



**PRM** Engenharia

## INFORMAÇÕES ESSENCIAIS PARA ATENDIMENTO À NR 10

## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. ITENS DA NR 10.....	10
3. LEGISLAÇÃO.....	11
3.1. ARTIGO 3º DA LEI DE INTRODUÇÃO AO CÓDIGO CIVIL.....	11
3.2. LEIS TRABALHISTAS.....	11
3.3. CREA – CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA.....	11
3.4. ART e CÓDIGO DE DEFESA DO CONSUMIDOR.....	12
3.5. AUTUAÇÕES DO MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO.....	12
3.6. EMBARGO E INTERDIÇÃO – NR 10.....	12
3.7. NR-3 – EMBARGO E INTERDIÇÃO.....	13
3.8. APLICAÇÃO DA NR 10 POR OUTROS ÓRGÃOS GOVERNAMENTAIS.....	13
4. RISCOS EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS.....	14
5. CHOQUE ELÉTRICO (Eletrocussão).....	15
6. ARCO ELÉTRICO.....	17
6.1. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS FALTAS POR ARCO.....	17
6.2. POSSÍVEIS ORIGENS DO ARCO ELÉTRICO.....	18
6.3. RISCOS DO ARCO ELÉTRICO.....	20
6.4. ACIDENTES COM ARCO ELÉTRICO.....	22
7. MEDIDAS DE CONTROLE DO RISCO ELÉTRICO.....	23
7.1. DADOS NECESSÁRIOS PARA AVALIAÇÃO DO RISCO DE ARCO ELÉTRICO E SEGURANÇA.....	20
8. ESTUDOS DE CURTO CIRCUITO PARA CÁLCULOS DE CORRENTE POR ARCO E ENERGIA INCIDENTE. .....	22
8.1. VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE TÉRMICA, DINÂMICA DE EQUIPAMENTOS E SATURAÇÃO DE TCS.....	22
8.2. ESFORÇOS DE INTERRUPÇÃO.....	22
8.3. DETERMINAÇÃO DE AJUSTES DOS DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO E ARC FLASH.....	22
9. MÉTODOS DE CÁLCULO PARA ANÁLISE DE RISCO A ARCO ELÉTRICO.....	24

9.1. CÁLCULO DE ENERGIA INCIDENTE PELA IEEE STD 1584 .....	25
9.2. CÁLCULO DE ENERGIA INCIDENTE PELA NFPA 70E .....	28
9.3. CONSIDERAÇÕES ENTRE MÉTODOS NFPA 70E E IEEE STD 1584 .....	30
<b>10. MÉTODOS PARA REDUÇÃO DE ENERGIA INCIDENTE.....</b>	<b>31</b>
10.1. PAINÉIS RESISTENTES A ARCOS INTERNOS .....	31
10.2. A NOVA CLASSIFICAÇÃO DE PAINÉIS MT.....	32
<b>11. MEDIDAS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL E COLETIVA.....</b>	<b>35</b>
11.1. DIAGRAMA UNIFILAR .....	35
11.2. EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO.....	36
<b>12. EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL (EPI).....</b>	<b>37</b>
12.1. VESTIMENTAS .....	38
<b>13. EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO COLETIVA (EPC).....</b>	<b>42</b>
13.1. FATORES DETERMINANTES DO CHOQUE ELÉTRICO .....	42
13.2. PROTEÇÃO CONTRA CHOQUES ELÉTRICOS.....	44
<b>14. PROTEÇÃO CONTRA CONTATOS DIRETOS .....</b>	<b>47</b>
14.1. ISOLAÇÃO DE PARTES VIVAS .....	47
14.2. COLOCAÇÃO DE BARREIRAS .....	48
14.3. INVÓLUCROS .....	49
14.4. OBSTÁCULOS E ANTEPAROS .....	51
14.5. COLOCAÇÃO FORA DE ALCANCE .....	51
14.6. DISPOSITIVO DIFERENCIAL RESIDUAL (DR) .....	55
<b>15. PROTEÇÃO CONTRA CONTATOS INDIRETOS.....</b>	<b>57</b>
15.1. SISTEMAS DE ATERRAMENTO .....	58
15.2. ATERRAMENTO FUNCIONAL .....	59
15.3. ATERRAMENTO DE PROTEÇÃO .....	62
15.4. ATERRAMENTO TEMPORÁRIO .....	63
15.5. COMPONENTES DE ATERRAMENTO DE UMA INSTALAÇÃO .....	65

15.6.	EQUIPOTENCIALIZAÇÃO E SECCIONAMENTO AUTOMÁTICO DA ALIMENTAÇÃO .....	66
15.7.	EQUIPOTENCIALIZAÇÃO .....	67
15.8.	SECCIONAMENTO AUTOMÁTICO DA ALIMENTAÇÃO .....	69
15.9.	TENSÃO DE TOQUE E DE PASSO .....	72
16.	DESERNEGIZAÇÃO E REENERGIZAÇÃO SEGUNDO A NR 10 .....	74
16.1.	DESERNEGIZAÇÃO .....	74
16.2.	REENERGIZAÇÃO .....	76
16.3.	ZONA DE RISCO, ZONA CONTROLADA E ZONA LIVRE .....	77
17.	CÁLCULO DE MALHA DE ATERRAMENTO .....	80
17.1.	POR QUE FAZER O CÁLCULO? .....	80
17.2.	DIMENSIONAMENTO DO CONDUTOR DE MALHA DE TERRA .....	81
17.3.	CÁLCULO DAS TENSÕES DE TOQUE E PASSO – PASSO A PASSO .....	82
17.4.	EXEMPLO DE CÁLCULO – PASSO A PASSO .....	94
17.5.	FERRAMENTAS BASEADAS EM COMPUTADOR .....	99
17.6.	PROCEDIMENTO DE PROJETO DE MALHA DE ATERRAMENTO – IEEE STD 80-2000 .....	100
17.7.	MEDIÇÃO DE RESISTIVIDADE E DETERMINAÇÃO DA ESTRATIFICAÇÃO DO SOLO .....	102
18.	PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS – SPDA .....	105
18.1.	SISTEMAS EXISTENTES .....	106
18.2.	SUBSISTEMAS DE CAPTORES .....	109
18.3.	CLASSIFICAÇÃO DO SISTEMA DE DESCARGAS ATMOSFERAS .....	111
18.4.	EXEMPLO DE CÁLCULO DE SPDA .....	115
19.	VERIFICAÇÃO DE CONTINUIDADE DA MALHA ESTRUTURAL – NBR5419 .....	116
20.	ESTUDO DE CURTO CIRCUITO E SELETIVIDADE .....	120
20.1.	CURTO CIRCUITO E EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO .....	120
20.2.	CÁLCULO DA CORRENTE DE CURTO CIRCUITO .....	122
20.3.	SELETIVIDADE E INTERVALOS DE COORDENAÇÃO .....	125
21.	ESTUDO DE CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS .....	129

21.1.	NORMA NBR17505 – ARMAZENAMENTO DE LÍQUIDOS COMBUSTÍVEIS E INFLAMÁVEIS – PARTE 6 – INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS .....	130
21.2.	NBR IEC 60079-10 – EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS PARA ATMOSFERAS EXPLOSIVAS – CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS .....	132
21.3.	NR-20 – LÍQUIDOS COMBUSTÍVEIS E INFLAMÁVEIS .....	133
21.4.	SISTEMA DE SPRINKLERS EM SALAS TÉCNICAS .....	133
22.	DIMENSIONAMENTO DE CABOS E DUTOS .....	135
22.1.	CABOS DE BAIXA TENSÃO .....	135
22.2.	QUEDA DE TENSÃO (Item 6.2.7 da NBR5410) .....	138
22.3.	CABOS DE MÉDIA TENSÃO .....	140
22.4.	DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DE CONDUTORES .....	141
22.5.	DIMENSIONAMENTO DE ELETRODUTOS .....	143
22.6.	EXEMPLO DE CÁLCULO DE ELETRODUTO .....	147
23.	COMISSIONAMENTO .....	151
23.1.	COMISSIONAMENTO ELÉTRICO .....	151
24.	PROJETO ELÉTRICO – CONTEÚDO .....	153
24.1.	SUBESTAÇÕES .....	153
24.2.	SUBESTAÇÃO ABRIGADA .....	155
24.3.	SUBESTAÇÃO A PROVA DE INCÊNDIO .....	158
24.4.	ATERRAMENTO DE MASSAS METÁLICAS SUJEITAS À TENSÃO .....	158
25.	PRONTUÁRIO DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS .....	160
25.1.	DOCUMENTOS QUE COMPÕEM O PRONTUÁRIO DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS .....	161
26.	AS BUILT .....	163
26.1.	DEFINIÇÃO DE PROJETO “AS BUILT” .....	163
26.2.	OBJETIVO .....	163
26.3.	ELABORAÇÃO DO PROJETO “AS BUILT” .....	166
27.	REFERÊNCIAS .....	170

## INSTALAÇÕES ELÉTRICAS SEGURAS - SEMPRE NECESSÁRIO



## 1. INTRODUÇÃO

A **NR 10** é um regulamento de segurança em instalações e serviços em eletricidade e, por isso, **é de uso compulsório**, portanto, **obrigatório**.

- Este documento tem como objetivo apresentar de forma resumida a NR 10 para Não Especialistas em Eletricidade e facilitar o entendimento dos Conceitos abordados.
- Os Gestores/Coordenadores de Projetos devem estar atentos para observar o atendimento da NR 10 nas atividades sob sua responsabilidade.
- A Segurança nas Instalações e Intervenções Elétricas começam na concepção do Projeto Elétrico que deve atender a NBR 5410 (BT), NBR 5419 (SPDA e Aterramento) e a NBR IEC 14.039 (MT), entre outras Normas específicas.
- É OBRIGATÓRIO aos estabelecimentos com carga instalada superior a 75 kW terem o PRONTUÁRIO DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS, preparado em conformidade com a NR 10 e disponível para todos os Profissionais envolvidos.
- As Instalações Elétricas precisam ter um Responsável devidamente Habilitado e Autorizado. O Responsável tem que ser um Engenheiro Eletricista – Modalidade Eletrotécnica, com recolhimento da ART sob a atividade desenvolvida.
- Todas as intervenções nas Instalações Elétricas devem ser precedidas de Ordens de Serviço, assinadas pelo Responsável das Instalações Elétricas, pelo Supervisor da Área sob intervenção e pelos Eletricistas envolvidos. A Ordem de Serviço deve se referenciar aos Procedimentos, elaborados pelo Responsável das Instalações Elétricas e que tenham sido criados utilizando-se metodologia de Análise de Risco. Devem constar na Ordem de Serviço os EPIs necessários, identificados na Análise de Risco, para mitigá-los.
- Os Eletricistas devem receber treinamentos nos Procedimentos.

