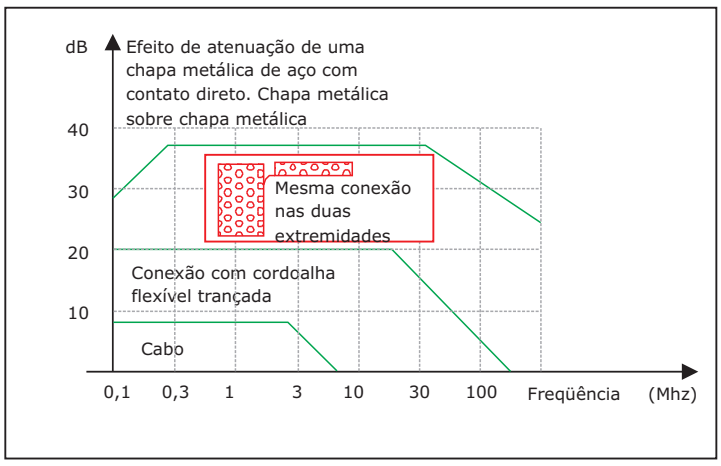


Figura A13 – Valores comparativos de atenuação para diferentes tipos de blindagem.

Para limitar o fenômeno da transferência de energia eletromagnética (acoplamento) de uma linha de transmissão para outra (cross-talk), os cabos de energia elétrica, quando instalados em bandejamento não devem ser posicionados ao lado (próximos) de cabos de sinal. O ideal é instalar dutos ou bandejas de cabos separados, isto é, uma para medições e funções similares, outra para circuitos de controle e sinalização e outra para os cabos de energia elétrica. Um condutor de cobre proporciona um fator de atenuação da ordem de 5 se instalado ao longo de todo o comprimento e próximo ao cabo de sinal a ser protegido. É portanto vantajoso associar cabos de sinal com cabos de interligação (dos aterramentos) em canaletas de cabos (por exemplo, entre duas edificações separadas). Isto ainda é verdadeiro mesmo que os aterramentos sejam interligados em outros pontos. É sempre possível adicionar um condutor de massa adjacente a um cabo de sinal particularmente sensível, se necessário. O cabo de massa é comumente denominado "cabo de acompanhamento" ver exemplo na figura A5.

Um cabo enterrado conduzindo uma corrente alternada de modo comum cria um campo magnético envolvente no solo. Este campo (concêntrico) origina correntes de Foucault no solo e a energia magnética é dissipada sob a forma de calor. As correntes de modo comum são amortecidas por esse efeito, não exatamente da mesma maneira descrita acima, mas de maneira análoga a de um transformador com carga resistiva. Esta ação de amortecimento é particularmente eficiente quando a interferência é devida a trens repetitivos de oscilações de ondas transitórias amortecidas ("burst"). As correntes de Foucault no solo aumentam o grau de amortecimento.

APÊNDICE 4 - REGRAS BÁSICAS DE INSTALAÇÃO E POSICIONAMENTO DOS CONDUTORES

Para resolver a maioria dos problemas de interferência eletromagnética devem-se respeitar rigorosamente algumas regras de execução na fiação. Inicialmente, deve-se dividir os cabos dos diferentes tipos de circuitos em quatro grupos que cobrem a maioria dos casos práticos de instalação de ETIs.

Grupo I - Circuitos de medição (sinais analógicos de baixo nível) e de alimentação para sondas analógicas.

Este grupo de condutores é sensível aos surtos causados pelo acoplamento capacitivo e indutivo das ondas eletromagnéticas trafegantes e aos conduzidos pelos cabos. É o caso dos medidores de vazão.

Grupo II - Circuitos digitais.

Este grupo de condutores também é sensível, especialmente aos surtos formados por trens repetitivos de oscilações transitórias amortecidas (denominados: burst). Este grupo além de sensível pode interferir com os condutores do grupo I.