Foi publicada pelo Ministério do Trabalho, através da Portaria 598 de 7 de dezembro de 2004, no Diário Oficial da União de 8/12/2004 – Seção I – Pág. 74.

A **NR 10** tem como objetivo garantir a segurança e a saúde de todos os trabalhadores, tanto os que trabalham diretamente com energia elétrica quanto os que usam dela para o seu trabalho e abrange:

- a) A segurança em instalações elétricas nos locais de trabalho e
- b) A segurança em serviços em eletricidade.

As instalações elétricas nos locais de trabalho deverão ser adequadas às características do local, as atividades exercidas, e os equipamentos de utilização. Em particular, as medidas de proteção e componentes da instalação devem ser selecionadas de acordo com as influências externas, tais como, presença de água, presença de corpos sólidos, competências das pessoas que usam a instalação, resistência elétrica do corpo humano, contato das pessoas com o

potencial local, natureza das matérias processadas ou armazenadas, e qualquer outro fator que possa incrementar significativamente o risco elétrico ou outros riscos adicionais.

A **NR 10**, como as suas congêneres estrangeiras, limita-se a estabelecer alguns princípios gerais de segurança ou complementares às normas técnicas brasileiras (normas da ABNT) específicas, deixando para as normas técnicas as prescrições específicas de instalações elétricas. Esta embasada pelas normas técnicas de instalações elétricas brasileiras e entre as quais se destacam:

- ➔ **NBR 5410** – Instalações elétricas de baixa tensão;
- ➔ **NBR 5419** – Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas;
- ➔ **NBR 14039** – Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV;
- ➔ **NBR IEC 60079** – Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas.

Estas normas acima citadas, por sua vez, são embasadas ou utilizam outras normas técnicas, cada qual contendo as prescrições necessárias a regulamentação do seu campo de atuação e que geram, ou podem gerar, documentos específicos para determinadas ações.

No caso dos serviços em eletricidade, também a exemplo de suas congêneres estrangeiras, a Norma Regulamentadora apresenta um maior volume de prescrições e procedimentos, como por exemplo:

- a) segurança em instalações elétricas desenergizadas;
- b) segurança em instalações elétricas energizadas;
- c) trabalhos envolvendo alta tensão;
- d) segurança na construção, montagem, operação e manutenção;
- e) habilitação, qualificação, capacitação e autorização dos trabalhadores.

## 2. ITENS DA NR 10

10.1. OBJETIVO E CAMPO DE APLICAÇÃO

10.2. MEDIDAS DE CONTROLE

10.3. SEGURANÇA EM PROJETOS

10.4. SEGURANÇA NA CONSTRUÇÃO, MONTAGEM, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO.

10.5. SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES DESENERGIZADAS

10.6. SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES ENERGIZADAS

10.7. TRABALHO ENVOLVENDO ALTA TENSÃO

10.8. HABILITAÇÃO, QUALIFICAÇÃO, CAPACITAÇÃO E AUTORIZAÇÃO DOS TRABALHADORES.

10.9. PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO E EXPLOSÃO

10.10. SINALIZAÇÃO DE SEGURANÇA

10.11. PROCEDIMENTOS DE TRABALHO

10.12. SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA

10.13. RESPONSABILIDADES

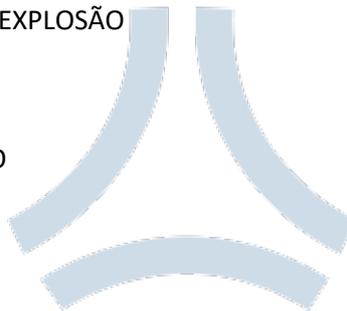
10.14. DISPOSIÇÕES FINAIS

GLOSSÁRIO.

ANEXO II – ZONA DE RISCO E ZONA CONTROLADA

ANEXO III – TREINAMENTO

ANEXO IV – PRAZOS PARA CUMPRIMENTO



## 3. LEGISLAÇÃO

### 3.1. ARTIGO 3º DA LEI DE INTRODUÇÃO AO CÓDIGO CIVIL:

*“Ninguém se escusa de cumprir a lei alegando que não a conhece”.*

### 3.2. LEIS TRABALHISTAS

- As Leis de proteção do trabalho foram agrupadas na Consolidação das Leis do Trabalho – CLT, pelo Decreto-lei nº 5452, de 01/05/1943. Em 19/07/1947 a Organização Internacional do Trabalho – OIT adota a Convenção nº 81, que estabelece que cada Membro da OIT, para o qual a referida Convenção está em vigor, deve ter um sistema de inspeção do trabalho nos estabelecimentos industriais e comerciais.
- A Lei nº 6514, de 22/12/1977, alterou o Capítulo V, do Título II, da CLT, relativo à Segurança e Medicina do Trabalho – artigos 154 a 201. A Portaria nº 3214, de 08/06/1978, aprovou as **Normas Regulamentadoras de Segurança e Medicina do Trabalho – NR**.
- **Artigo 157 da CLT – Cabe às empresas:**
  - Cumprir e fazer cumprir as normas de segurança e medicina do trabalho;
  - Instruir os empregados, através de Ordens de Serviço, quanto às precauções a tomar no sentido de evitar acidentes do trabalho ou doenças ocupacionais;
  - Adotar as medidas que lhe sejam determinadas pelo órgão regional competente;
  - Facilitar o exercício da fiscalização pela autoridade competente.

### 3.3. CREA – CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA

- Resolução 218: a interpretação dos artigos 8º e 9º desta resolução, que tratam das competências do Eng. Eletricista e do Eng. Eletrônico respectivamente, nos levam a crer que somente o Eng. Eletricista deveria assumir a responsabilidade sobre instalações elétricas de potência.
- Artigo 24º que estabelece o limite de competência do técnico.
- Decisão normativa 57: atentar ao artigo 3º parágrafo único, limitando a atuação de um técnico sem a supervisão de um engenheiro, a tensão de 13.8 kV.
- Decreto 90922: atentar ao artigo 4º, item VI, parágrafo 3 que limita a atuação do Técnico, a projetos e direção de instalações até 800 kVA.

### 3.4. ART e CÓDIGO DE DEFESA DO CONSUMIDOR

A promulgação da Lei Federal 8.078/90 instituiu o Código de Defesa do Consumidor, que consolidou através de seu art. 50, a proteção contratual e legal, permitindo que os direitos básicos do consumidor-contratante sejam respeitados.

Profissionais e empresas registrados no CREA, enquanto fornecedores estão obrigados a emitir garantias contratuais e legais ao consumidor. Com o Código de Defesa do Consumidor, deixar de fornecer tais garantias, caracteriza infração, com pena de detenção ou multa (art. 50 e 74 da Lei Federal 8.078/90 – C.D.C.). No que se refere aos serviços e obras da área tecnológica, esta garantia contratual e legal, emitida ao consumidor, é a **ART** (criada pela Lei 6.496/77).

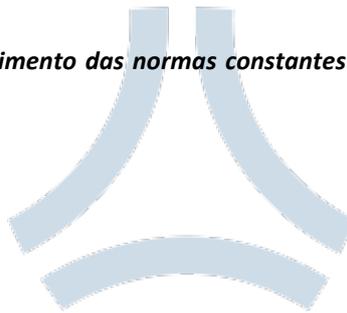
### 3.5. AUTUAÇÕES DO MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO (MTE)

A Portaria nº 126 de 3 de Junho de 2005, DOU de 06/06/05 – Seção 1 – Pág. 63, estabelece:

**Art. 1º. Incluir no Anexo II da Norma Regulamentadora nº 28 (Fiscalização e Penalidades), os códigos de ementa e respectivas infrações para os subitens da Norma Regulamentadora nº 10 (Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade), aprovada pela Portaria MTE nº 598, de 07 de dezembro de 2004.**

### 3.6. EMBARGO E INTERDIÇÃO – NR 10

**10.14.3 Na ocorrência do não cumprimento das normas constantes nesta NR, o MTE adotará as providências estabelecidas na NR-3.**



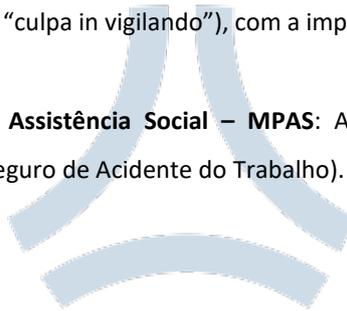
## 3.7. NR-3 – EMBARGO E INTERDIÇÃO

Quando for verificada situação de grave e iminente risco, a Delegacia Regional do Trabalho (DRT) adotará procedimentos de embargo ou interdição:

- **Interdição** – Paralisação total ou parcial do estabelecimento, da frente de trabalho, do setor de serviço, da máquina ou equipamento;
- **Embargo** – Paralisação total ou parcial da obra de instalação elétrica (construção, montagem, instalação, manutenção e reforma).

## 3.8. APLICAÇÃO DA NR 10 POR OUTROS ÓRGÃOS GOVERNAMENTAIS

- **Ministério Público do Trabalho – MPT:** Arbitramento de multas, paralisações, Termos de Ajuste de Conduta – TAC, etc.;
- **Ministério da Justiça – MJ:** Apuração de responsabilidade civil e criminal face a riscos, danos ou acidentes (terceiros: “culpa em elegendo” e “culpa in vigilando”), com a imposição de penalidades (prisão, indenizações, etc.);
- **Ministério da Previdência e da Assistência Social – MPAS:** Ações regressivas (acidente no trabalho) e majoração de alíquotas de SAT (Seguro de Acidente do Trabalho).



## 4. RISCOS EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

- Além do conhecido Choque Elétrico, existe o Arco Elétrico cujos efeitos devem ser estudados, caso a caso, que contemplem todas as Instalações Elétricas, por especialistas em Eletricidade.
- Ambos, Choque Elétrico e Arco Elétrico, matam.
- Normalmente, *antes de um acidente*, a energia elétrica é invisível, silenciosa, não tem cheiro e não se desloca para fora dos Equipamentos Elétricos e raramente dá sinais dos riscos existentes.

No momento do acidente não se aplicam as qualificações anteriores!

Um entendimento claro de como a corrente elétrica percorre o corpo humano pode ajudar a minimizar o prejuízo, se ocorrer contato. A tabela abaixo mostra os efeitos que os vários valores de corrente elétrica tem sobre o corpo humano.

<b>CORRENTE (A)</b>	<b>EFEITOS</b>
<b>1-3mA</b>	Suave sensação de "formigamento".
<b>10mA</b>	Contração muscular, dificuldade de soltar o objeto energizado.
<b>30mA</b>	Dificuldade na respiração, possível perda de consciência.
<b>30-75mA</b>	Paralisação respiratória.
<b>100-200mA</b>	Fibrilação ventricular.
<b>200-300mA</b>	Choque (potencialmente fatal).
<b>Acima de 1500mA</b>	Queima dos tecidos e órgãos.
<b>150°F ou 65,6°C</b>	Destruição das células.
<b>200°F ou 93,3°C</b>	Queimaduras de 3º grau.

Tabela 1 – Efeitos da corrente elétrica no corpo humano

## 5. CHOQUE ELÉTRICO (Eletrocussão)

O choque elétrico é um estímulo rápido no corpo humano, ocasionado pela passagem da corrente elétrica. Essa corrente circulará pelo corpo onde ele tornar-se parte do circuito elétrico, onde há uma diferença de potencial suficiente para vencer a resistência elétrica oferecida pelo corpo.

Como mostra a Tabela 1 acima, o que determina a gravidade do choque elétrico é a intensidade da corrente circulante pelo corpo (vide item 13.1 – Proteção contra choques elétricos).

O caminho percorrido pela corrente elétrica no corpo humano é outro fator que determina a gravidade do choque, sendo os choques elétricos de maior gravidade aqueles em que a corrente elétrica passa pelo coração.

### a. Dados Estatísticos

- Para cada cinco acidentes com choques elétricos, um é fatal.
- Outros tipos de acidentes: ocorre uma morte para cada 200 ocorrências, em média.

### b. Por que a corrente alternada é mais perigosa ao organismo que a contínua?

- A corrente contínua tende a causar fortes contrações musculares que, frequentemente, fazem com que a vítima se afaste da fonte de corrente.
- A corrente alternada, frequentemente, faz com que os músculos permaneçam contraídos impedindo que as vítimas consigam soltar a fonte de corrente.

### c. Resistência

Capacidade de deter ou tornar mais lento o fluxo da corrente elétrica.

- Boa parte da resistência elétrica concentra-se na pele (esse é o motivo pelo qual a maioria das queimaduras ocorre na pele no caso de choque elétrico);
- Resistência média da pele fina e molhada é 40 vezes menor que a pele grossa e seca;
- Quando a pele apresenta perfurações ou escoriações, ou quando a corrente é aplicada sobre membranas mucosas úmidas (boca, língua), a resistência é bem menor que em situações normais.



Figura 1 – Vitima de um Choque Elétrico de 13,8kV

## 6. ARCO ELÉTRICO

### Definição:

O arco elétrico é uma descarga que pode surgir sempre que houver o rompimento (falha) do dielétrico (isolação) de um ponto em relação a um terra (ou massa) ou entre dois pontos de potenciais diferentes. A interrupção de correntes também provoca arcos.

Ocorre quando existe a ionização do ar possibilitando a passagem da corrente com resistência muito baixa. A energia disponível no sistema é liberada quase que instantaneamente.

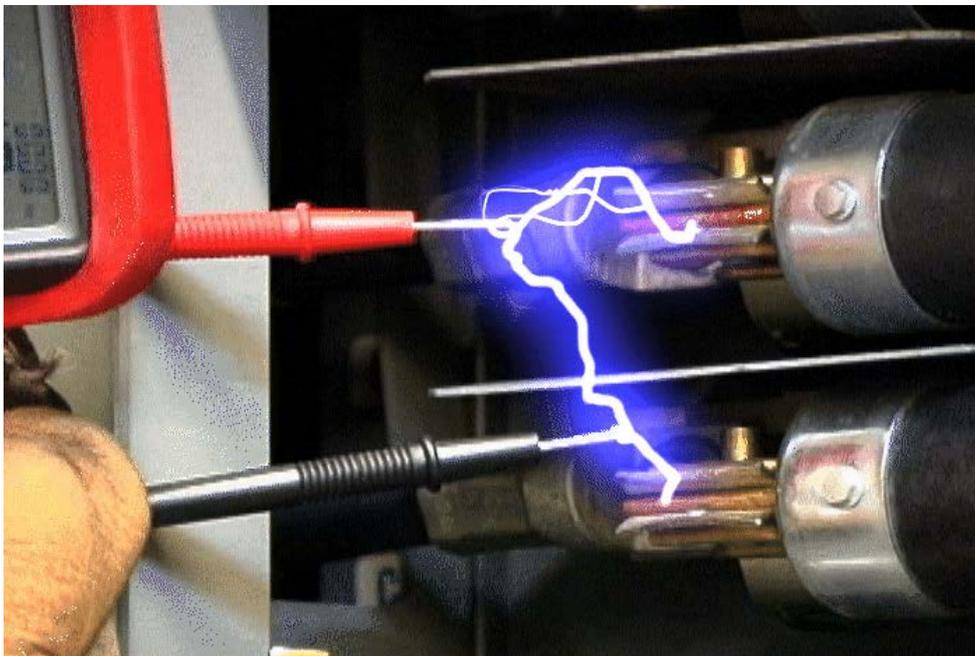


Figura 2 – Exemplo de Arco Elétrico

### 6.1. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS FALTAS POR ARCO

- Correntes intermitentes e descontínuas;
- As ondas de corrente são não senoidais;
- A teoria fasorial não é aplicável;
- A cada semi-ciclo apaga e tem uma ignição;
- Tem características resistivas;
- O valor da corrente de arco é menor que a do curto-circuito franco (bolted);
- Pode atingir o estado de plasma (4º estágio da matéria);
- Abaixo de 150V praticamente se auto extingue;
- Em média tensão a tensão de arco atinge de 500 a 1000V;
- Em painéis a potência máxima instantânea pode chegar a 40MW nos arcos.

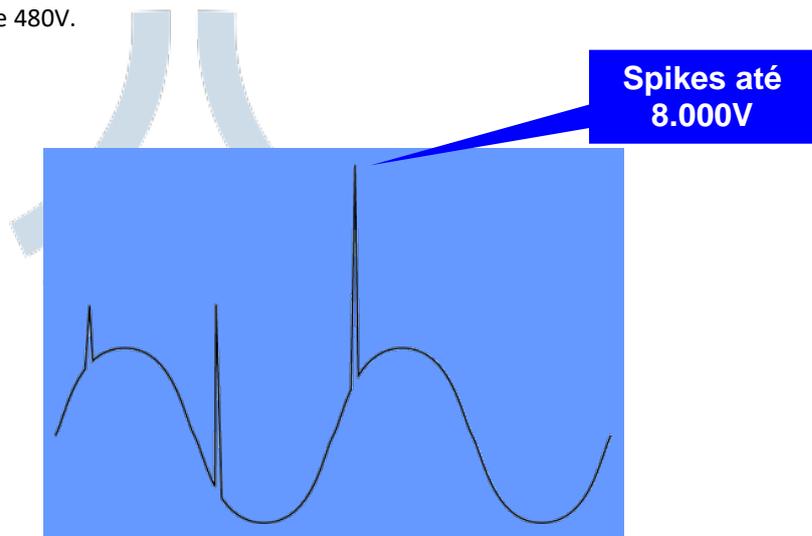
## 6.2. POSSÍVEIS ORIGENS DO ARCO ELÉTRICO

### a. Curto Circuito

- **Instalação de Disjuntor.**  
Inserir ou remover o disjuntor num circuito ativo.
- **Ferramenta de mão causando curto entre duas fases.**  
Eletricista experiente realizando manutenção c/ cabos energizados
- **Uso de ferramentas de medições não adequadas (Figura 3)**  
Medição entre fases com um amperímetro em série.  
Medição de continuidade em um circuito “vivo”, com ferramentas que não suportam tensão.

### b. Transiente de Alta Tensão

- **Surto de alta tensão na linha pode causar um Spike (faísca, arco).**  
Surto de 8Kv em uma linha de 480V.



### c. Spike – Possíveis Origens

- **Transiente de alta tensão**
  - Motor ou desligamento de carga indutiva;
  - Mau funcionamento de equipamentos;
  - Chaveamento de carga;
  - Inversores de Frequência;
  - Se um arco estiver em uma linha de alta energia, toda a corrente do circuito pode alimentar este arco elétrico.

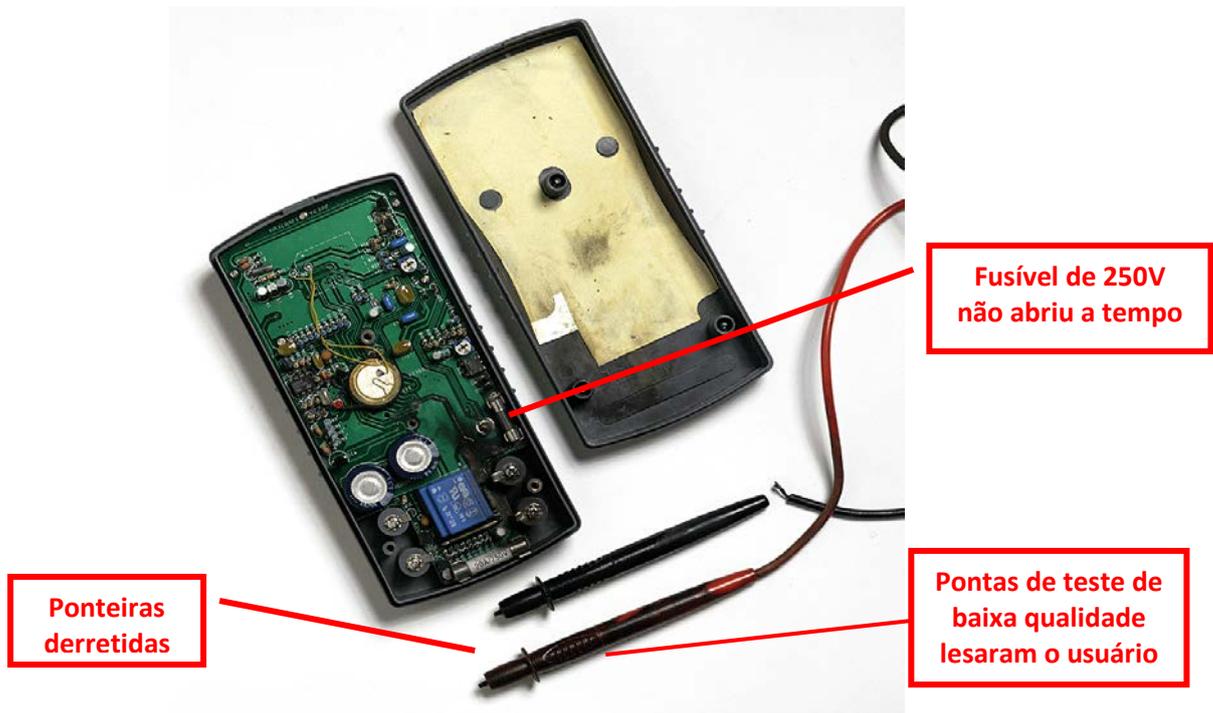


Figura 3 – Multímetro inadequado usado em um circuito de Potência

O equipamento correto para tais operações deve conter:

- Especificação, CAT III-1000 V ou CAT IV 600 V/CAT III 1000 V;
- Isolação Dupla;
- Conectores encapsulados;
- Anéis de Proteção;
- Isolação sem dano: derretida, corte, quebrada ou arranhada;
- Conectores: com parte metálica exposta;
- Pontas: soltas ou quebradas (muito curta).