Grupo III - Circuitos de indicação e controle, incluindo relés "tudo ou nada" (ToN).

Os condutores deste grupo interferem com os condutores dos grupos I e II.

Grupo IV - Cabos de alimentação de circuitos de energia elétrica.

Estes cabos são os da rede pública ou privada de distribuição. As correntes deste grupo são chaveadas e interrompidas por vários equipamentos eletrônicos de potência, como retificadores controlados, inversores, conversores, etc. Em operação normal essas funções geram componentes de alta freqüência tanto de tensão como de corrente nos cabos de alimentação. Estas tensões e correntes formam um ambiente altamente "poluidor" para os condutores dos grupos I, II e III.

É recomendável que os cabos e fios de cada grupo sejam identificados por cores diferentes.

Regra no. 1 - Os condutores de "ida, volta e aterramento" de um mesmo circuito devem ser instalados próximos (encostados) uns dos outros.

Esta regra se aplica inclusive aos condutores dos circuitos de energia elétrica. Dois circuitos não isolados que troquem sinais, "conversem entre si", não devem ser alimentados radialmente. É necessário para os sinais dos reles ToN, pelo menos, um condutor comum por cabo ou por cabo múltiplo. Para sinais analógicos ou digitais, o cuidado mínimo básico é usar cabos de dois condutores (em pares). A seguir exemplificamos o modo correto de ligar contatos ToN a um circuito impresso e a uma fonte.

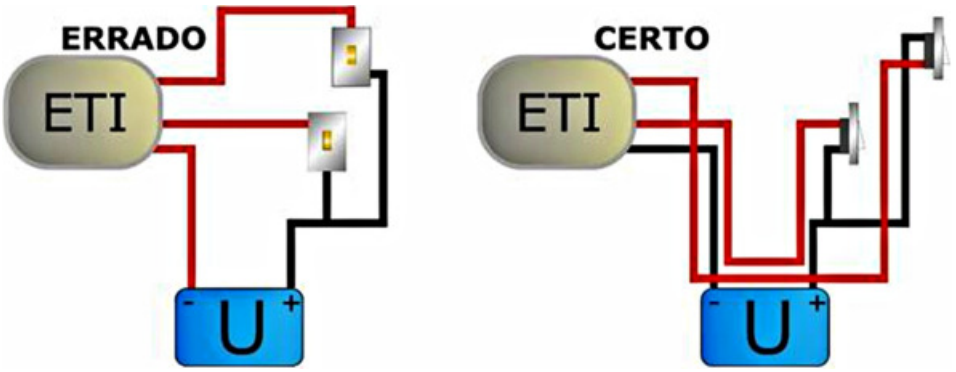


Figura A14 – Comparação de interligação e encaminhamento de condutores visando a redução da área susceptível a interferências eletromagnéticas

Regra no. 2 - Todos condutores metálicos que interligam circuitos internos devem ser firmemente fixados com estruturas equipotenciais constituídas por massas metálicas.
Esta medida assegura o benefício de atenuação de interferência praticamente sem custos. Assegura que fios ou cabos não usados não possam se mover indevidamente em uma instalação.

Regra no. 3 - É recomendável usar cabos blindados para circuitos emissores de ruídos ou sensíveis a eles.

A blindagem é uma proteção efetiva contra interferências de alta freqüência (ruídos), desde que seja ligada à massa, pelo menos, em cada extremidade do cabo (direta ou indiretamente, segundo figura A8). É possível justapor dois cabos de grupos diferentes, desde que ao menos um (preferencialmente ambos) seja(m) blindado(s) e ligado(s) à massa em cada extremidade por uma cordoalha flexível de fios trançados.

Cabos blindados adequadamente instalados são imunes a “cross-talk”.

O fenômeno cross-talk pode ser:

Indutivo: entre cabos muito próximos um do outro, ambos de uma linha de múltiplos condutores, entre um fio conduzindo corrente e a área do laço (loop) formado por um outro fio e seu condutor de retorno.
Capacitivo: entre fios dentro de um cabo armado (pela capacitância reativa entre os mesmos).

O “cross-talk” é a fonte mais comum da geração de interferência eletromagnética entre dois circuitos (de energia elétrica e de sinal).

Regra no. 4 - Somente condutores do mesmo grupo podem ser instalados dentro do mesmo duto ou no mesmo feixe de cabos. Para fitas de cabos múltiplos, os condutores que conduzem sinais analógicos devem ser separados dos que conduzem sinais digitais por ao menos dois condutores ligados à massa de cada cartão. Para condutores de sinais digitais ligar um cabo de um par ou de um cabo do tipo fita à “referência zero” de tensão em cada ponta, reduz o cross-talk de alta freqüência por um fator entre 5 e 10. Entretanto é prejudicial usar um cabo múltiplo como elemento de ligação entre grupos diferentes. Na prática, espaçar os cabos de aproximadamente 30 cm é suficiente, para reduzir o cross-talk a um nível aceitável (ainda que em um ambiente isolado). Cruzar dois cabos de diferentes grupos proporciona o menor acoplamento mútuo se o ângulo de cruzamento for 90º. Esta prática deve, por isso, ser seguida como rotina.

Regra no. 5 - Qualquer condutor dos grupos no 2 ou no 4 que, por algum motivo, não esteja sendo utilizado deve ser sempre conectado à massa do(s) chassi(s) ou painel (éis) em suas extremidades.

Por esse método, o efeito de atenuação pode atingir um fator superior a 2. Estas conexões à massa devem poder ser facilmente removíveis para liberar qualquer condutor que, posteriormente, seja necessário. Para o grupo no. 1, com freqüência e tensão muito baixas, podem ser desvantajosas e não são recomendadas. O ruído em freqüência industrial pode causar interferência inaceitável.

Regra no. 6 - Os cabos do grupo no. 4 não precisam ser blindados se a eles forem acoplados filtros.

É geralmente necessário filtrar a energia elétrica dos cabos de alimentação na entrada do equipamento. Por outro lado, é difícil filtrar essa energia nos cabos de potência que alimentam controladores de variação de velocidade, especialmente quando os picos de corrente são elevados. Torna-se necessário blindar os cabos por malhas metálicas de fios trançados ou por um tubo metálico interligado à massa em ambas extremidades. O caso oposto também é verdadeiro: um cabo bem blindado não necessita da utilização de filtros. Em suportes comuns de cabos blindados de sinal, praticamente, não existem problemas de interferência com cabos de alimentação de energia elétrica que estejam próximos.

Regra no. 7 - Equipamentos que produzem ruídos devem ser alimentados por cabos de energia elétrica separados. Esta prática minimizará os ruídos de modo diferencial do sistema de alimentação, mas não deve ser confundida com a prática de conexões radiais das massas. O condutor neutro só deve ser ligado à massa em um único ponto no primeiro quadro de distribuição de energia após o BEP. Esta é a diferença fundamental entre os esquemas de aterramento TN-C*, que utiliza o condutor PEN, e TN-S que utiliza o condutor de proteção PE.

O esquema TN-C usa um condutor PEN (PE + N) para ambas funções e nunca é usado quando a redução de interferências eletromagnéticas for importante. Nestes casos deve-se adotar o esquema TN-S. Este esquema utiliza um condutor de Neutro (N) e um condutor de Proteção (PE), também conhecido como Terra (T). Uma vez separados, os condutores de Neutro N e o de proteção PE devem seguir paralelos, juntos, porém sem contato elétrico, ver figura A11. O condutor de Neutro conduz as correntes de desequilíbrio entre as fases, harmônicos, etc e o condutor PE conduz somente as correntes de fuga dos isolamentos e em caso de falta a corrente de curto-circuito.