#### d. Atividades operacionais em painéis

- Trabalho em circuitos de potência energizados com tensão superior a 120 V;
- Inserção e remoção de gavetas, contadores e disjuntores com a porta do painel aberta;
- Operação de contadores, disjuntores, chaves seccionadoras, gavetas e chaves-fusíveis com a porta do painel aberta;
- Trabalho com circuito energizado para pesquisa de defeitos, inclusive durante a execução de medições, como por exemplo, utilizando um multímetro;
- Instalação do conjunto de aterramento temporário após o teste de tensão;
- Remoção de coberturas aparafusadas que exponham partes energizadas;
- Operação da manopla da chave comutadora do transformador de corrente que alimenta os amperímetros;

- Abertura de coberturas com dobradiças que exponham barramentos ou partes energizadas;
- Abertura de compartimentos de transformadores de tensão;
- Atividades de termografia com a porta do painel aberta.

## e. Outras possibilidades

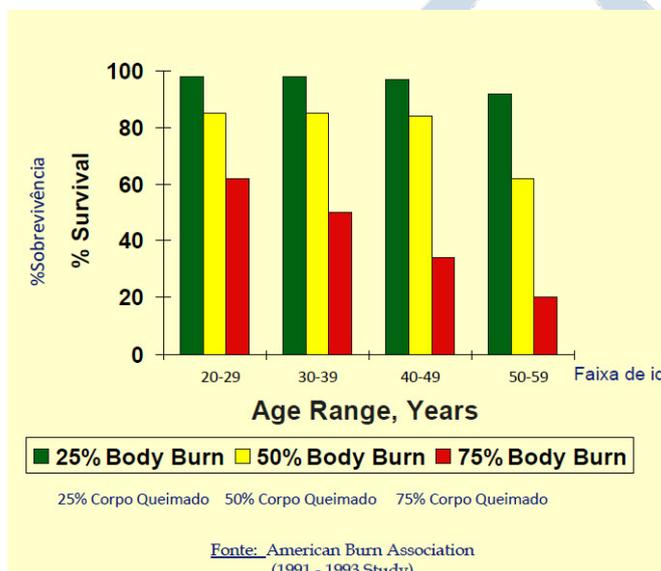
- Aquecimento de uma conexão mal apertada;
- Poluição excessiva ou degradação dos meios isolantes;
- Operação indevida;
- Sobreensões devido a descargas atmosféricas;
- Operação do sistema de proteção (relés de proteção) defeituosa;
- Defeito de fabricação de componentes e equipamento ou mau dimensionamento deste último (ex: painel fora dos padrões normativos);
- Intrusão de itens externos.

## 6.3. RISCOS DO ARCO ELÉTRICO

- Mais de 80% de todos os acidentes elétricos é resultado de arco elétrico e combustão de roupas inflamáveis;
- Produção de gases quentes e partículas em chamas;
- A temperatura do Arco pode alcançar **20.000°C** (4X a temperatura do Sol);
- Queimaduras fatais podem ocorrer à distância de 3m;
- Energia de exposição é expressa em cal/cm<sup>2</sup>;
- O valor de 1 cal/cm<sup>2</sup> é igual a exposição de um dedo na brasa do cigarro por 1 segundo;
- Exposição a uma energia de 1 ou 2 cal/cm<sup>2</sup> causa queimaduras de segundo grau na pele humana;
- Deterioração e projeção de partes e peças para fora do painel;
- O material fundido no processo é projetado à alta velocidade (cerca de 100m/s) e pode facilmente penetrar na pele;
- Liberação de gases tóxicos devido à combustão dos materiais internos ao painel;
- A pressão chega a 9000 kgf/m<sup>2</sup>, ou seja, equivale a dizer que é a força de 9 toneladas aplicadas sobre uma área de 1m<sup>2</sup>;
- Deslocamento de ar com aparecimento de alta pressão prejudicial ao sistema auditivo;
- Intensidade sonora pode exceder a 160 dB;
- Emissão de raios ultravioletas prejudiciais à visão.



Figura 4 – Riscos do Arco Elétrico



Chances de sobrevivência decrescem:

- Se as queimaduras aumentam (extensão)
- Se você fica mais velho

Figura 5 – Gráfico: limites de idade em anos X sobrevivência

## 6.4. ACIDENTES COM ARCO ELÉTRICO

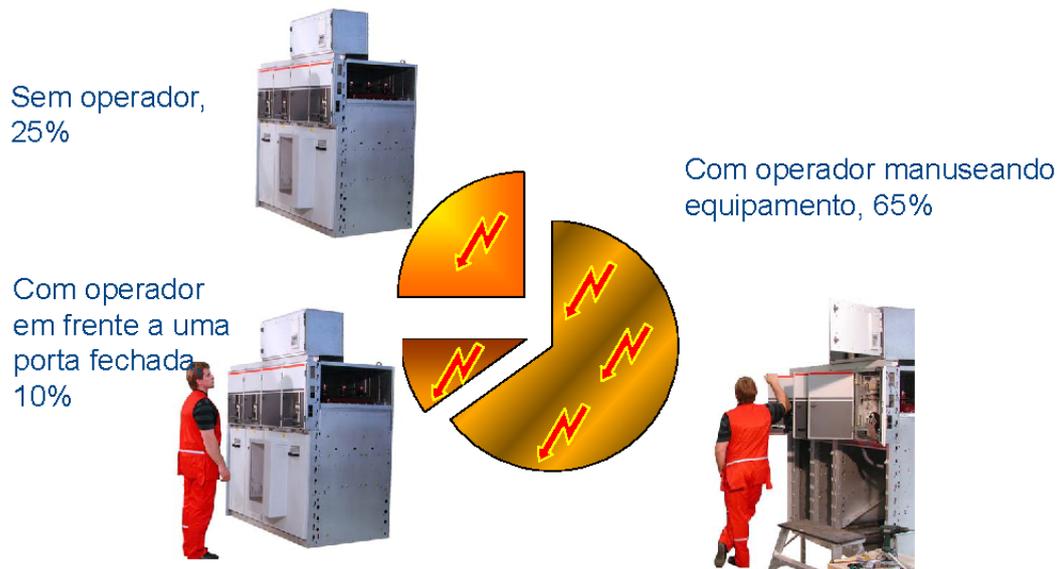


Figura 5 – Percentual de acidentes com Arco Elétrico



Figura 11 – Câmera da subestação mostrando o instante da ocorrência do arco

## 7. MEDIDAS DE CONTROLE DO RISCO ELÉTRICO

### ITEM DA NR 10:

*10.2.1 Em todas as intervenções em instalações elétricas devem ser adotadas medidas preventivas de controle do risco elétrico e de outros riscos adicionais, mediante técnicas de análise de risco, de forma a garantir a segurança e a saúde no trabalho.*

A NR 10 não entra diretamente no mérito da proteção contra arco elétrico. Os riscos do arco elétrico são tratados de maneira implícita nos **itens 10.3.9.a, 10.2.9.2 e 10.12.1**.

O **item 10.3.9** trata dos requisitos mínimos necessários para a elaboração do memorial descritivo do projeto das instalações elétricas. O **subitem A** destaca que o memorial descritivo deve conter a especificação das características relativas à proteção contra choques elétricos, queimaduras e outros riscos adicionais. Por ser considerado um agente térmico e ter a queimadura como principal risco, o arco elétrico deve ser estudado e ter suas consequências mitigadas e descritas nessa etapa do memorial.

Aqui são realizados os **Cálculos de Energia Incidente** baseados nas Normas Internacionais **NFPA-70E** (Standard for Electrical Safety Requirements for Employee in Workplaces) e **IEEE Std 1584** (Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations), as quais são as melhores referências técnicas relativas ao risco de arco elétrico e que são aplicadas de forma complementar a NR 10. Estes cálculos serão abordados em item específico mais adiante.

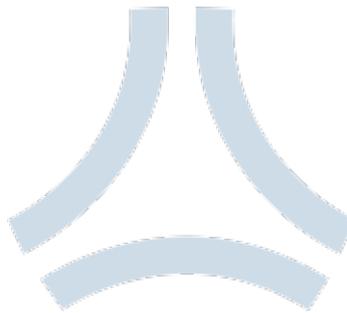
No **item 10.12.1** abordam-se as ações de emergência que envolve as instalações ou serviços com eletricidade e que devem constar do plano de emergência da empresa. Para tal atendimento é necessário considerar tanto o choque elétrico quanto o risco de arco elétrico, avaliando todos os cenários acidentais possíveis e os mecanismos de resposta caso esses acidentes aconteçam.

O **item 10.2.9.2** dispõe que as vestimentas de trabalho, consideradas equipamentos de proteção individual (EPIS), devem ser adequadas às atividades, contemplando a condutibilidade, inflamabilidade e influências eletromagnéticas. Os requisitos de segurança desses EPIS são complementados pela NR-06 (Norma Regulamentadora n. 06 – Equipamento de Proteção Individual – EPI).

### 7.1. DADOS NECESSÁRIOS PARA AVALIAÇÃO DO RISCO DE ARCO ELÉTRICO E SEGURANÇA

- Levantamento do diagrama Unifilar, tipos de equipamentos de proteção e sistemas de aterramento;
- Elaboração do Estudo de Curto-Circuito e Seletividade;
- Obtenções das características dos diversos tipos de equipamentos principalmente se são certificados como “Resistente ao Arco Interno”; Avaliação da possibilidade de recursos que diminuam a probabilidade de arco ou que reduzam as correntes de curto-circuito e tempos de atuação – EPCs;

- Proceder com o cálculo de energia incidente para diversas situações de operação e manobra.
- Determinar o limite de aproximação para áreas livres, áreas restritas e identificação.
- Determinação dos EPIs e vestimentas elétricas adequadas;
- Atualizar os procedimentos com os novos EPIs e vestimentas visando minimizar os riscos e orientar quanto às práticas de segurança.