O condutor PE pode ser aterrado em vários pontos em circuitos longos, mas o condutor de neutro N só é aterrado no quadro que deu origem a separação. Como os dois condutores N e PE estão interligados na origem e o condutor PE não conduz corrente, salvo nas situações adversas já mencionadas, a diferença de potencial que aparece entre eles é devida à queda de tensão no Neutro. Para não perturbar o funcionamento dos ETIs essa tensão deve ser da ordem de centenas de mV (tipicamente, 500 mV). Usualmente no Brasil aceita-se tensões de até 2 ou 3 V entre o Neutro e o PE. Esta prática, entretanto, não é normalizada.

Para reduzir essa tensão, deve ser redimensionado o condutor de Neutro e/ou o equilíbrio das cargas. Não devemos deixar de considerar as correntes espúrias causadas por harmônicos, principalmente de 3ª ordem. Um filtro de harmônicos pode ser a solução nesse caso.

Regra no. 8 - Alimentação dos equipamentos:

Desde que os equipamentos recebam suas alimentações de energia (elétrica e sinal) individuais e eletromagneticamente isoladas umas das outras, é prudente alimentar equipamentos diferentes por linhas de energia separadas. Em qualquer caso, é vantajoso garantir que as massas (chassis) dos equipamentos sejam todas convenientemente interligadas (firmemente conectadas, aparafusadas ou soldadas) ao aterramento ou condutor PE visando manter a menor diferença de potencial possível entre elas.

A conexão do BEP ao aterramento deve ter uma indutância próxima de 1μH (quanto menor melhor). Na prática um único condutor de cobre de seção transversal de 50mm^2 e comprimento de 1m, satisfaz essa condição. O estudo de curto circuito da instalação deve ser levado em consideração para o dimensionamento desse cabo.

Regra no. 9 – Equipamentos, fonte de alimentação e conexões à massa de um equipamento elétrico:

Para alimentar uma instalação, é vantajoso localizar o transformador tão próximo quanto possível da carga, não negligenciando o efeito de indução dos campos magnéticos estacionários provocados pelo mesmo.

APÊNDICE 5 – DADOS DE REFERÊNCIA DA TABELA 49 DA NBR 5410:2008

DPS conectado entre				Esquema de aterramento				
Fase	Neutro	PE	PEN	TT	TN-C	TN-S	IT com neutro distribuído	IT sem neutro distribuído
X	X			1,1 U_o		1,1 U_o	1,1 U_o	
X		X		1,1 U_o		1,1 U_o	√3 U_o	U
X			X		1,1 U_o			
	X	X		U_o		U_o	U_o	

Tabela A2 – Valor mínimo da tensão de operação contínua (u_c) de um DPS em função do esquema de aterramento, segundo tabela 49 da NBR 5410:2008.

OBS:

- Ausência de indicação significa que a conexão considerada não se aplica ao esquema de aterramento.
- U_o é a tensão fase-neutro.
- U é a tensão entre fases.
- Os valores adequados de U_c podem ser significativamente superiores aos valores mínimos da tabela.

Exemplo de utilização da tabela que determina os valores de U_c:

- Tensão da Instalação: **127 / 220 V**;
- Esquema de aterramento empregado: **TN-C**;
- Modo de instalação do DPS (Fase/Neutro, Fase/PEN, Neutro/PE): **Entre os condutores Fase e PEN.**

U_c = 1,1 x 127 = 139,7 (V) → Especificar U_c do DPS de valor comercialmente disponível que seja imediatamente superior ao calculado.

DPS conectado entre				Esquema de aterramento		
Fase	Neutro	PE	PEN	TT	TN-C	TN-S
X	X			1,1 U_o		1,1 U_o
X		X		1,1 U_o		1,1 U_o
X			X		1,1 U_o	
	X	X		U_o		U_o

PROCEDIMENTOS DE PROTEÇÃO

Toda a instalação, desde o elemento primário, passando pela(s) tubulação(ões), elementos secundários, unidade remota, modem e painel de alimentação de energia elétrica devem ser blindados ou estar protegidos com material que promova essa blindagem, como mostrado no item 5, e seus sub-itens.