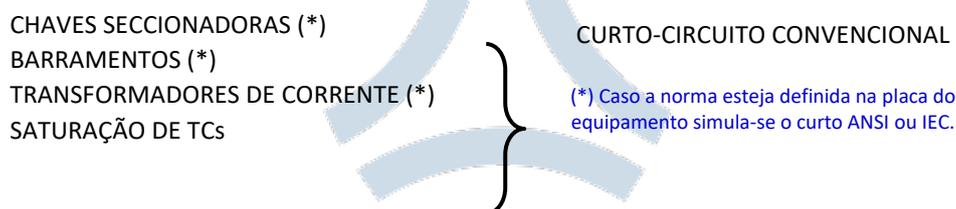
## 8. ESTUDOS DE CURTO CIRCUITO PARA CÁLCULOS DE CORRENTE POR ARCO E ENERGIA INCIDENTE

A determinação do valor da **corrente de curto-circuito** é importante para:

- Verificação da capacidade térmica e dinâmica de equipamentos (chaves seccionadoras, barramentos, relés, cabos, motores, transformadores e transformadores de corrente);
- Esforços interrupção (breaking) e fechamento (making) em disjuntores;
- Verificação da saturação de transformadores de corrente;
- Determinação de ajustes dos dispositivos de proteção;
- Cálculo das correntes por arco.

Dependendo de sua aplicação devem-se seguir certos procedimentos e/ou normas para a sua determinação (o seu valor pode ser simétrico, assimétrico, rms, de pico, no primeiro  $\frac{1}{2}$  ciclo ou num instante de interesse, pode ter ou não contribuição de motores, pode ter diferentes correntes de contribuição de geradores dependendo do período subtransitório ou transitório).

### 8.1. VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE TÉRMICA, DINÂMICA DE EQUIPAMENTOS E SATURAÇÃO DE TCs



### 8.2. ESFORÇOS DE INTERRUPTÃO



### 8.3. DETERMINAÇÃO DE AJUSTES DOS DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO E ARC FLASH

Utiliza-se o Curto-Circuito Convencional.

- Trifásico (Arc Flash);
- Fase-Terra (IEEE Std 1584 não inclui este tipo de falta).

Além disso, dependendo da temporização a ser dada aos dispositivos de proteção, deve-se atentar para:

- Período Subtransitório  
Assimétrico RMS – Relés com temporização inferior a 150 ms;
- Período Transitório

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA ANÁLISE DE RISCO A ARCO ELÉTRICO

As normas mais relevantes utilizadas para estimar os riscos de um arco elétrico são a **IEEE Std 1584** e a **NFPA 70E**.

A **IEEE Std 1584** é um guia que fornece técnicas para que projetistas e operadores de sistemas elétricos possam determinar uma distância segura para o risco de arco elétrico e energia incidente durante o desenvolvimento de atividades realizadas em um equipamento elétrico ou nas proximidades de um sistema energizado.

O **Cálculo da Energia Incidente** na IEEE Std 1584 é baseado em equações empíricas através de análise estatística das medições obtidas em diversos testes de laboratório

A norma **NFPA 70E** foi originalmente desenvolvida para atender os requisitos da OSHA (Occupational Safety and Health Administrations) sobre os efeitos dos arcos elétricos, riscos da corrente contínua e requisitos técnicos dos EPIs para trabalhos em eletricidade, entre outros itens. Ela determina que os riscos envolvendo arco elétrico devem ser conhecidos e que as instalações elétricas devem ter sua energia liberada calculada no momento do arco. Além disso, é necessário fornecer aos trabalhadores os equipamentos adequados de proteção contra queimaduras. Esses requisitos de segurança estão sujeitos à fiscalização pelos órgãos competentes.

O cálculo baseado na **NFPA 70E** estima a Máxima Energia Incidente baseada no valor teórico da máxima potência dissipada por uma falta a arco, baseada nas equações de **Ralph Lee**.

**Ralph Lee** desenvolveu equações gerais utilizáveis para todos os níveis de tensão, porém sem utilizar a corrente de arco.

O método do **IEEE** tende a ser mais realista do que o método proposto por **Ralph Lee**, implicando em níveis de energia incidente menores para uma mesma instalação, não levando a uma proteção excessiva do trabalhador. Atualmente a IEEE Std 1584 está incorporada à NFPA 70E.

### 9.1. CÁLCULO DE ENERGIA INCIDENTE PELA **IEEE STD 1584**

Para a realização deste cálculo algumas condições devem ser respeitadas:

Parameter	Applicable Range
System voltage (kV)	0.208 to 15 kV
Frequencies (Hz)	50 or 60 Hz
Bolted fault current (kA)	0.7 to 106 kA
Gap between electrodes (mm)	13 to 152 mm
Equipment enclosure type	Open air, box, MCC, panel, switchgear, cables
Grounding type	Ungrounded, grounded, high resistance grounded
Phases	3 Phase faults

Tabela 2 – Restrições para uso da IEEE Std 1584

## a) Cálculo da Corrente de Arco para Tensões até 1kV

$$I_a = 10^{(K+0,662.\log(I_{bf})+0,0966.V+0,000526.G+0,5588.V.\log(I_{bf})-0,00304.\log(I_{bf}))}$$

$I_{bf}$  → Corrente de curto – circuito franca (kA)

$V$  → Tensão (kV)

$G$  → Distância entre condutores (mm)

$I_a$  → Corrente de arco (kA)

$K = -0,153$  – open configuration

$= -0,097$  – box configuration

## b) Cálculo da Corrente de Arco para Tensões acima de 1kV até 15kV

$$I_a = 10^{(0,0042+0,983.\log(I_{bf}))}$$

**Nota:** O processo de obtenção dos níveis de energia incidente acontece através de ensaios com diversos tipos de equipamentos.

Como a variedade e os tipos de equipamentos são muitos, foram escolhidos dois **valores padrão** para os ensaios:

- Tempo de atuação – 0,2 segundos
- Distância do operador em relação ao arco elétrico – 610 mm (24")

Com esses dois valores calcula-se a chamada “energia incidente normalizada”, baseada em ensaios e efetuando-se a obtenção da curva de tendência. Como na prática raramente a condição ensaiada corresponde a real, deve-se referir os cálculos à esta nova condição.

## c) Cálculo da Energia Incidente Normalizada

$$E_N = 10^{[K_1 + K_2 + 1,081 \cdot \log(I_a) + 0,0011 \cdot G]}$$

$E_N$  → Energia normalizada (J/cm<sup>2</sup>)

$G$  → Distância entre condutores (mm)

$I_a$  → Corrente de arco (kA)

$K_1$  = - 0,792 – open configuration ou = - 0,555 – box configuration

$K_2$  = 0 – sistemas não aterrados e alta resistência a terra ou = - 0,113 – sistemas aterrados

## d) Cálculo da Energia Incidente Real

$$E = 4,184 \cdot C_f \cdot E_N \left( \frac{t}{0,2} \right) \cdot \left( \frac{610}{D} \right)^x$$

$D$  → Distância do Arco Elétrico (mm)

$t$  → Tempo de duração do arco (s)

$C_f$  → =1 (>1kV) e =1,5 (<1kV)

$E$  → Energia incidente (J/cm<sup>2</sup>) – 1cal = 4,1868J

$x$  → Vide Tabela 2 abaixo

System voltage (kV)	Equipment type	Typical gap between conductors (mm)	Distance $x$ factor
0.208–1	Open air	10–40	2.000
	Switchgear	32	1.473
	MCC and panels	25	1.641
	Cable	13	2.000
>1– 5	Open air	102	2.000
	Switchgear	13–102	0.973
	Cable	13	2.000
>5–15	Open air	13–153	2.000
	Switchgear	153	0.973
	Cable	13	2.000

Tabela 3 – Fatores de equipamentos e classes de tensões

Classes of equipment	Typical bus gaps (mm)
15 kV switchgear	152
5 kV switchgear	104
Low-voltage switchgear	32
Low-voltage MCCs and panelboards	25
Cable	13
Other	Not required

Tabela 4 – Classe de equipamentos e distância típica entre barramentos

Classes of equipment	Typical working distance <sup>a</sup> (mm)
15 kV switchgear	910
5 kV switchgear	910
Low-voltage switchgear	610
Low-voltage MCCs and panelboards	455
Cable	455
Other	To be determined in field

<sup>a</sup>Typical working distance is the sum of the distance between the worker standing in front of the equipment, and from the front of the equipment to the potential arc source inside the equipment.

Tabela 5 – Classe de equipamentos e distância típica de trabalho

## 9.2. CÁLCULO DE ENERGIA INCIDENTE PELA NFPA 70E

O cálculo baseado na NFPA 70E estima a energia máxima incidente baseada no valor teórico máximo da potência dissipada por uma falta a arco, baseada nas equações de Ralph Lee.

- a) **Cálculo da Corrente de Arco para Tensões inferiores até 0,6kV com correntes entre 16 e 50kA** (open air – aberto)

$$E_i = 5271.D^{-1,9593}.t.[0,0016.I_{bf}^2 - 0,0076.I_{bf} + 0,8938]$$

- b) **Cálculo da Corrente de Arco para Tensões inferiores até 0,6kV com correntes entre 16 e 50kA** (in box – fechado)

$$E_i = 1038,7.D^{-1,4738}.t.[0,0093.I_{bf}^2 - 0,3453.I_{bf} + 5,9675]$$

$E_i \rightarrow$  Energia máxima incidente (cal/cm<sup>2</sup>)

$D \rightarrow$  Distância do Arco Elétrico (polegadas)

$t \rightarrow$  Tempo de duração do arco (s)

$I_{bf} \rightarrow$  Corrente de Curto – Circuito (KA) dentro dos limites de 16 – 50kA

### c) Cálculo da Corrente de Arco para Tensões acima dos valores estabelecidos (>0,6kV e >50kA)

$$E_i = \frac{793 \cdot I_{bf} \cdot V \cdot t}{D^2}$$

$$E_i = \frac{5117 \cdot I_{bf} \cdot V \cdot t}{D^2}$$

Sistema

$E_i \rightarrow$  Energia máxima incidente (J/cm<sup>2</sup>) ou (cal/cm<sup>2</sup>)

$V \rightarrow$  Tensão entre fases do sistema (kV)

$D \rightarrow$  Distância do Arco Elétrico (polegadas – in) ou (mm)

$t \rightarrow$  Tempo de duração do arco (s)

$I_{bf} \rightarrow$  Corrente de Curto – Circuito franco trifásico (kA) (bolted)

Este método é utilizado para “estimar” os valores de energia incidente produzidos por um curto-circuito trifásico em ambiente aberto para tensões superiores a 600V.

Uma vez calculada a energia incidente, determina-se as categorias das vestimentas, baseando-se na tabela abaixo (maiores detalhes vide Capítulo 11 – Medidas de Proteção Individual e Coletiva):

Tabela — VESTIMENTA NECESSÁRIA CONFORME CATEGORIA DE RISCO DA NFPA 70E				
CATEGORIA DE RISCO	NÍVEL DE EXPOSIÇÃO - NE (cal/cm <sup>2</sup> )	DESCRIÇÃO DA VESTIMENTA	PROTETOR FACIAL	MINIMO DE PROTEÇÃO DA ROUPA (cal/cm <sup>2</sup> )
0	NE = 0	Algodão não tratado	Não é necessário	0
1	0 > NE ≤ 5	Luvas, calça e camisa ou macacão confeccionados com uma camada de tecido tratado	Não é necessário	5
2	5 > NE ≤ 8	Luvas, calça e camisa ou macacão confeccionados com uma camada de tecido	Proteção facial	8
3	8 > NE ≤ 25	Luvas, calça e camisa ou macacão confeccionados com uma camada de tecido tratado mais uma capa 7/8 confeccionada com uma camada de tecido tratado	Proteção facial	25
4	25 > NE ≤ 40	Luvas, calça e camisa ou macacão confeccionados com uma camada de tecido tratado mais uma capa 7/8 confeccionada com duas camadas de tecido tratado	Proteção facial	40

Tecido tratado: resistente às chamas.

Tabela 6 – Verificação de EPI necessário em relação ao risco elétrico – NFPA 70E

Após a definição de todos os parâmetros definidos anteriormente, podem ser elaboradas placas de advertência para serem fixadas nos painéis:

 <b>ATENÇÃO</b>	
<b>Perigo de Arco e Choque Elétrico</b>	
<b>Utilizar EPI Adequado</b>	
<b>2509 mm</b>	Região de Risco
<b>82 J/cm<sup>2</sup></b>	Risco de Arco em <b>457 mm</b>
<b>Categoria 3</b>	Cuecas de Algodão + Camisa e Calças Antichamas + Macacão Antichamas
<b>440 VAC</b>	Perigo de Choque sem a Cobertura
<b>00</b>	Classe da Luva
<b>1067 mm</b>	Aproximação Limitada
<b>305 mm</b>	Aproximação Restrita
<b>25 mm</b>	Aproximação Proibida
<b>Barra: 001 Prot: 52BT-1</b>	

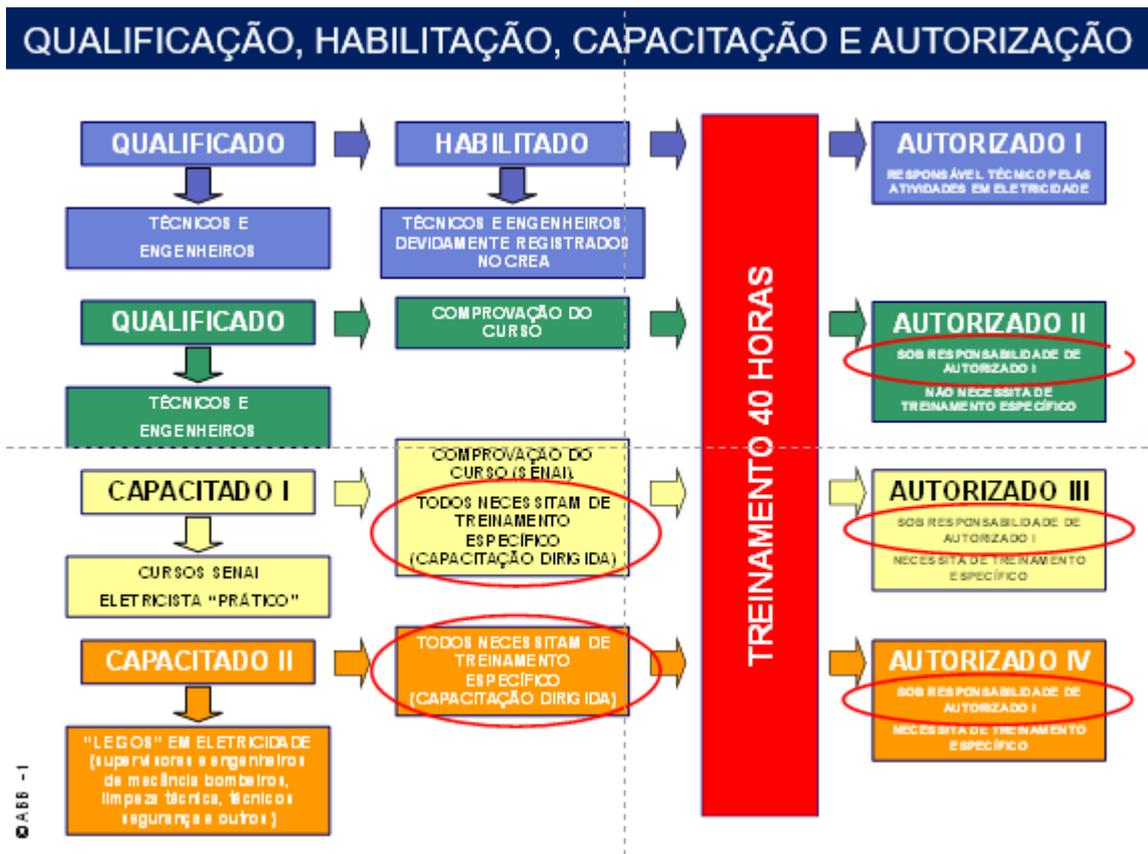
Figura 6 – Exemplo de placa para colocação em painéis

### 9.3. CONSIDERAÇÕES ENTRE MÉTODOS NFPA 70E e IEEE 1584

- Tanto o método da **NFPA** como o método do **IEEE** apresentam valores próximos nos níveis de tensão até 600V. Para níveis de tensão superiores a discrepância entre o resultado é muito grande.
- Convém salientar que na média tensão os painéis obrigatoriamente são a prova de arco interno, quando as portas e compartimentos estão fechados, neste caso as equações deverão ser substituídas pelas condições de contorno do fabricante.
- Os dois métodos voltam a ter valores semelhantes quando a faixa permitida pelo **IEEE** é ultrapassada e as equações se tornam as de máxima energia incidente variando inversamente proporcional com o quadrado da distância.

### RECOMENDAÇÕES

- ➔ Até 15kV utilizar método IEEE 1584 e acima dessa tensão, nas condições não aceitas pelo método IEEE, utilizar NFPA 70E – Ralph Lee;
- ➔ A “vestimenta” a ser utilizada deve ser especificada como um EPI e não como um simples uniforme;
- ➔ Deve ser realizada uma Análise de Riscos considerando-se as características de trabalho e as características das instalações;
- ➔ Deve ser realizado um Relatório Técnico de Exposição Ocupacional ao Risco de Arco Elétrico;
- ➔ A análise quantitativa da Energia Incidente deve considerar o melhor método e deve ter como responsável técnico um Profissional Habilitado (vide quadro abaixo – NR 10 item 10.8).



0.8.8 - 1

## 9. MÉTODOS PARA REDUÇÃO DE ENERGIA INCIDENTE

- ➔ Especificar painéis resistentes a arco interno;
- ➔ Não violar a compartimentação do painel para execução de manobras;
- ➔ Possuir dispositivos de inserção e extração com porta fechada;
- ➔ Controle Remoto de disjuntores;
- ➔ Sistemas de Aterramento através de Alta Resistência tanto na baixa como na alta tensão (<17,5kV).



Figura 8 – Exemplos de métodos de segurança

### 10.1. PAINÉIS RESISTENTES A ARCOS INTERNOS

Falhas internas em painéis elétricos podem gerar arcos elétricos capazes de destruir completamente a estrutura do painel e seus componentes. Devido à forte expansão do ar no seu interior, as partes móveis do painel, como as portas, podem ser arremessadas, tendo a possibilidade de atingir pessoas próximas ao local da ocorrência.

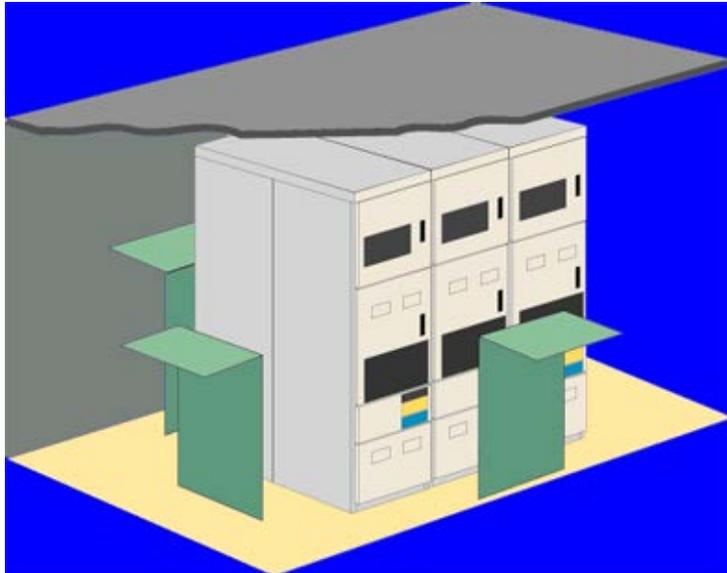
Essas falhas podem ocorrer devido a uma série de fatores difíceis de serem previstos e controlados.

Dentre esses fatores, destacam-se:

- Falha da isolamento ou dos contatos devido ao envelhecimento;
- Falha de transformadores de instrumentação (TP e TC);
- Sobretensões no sistema devido à manobra em disjuntores;
- Sobretensões ocasionadas por descargas atmosféricas;
- Poluição no ambiente de instalação do painel;
- Operação equivocada;
- Manutenção precária.

## 10.2. A NOVA CLASSIFICAÇÃO DE PAINÉIS MT

Segundo a nova NBR IEC 62271-200 - «CLASSES», temos:



Indicadores são instalados a 100 mm (B) e a 300 mm (A) do painel. Qualquer indício de inflamação dos indicadores (de algodão) significa que a acessibilidade, naquele lado está comprometida.