A infra-estrutura de aterramento deverá ser única para os componentes, inclusive a blindagem das carcaças e dutos. Essa interligação deverá ser executada, de forma indissociável, entre o condutor PE, as blindagens dos cabos (shields) e as massas metálicas envolvidas.

A cada entrada e saída de condutor de um dos componentes da instalação deverá ser instalado um DPS por condutor vivo. Atendendo as prescrições contidas na NBR-5410:2008 e especificações contidas neste manual, identificamos 3 níveis de proteção:

Nível 1: entrada dos cabos de energia ou de sinal na edificação ou nos quadros principais de distribuição quando estiverem próximos de onde os condutores penetram na edificação;

Nível 2: entrada de sinal nos quadros de distribuição (secundários) de sinal de telefonia ou modems para comunicação com o CCO;

Nível 3: entrada de energia e de sinal dos elementos primário e secundário junto aos MMV quando estes elementos e sua instalação estiverem dentro da mesma edificação, ou abaixo do nível do piso, ou ainda possuírem blindagem eficiente.

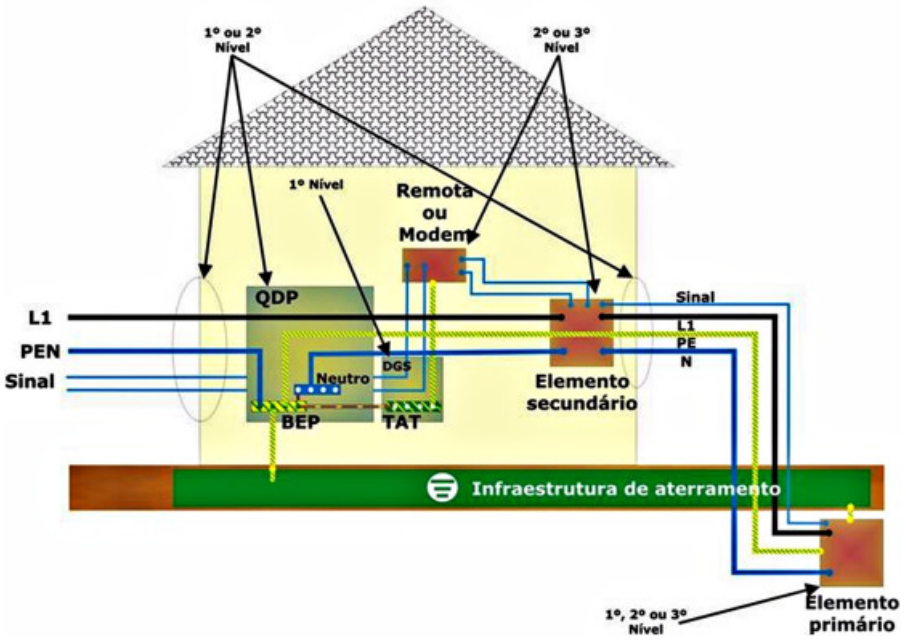


Figura A15 – Determinação dos níveis de proteção contra surtos de tensão dependendo da análise no local

RECOMENDAÇÕES

A blindagem deve ser eletricamente contínua. As roscas dos dutos devem trespassar as porcas de fixação das caixas metálicas em, pelo menos, 6 fios. Em casos onde as caixas de passagem forem de material não metálico, deve ser adotado o procedimento mostrado na figura A6.

O aterramento local deve ser único. Os condutores de aterramento e de proteção elétrica (PE) devem ser instalados da forma mais curta e reta possível, sem curvas ou folgas (sobras) desnecessárias.

Todas as massas metálicas devem estar conectadas ao aterramento, mas não devem constituir o sistema de aterramento em si.

A interligação entre eletrodos de aterramento deve ser executada levando em consideração a distância entre as estruturas que abrigam os elementos primário e secundário daquelas que alimentam o restante do sistema. Vale lembrar que são mais importantes o arranjo, a configuração e a topologia do sistema de aterramento do que o próprio valor da resistência ôhmica do eletrodo de aterramento, conforme a NBR-5419:2005.

O valor de resistência ôhmica do eletrodo de aterramento é função do próprio eletrodo e das condições do solo em que o mesmo foi instalado. As especificações mínimas exigíveis para os DPS a serem instalados no conjunto são:

Níveis	U_C - Tensão de operação contínua	I_N (kA), (8/20)µs	U_P - Nível de proteção a tensões impulsivas
1	Segundo tabela A2, referência da tabela 49 da NBR-5410:2008. (ver apêndice 5).	20	- Segundo tabela A1, referente a tabela 31 da NBR 5410:2008. Em instalações 127/220V, considerar $U_P \leqslant$ 0,8kV.
2	- Para as tensões alternadas utilizar os valores da tabela A2, referência da tabela 49 da NBR-5410:2008. (ver apêndice 5). - Para tensões em corrente contínua, utilizar UC entre 12 a 30V , tipicamente 24 V. - Para pulsos de tensão em 5V, utilizar $U_C = U_N$= 5V.	10	- Para as tensões alternadas utilizar os valores da tabela A1, referente à tabela 31 da NBR 5410:2008. Em instalações 127/220V, considerar UP $\leqslant$ 0,8kV. - Para tensões em corrente contínua utilizar valores comerciais próximos 50V. - Para pulsos de tensão em 5V utilizar valores comerciais próximos 10V.
3	- Para as tensões alternadas utilizar os valores da tabela A2, referência da tabela 49 da NBR-5410:2008. (ver apêndice 5). - Para tensões em corrente contínua, utilizar UC entre 12 a 30V , tipicamente 24 V. - Para pulsos de tensão em 5V, utilizar $U_C = U_N$= 5V.	10	- Para as tensões alternadas utilizar os valores da tabela A1, referente à tabela 31 da NBR 5410:2008. Em instalações 127/220V, considerar UP $\leqslant$ 0,8kV. - Para tensões em corrente contínua utilizar valores comerciais próximos 50V. - Para pulsos de tensão em 5V utilizar valores comerciais próximos 10V.
Para o caso da necessidade da instalação de DPS classe 1, em substituição a corrente nominal (I_N) especificar a corrente de impulso (I_{IMP}) baseando-se no número de condutores vivos que entram na edificação e no nível II de proteção, conforme especificado na NBR 5419:2005. Este nível prevê correntes de primeiro raio de até 150 kA. Como exemplo: em uma edificação alimentada com dois condutores de fase e um condutor de neutro, IIMP $\geqslant$ 50 kA (10/350)µs. Os valores de U_C e U_P seguem a coordenação da tabela.			

Tabela A3 – Especificações mínimas para os DPS

MATERIAIS (ESPECIFICAÇÃO BÁSICA):

Cabo de interligação para equipotencialização: em cobre nu , têmpera meio dura, 7 fios, # 16 mm^2;

Cabo de interligação entre equipotencialização e o aterramento, bem como para o eletrodo de aterramento: em cobre nu, têmpera meio dura, 7 fios, # 50 mm^2;

Barramentos de equipotencialização: em cobre, dimensões sugeridas (25 x 6) mm e comprimento suficiente para a quantidade de conexões a serem executadas.

Haste copperweld,alta camada de deposição de cobre (254 µm),dimensões 2,4m x $\frac{5}{8}$";

Conjunto para solda exotérmica composto de: 01 molde GR, 01 cartucho de ignição e um alicate para molde;

Luva de engaste para emenda da haste de aterramento;

Fixação dos cabos de cobre nu: fixadores do tipo prensa cabo de bronze estanhado. Como alternativa poderão ser utilizados parafusos fendidos do tipo "split-bolt", de bronze estanhado, com rabicho de rosca métrica, porca e arruelas, ou para fixação do cabo em parede, os mesmos parafusos mas, de rosca soberba com bucha de nylon S8;

Eletrodutos, conduletes, caixas de passagem, abraçadeiras "tipo d" para encaminhamento dos cabos de energia e de sinal: em aço zincado a fogo;

Dispositivos de proteção contra surtos, de especificações mínimas já mostradas na tabela A3.