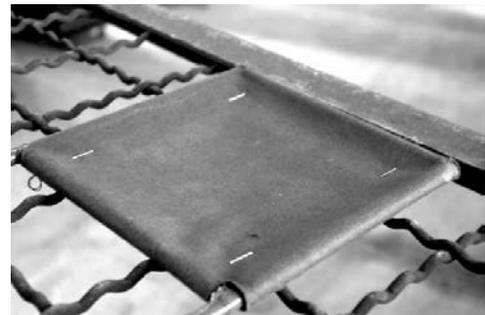
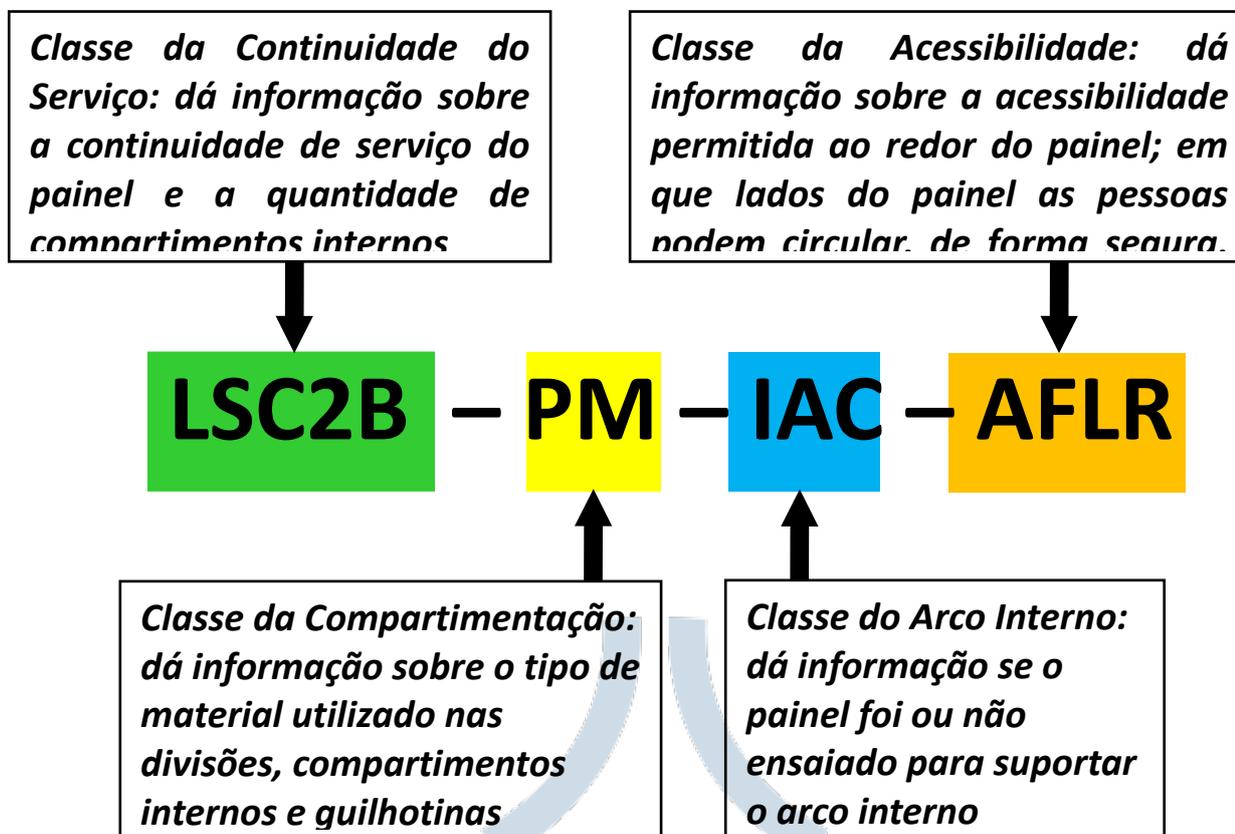


Figura 9 – Ensaio de Arco Interno e Acessibilidade

- A:** acesso ao painel é restrito a pessoas autorizadas – ensaio com indicadores a 300 mm;
- B:** acesso ao painel é **irrestrito** de pessoas – ensaio com indicadores a 100 mm.

*Exemplo: painel METAL-CLAD a prova de arco com acessibilidade total.*



a) A primeira classe ou designação dá informação sobre a conveniência de intervenção, em caso de uma manutenção ser necessária. Utiliza-se o termo LSC (Loss of service continuity). A norma prevê duas designações possíveis:

- LSC2: perda da continuidade de serviço tipo 2

*“Todos os painéis que tem outros compartimentos, além do compartimento de barramentos são do tipo LSC2”.*

- LSC1: perda da continuidade de serviço tipo 1

*“Todos os painéis que forem diferentes de LSC2 são da classe tipo 1”.*

O painel LSC2 possui duas subdivisões: LSC2A e LSC2B

As cláusulas A e B do painel LSC2 dão informação sobre a continuidade de serviço que pode ser conseguida em caso de manutenção do painel ou partes dele:

- **LSC2B:** o painel que é classificado como tendo perda da continuidade de serviço B é o conjunto que tem a seguintes características:

- Ao se fazer uma manutenção, apenas o compartimento de entrada de cabos do cubículo pode ficar energizado.

- O cubículo deve ter pelo menos três compartimentos: o do aparelho de manobra, o da entrada do aparelho de manobra e o de saída do aparelho de manobra.

- **LSC2A:** são todos os cubículos diferentes da classe LSC2B

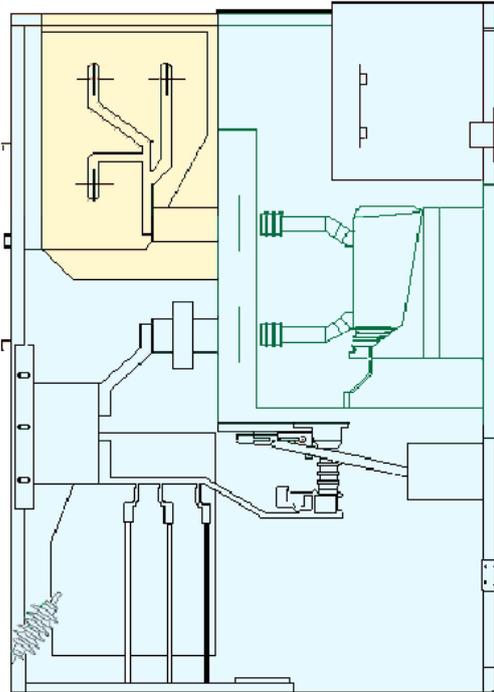


Figura 10 – Painel classe LSC2B

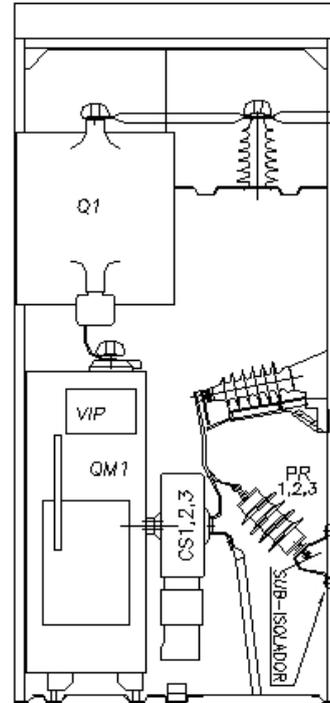


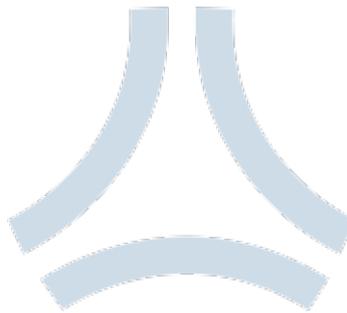
Figura 11 – Painel classe LSC2A

- b) A **segunda classe ou** designação indica qual é o tipo de material utilizado nos compartimentos, divisões internas ou guilhotinas do painel. São dois tipos:
- PM: partições feitas de material **metálico**;
  - PI: partições feitas de material **isolante**.
- c) A **terceira classe ou** termo de classificação de painéis de média tensão identifica se o equipamento foi ou não ensaiado para suportar o arco interno. Utiliza-se o termo IAC (internal arc cubicle) para painéis ensaiados:
- **LSC2B-PM-IAC**
- Se o painel não foi ensaiado contra o arco interno, o termo IAC é omitido:
- **LSC2B-PM**
- d) A **quarta classe ou** termo indica *a) tipo de acessibilidade e b) em que lados do painel pode haver circulação de pessoas*. A acessibilidade pode ser de dois tipos:
- A: acesso ao painel é restrito a pessoas autorizadas – ensaio com indicadores a 300 mm
  - B: acesso ao painel é **irrestrito** de pessoas – ensaio com indicadores a 100 mm

Junto ao termo de acessibilidade deve ser informado em que lados do painel as pessoas podem transitar:

- R (Rear): traseira
- L (Lateral): lateral
- F (Frontal): frontal

**Exemplo: LSC2B-PM-IAC-BFL**



## 10. MEDIDAS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL E COLETIVA

O subitem 7.1 mostra quais são os dados necessários para avaliação do Risco de Arco Elétrico e da Segurança. Nos itens subsequentes (8, 9 e 10) foram abordadas algumas dessas necessidades.

Neste item visualizaremos necessidades complementares e que fazem parte também, como os itens vistos até aqui, da satisfação aos itens da NR 10.

### 11.1. DIAGRAMA UNIFILAR

*10.2.3 As empresas estão obrigadas a manter esquemas Unifilares atualizados das instalações elétricas dos seus estabelecimentos com as especificações do sistema de aterramento e demais equipamentos e dispositivos de proteção.*

O Diagrama Unifilar define as principais partes do sistema elétrico permitindo identificar o tipo de instalação, sua dimensão, ligação, o número de condutores, modelo do interruptor, o dimensionamento de eletrodutos, condutores, eletrocalhas, lâmpadas e tomadas, equipamentos instalados (transformadores, geradores, TPs, TCs, etc), etc. Esse tipo de diagrama localiza todos os componentes da instalação.

O diagrama Unifilar deve conter, entre outras informações, o nível de curto-circuito presumido em cada barra. As instalações com entrada em alta tensão podem ter níveis de curto-circuito elevados. Os valores dependem de fatores como potência dos transformadores, secção dos cabos, comprimento dos circuitos, etc.

Para que seja *assegurada a segurança dos trabalhadores* na operação dos dispositivos de proteção contra curto-circuito, a capacidade de interrupção deve ser superior ao valor da corrente de curto-circuito presumido no ponto de instalação do equipamento.

O Diagrama Unifilar Geral é necessário e obrigatório e deve estar disponibilizada uma cópia em toda subestação que faça parte de uma edificação (NR 10 – itens 10.2.3 e 10.2.7).



Figura 12 – Diagrama Unifilar

## 11.2. EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO

### ITEM DA NR 10:

*10.2.4 Os estabelecimentos com carga instalada superior a 75 kW devem constituir e manter o Prontuário de Instalações Elétricas, contendo, além do disposto no subitem 10.2.3, no mínimo:*

**10.2.4.c** *especificação dos equipamentos de proteção coletiva e individual e o ferramental, aplicáveis conforme determina esta NR;*

Segundo a NR-6, compete ao SESMT – Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho – ou, nas empresas desobrigadas a manter o SESMT, à Cipa – Comissão Interna de Prevenção de Acidentes – recomendar ao empregador o EPI adequado ao risco existente em determinada atividade. Nas empresas desobrigadas de constituir Cipa, cabe ao designado, mediante orientação de profissional tecnicamente habilitado (vide Figura 7), recomendar o EPI adequado à proteção do trabalhador.