OBS: Os materiais ferrosos deverão ser zincados a fogo com espessura e uniformidade da camada necessária para suportar os ensaios contidos nas normas: - NBR 7397:2007 - Produto de aço ou ferro fundido revestido de zinco por imersão a quente - Determinação da massa do revestimento por unidade de área - Método de ensaio, e
- NBR 7400:2009 - Galvanização de produtos de aço ou ferro fundido por imersão a quente - Verificação da uniformidade do revestimento - Método de ensaio. Esta Norma prescreve o método de verificação da uniformidade do revestimento de zinco (ensaio de Preece), em produtos de aço ou ferro fundido.

Os conectores não ferrosos sujeitos a esforços mecânicos (porcas, parafusos e peças roscadas) devem ser de bronze silício ou bronze alumínio com, no máximo, 5% de zinco, recobertos por estanho. Não deverão ser aceitos, portanto, esses tipos de peças feitas em latão (70% cobre + 30% zinco).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

NORMAS:

• ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS:
• NBR 5410:2008 Instalações Elétricas em Baixa Tensão;
• NBR 5419:2005 Proteção de Estruturas contra Descargas Atmosféricas;
• NBR 7117:2011 Medição da Resistividade e Determinação da Estratificação do solo;
• NBR 14306:1999 Proteção elétrica e compatibilidade eletromagnética em redes internas de telecomunicações em edificações - Projeto.
• NBR 15749:2009 – Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento
• NBR IEC - 60079-0:2006 - Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas, e depósitos de material inflamável;
• NBR 7397:2007 - Produto de aço ou ferro fundido revestido de zinco por imersão a quente - Determinação da massa do revestimento por unidade de área - Método de ensaio;
• NBR 7400:2009 - Galvanização de produtos de aço ou ferro fundido por imersão a quente - Verificação da uniformidade do revestimento - Método de ensaio.

IEC – INTERNATIONAL ELETROTECHINICAL COMMISSION:

• 62305:2011 Protection of Structures against lightning,
Part 1: General Principles;
Part 2: Risk Management;
Part 3: Physical damage to structures and danger to people;
Part 4: Electrical and Electronic Systems within the structures.

NEC – NFPA – National Fire Protection Association:
• 780 : 2004 Standard for the Installation of Lightning Protection Systems

LIVROS:

• Aterramento Elétrico - Silvério Visacro, 3ª edição;
• Electrical Installation Guide - publicação do Grupo Schneider, Publisher Citef S.A;
• Engineering Electromagnetic Compatibility - V. Prasad Kodali, IEEE Press;
• Instalações Elétricas - Ademaro Cotrim, 5ª edição;
• Over Voltage Protection of Low Voltage – Peter Hasse, 2ª edição;
•Proteção contra Descargas Atmosféricas – Duílio Moreira Leite e Carlos Moreira Leite -5ª edição;
•Proteção e Aterramento de Estações de Telecomunicação - Carlos M. Leite;

TRABALHOS:

• 19TH ICLP 2000 Edition International Conference on Lightning Protection;
•VI SIPDA Edição 2001 Simpósio Internacional de Proteção contra Descargas Atmosféricas .

CATÁLOGOS:

• Phoenix Contact	TRABTECH - Surge Voltage Protection
• OBO Bettermann	Protecciones contra sobretensiones;
• PolyPhaser	Lightning / EMP – Grounding Solutions

NORMALIZAÇÃO:

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT

www.abnt.org.br

International Electrotechnical Commission - IEC

www.iec.ch

sabesp

GOVERNO DE SÃO PAULO