## 12. EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL (EPI)

### ITEM DA NR 10:

*10.2.9.1 Nos trabalhos em instalações elétricas, quando as medidas de proteção coletiva forem tecnicamente inviáveis ou insuficientes para controlar os riscos, devem ser adotados equipamentos de proteção individuais específicos e adequados às atividades desenvolvidas, em atendimento ao disposto na NR 6.*

Quando as medidas de proteção coletiva forem tecnicamente inviáveis ou insuficientes para controlar os riscos nos trabalhos em instalações elétricas, devem ser adotados equipamentos de proteção individuais específicos e adequados às atividades desenvolvidas, atendendo à NR-6. Logo, deve-se fazer uma análise de risco para cada atividade, a fim de verificar se existe uma medida de proteção coletiva tecnicamente viável, ou se a medida de proteção coletiva, caso exista, é suficiente para controlar os riscos. Se o risco permanecer, deve-se especificar um EPI adequado. Os documentos relativos à análise de risco e à especificação do EPI devem fazer parte do prontuário.

## CONDIÇÕES GERAIS:

- Ferramentas isoladas podem ser completa ou parcialmente isoladas. Deve-se dar preferência ao isolamento completo;
- Revestimentos de material isolante devem ser aplicados firmemente aderentes à ferramenta, com exceção das hastes das aparafusadoras;
- A usabilidade das ferramentas não deve ficar prejudicada na faixa de temperatura de  $-10^{\circ}\text{C}$  até  $+50^{\circ}\text{C}$ ;
- Desde que nas prescrições específicas não conste nada em contrário, os revestimentos de material isolante devem ter uma camada de, no mínimo, 1 mm de espessura (também debaixo dos lugares de impressão das inscrições);
- Não devem existir dispositivos de regulagem em ferramentas aparafusadoras nem articulações deslizantes em alicates;
- Em ferramentas utilizáveis de diversos lados, por exemplo, chaves de encaixe e chaves para sextavado interno, não deve haver ligação condutora entre as cabeças atuantes;
- Identificação do fabricante (nome, símbolo ou marca) gravado sobre o metal da ferramenta ou sobre o material isolante, com indicação do valor de tensão inscrito no mesmo ou na falta de espaço imediatamente abaixo ou do lado.

## 12.1. VESTIMENTAS

### Requisitos NFPA 70E

A National Fire Protection (NFPA) publicou em fevereiro de 2000 requerimentos de vestimenta de segurança para trabalhadores não cobertos pela OSHA 1910.269 para eletricitas e responsáveis de manutenção. A norma revisada agora inclui trabalhadores que vestem roupas de proteção a chama que estão de acordo com os requerimentos da ASTM F1506 onde exista a possibilidade de exposição ao arco elétrico. Ela especifica uma análise de risco de exposição para os trabalhadores para determinar a distância de proteção ao arco elétrico (vide Tabela 5 – Capítulo 9).



Figura 13 – Vestimenta

A intensa energia e a curta duração de um arco elétrico representam uma exposição de natureza inigualável.

Uniformes de trabalho feitos de algodão ou de tecido mistos de poliéster e algodão, independentemente de peso, podem ser inflamar em determinado nível de exposição e continuarão a queimar, aumentando a extensão das lesões provenientes do arco.

**Vestimenta Mínima Recomendada** – Grau de Proteção 2 (observada recomendação mínima na Tabela 5):

- Calça e camisa ou macacão e colete de segurança (Figuras 13 e 14);
- Calçados (mínimo na categoria de risco 2) (Figura 15)
- Luvas isolantes para baixa tensão, acrescentada de luvas de proteção mecânica (Figura 16);
- Capacete e protetores auditivos (Figuras 17 e 18);
- Proteção facial (viseira anti-risco ou balaclava) acrescentada de proteção para os olhos (óculos) (Figura 19).



Figura 14 – Coletes de Segurança

**Características do Produto**

Colete de Segurança refletivo, confeccionado em PVC forrado, composto por duas abas frontais que se fecham no centro e uma parte traseira que cobre totalmente as costas do usuário.

Utilizado para proteção em locais onde necessitem de visualização diurna e noturna, deixando o usuário mais visível, refletindo a luz com cores de alerta.



Figura 15 – Calçados de Segurança

## Características do Produto

Calçados de segurança, confeccionado em vaqueta relax, tipo sapato com cadarço, acolchoado, forro interno de raspa, palmilha antimicrobiana (opcional), solado em poliuretano expandido, com biqueira de aço ou sem biqueira de aço.

Os modelos com solado de poliuretano (PU), são resistentes a óleos, graxas e lubrificantes e para uso geral, face ao desenho do solado antiderrapante. Isolante elétrico, indicado para eletricitas.



## Características do Produto

Luva de vaqueta, com corte estilo Montpelier (não reversível), com forchetas; punho de 15 cm em raspa; reforço do tipo meia-lua de proteção, também em vaqueta, na veia do punho.

Figura 16 – Luva de Proteção



Figura 17 – Capacete de Segurança

## Características do Produto

Capacete de segurança injetado em polietileno de alta densidade, modelo aba frontal, injetado em plástico, com 03 (três) estrias centrais reforçadas e calha semicircular, suspensão em plástico, fixa ao casco através de 06(seis) pontos de encaixe, com ajuste de tamanho através de regulagem simples.

Nas Cores: branca, amarela, laranja, vermelha, verde, cinza, azul escuro, azul claro, marrom, bege e preta, classe B.

Proteção da cabeça em atividades em que haja risco de impacto ou penetração, provenientes de queda de objetos e choques elétricos.

Norma Aplicável NBR8221.



Figura 18 – Protetores Auriculares

## Características do Produto

Protetores Auditivos Tipo Concha

Protetores Auditivos Tipo PLUG, com 13 dB NRRsf – Nível de Redução de Ruído – (2010 – em Copolímero; 2011 – em Silicone).

As principais normas internacionais usadas para ensaio de atenuação de protetores auditivos são: ANSI S3.19 – 1974; ANSI S12.6 – 1984, ANSI S12.6 – 1997 – partes A e B e ISO 4869-1:1990. Estas normas preveem a obtenção de valores de atenuação e desvio-padrão (ambos dados em dB) dos protetores em bandas de frequências de 1/1 oitava.



Figura 19 – Óculos de Segurança

## Características do Produto

Óculos de segurança constituído de arco de nylon flexível e resistente. Hastes no mesmo material com regulagem nas hastes.

Lentes em policarbonato ante embaçante

## NOTA IMPORTANTE

O equipamento de proteção individual, de fabricação nacional ou importada, só poderá ser posto à venda ou utilizado com a indicação do certificado de aprovação – CA, expedido pelo órgão nacional competente em matéria de segurança e saúde no trabalho do Ministério do Trabalho e Emprego.

## 13. EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO COLETIVA (EPC)

### ITENS DA NR 10:

*10.2.8.1 Em todos os serviços executados em instalações elétricas devem ser previstas e adotadas, prioritariamente, medidas de proteção coletiva aplicáveis, mediante procedimentos, às atividades a serem desenvolvidas, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores.*

*10.2.8.2 As medidas de proteção coletiva compreendem, prioritariamente, a desenergização elétrica conforme estabelece esta NR e, na sua impossibilidade, o emprego de tensão de segurança.*

*10.2.8.2.1 Na impossibilidade de implementação do estabelecido no subitem 10.2.8.2., devem ser utilizadas outras medidas de proteção coletiva, tais como: isolamento das partes vivas, obstáculos, barreiras, sinalização, sistema de seccionamento automático de alimentação, bloqueio do religamento automático.*

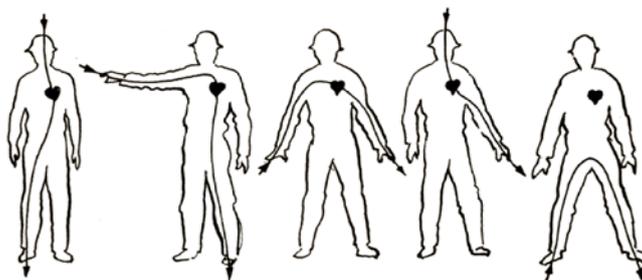
### PROTEÇÃO ELÉTRICA:

Ação automática provocada por dispositivos sensíveis a determinadas condições anormais que ocorrem num circuito, no sentido de evitar danos às pessoas e aos animais e/ou evitar ou limitar danos a um sistema ou equipamento elétrico.

### 13.1. FATORES DETERMINANTES DO CHOQUE ELÉTRICO

Os seguintes fatores determinam a gravidade do choque elétrico:

- Percurso da corrente elétrica – Tem grande influência na gravidade do choque elétrico o percurso seguido pela corrente no corpo. A figura abaixo demonstra os caminhos que podem ser percorridos pela corrente no corpo humano.



- Características da corrente elétrica – As correntes alternadas (CA) de frequência entre 20 e 100 Hz são as que oferecem maior risco. Especificamente as de 60 Hz, usadas nos sistemas de fornecimento de energia elétrica, são especialmente perigosas, uma vez que elas se situam próximas à frequência na qual a possibilidade de ocorrência da fibrilação ventricular é maior.

Para a Corrente Contínua (CC), as intensidades da corrente deverão ser mais elevadas para ocasionar as sensações do choque elétrico, a fibrilação ventricular e a morte.

c) Resistência elétrica do corpo humano – A resistência que o corpo humano oferece à passagem da corrente é quase que exclusivamente devida à camada externa da pele, a qual é constituída de células mortas. Esta resistência está situada entre 100.000 e 600.000 ohms, quando a pele encontra-se seca e não apresenta cortes, e a variação apresentada é função da sua espessura.

Quando a pele está úmida, condição mais facilmente encontrada na prática, ou contém cortes, a resistência elétrica do corpo diminui.

Existem vários meios através pelos quais são criadas condições para que uma pessoa venha a sofrer um choque elétrico. Abaixo os mais comuns:

- ➔ **Contato com um condutor nu energizado;**
- ➔ **Falha na isolação elétrica** – deterioração por agentes agressivos, o envelhecimento natural ou forçado ou mesmo o uso inadequado do equipamento podem comprometer a eficácia da película, como isolante elétrico;
- ➔ **Calor e Temperaturas Elevadas** – ruptura de polímeros dos materiais isolantes;
- ➔ **Umidade** – absorção de água pelo material isolante;
- ➔ **Oxidação** – o ozônio e outros oxidantes criam maior dano ao isolamento em ambientes fechados;
- ➔ **Radiação** – radiação ultravioleta tem a capacidade de degradar as propriedades do isolamento;
- ➔ **Produtos Químicos** – isolantes elétricos degradam-se na presença de substâncias como ácidos, lubrificantes e sais;
- ➔ **Desgaste Mecânico** – abrasão, corte, flexão e torção do recobrimento dos condutores causam danos mecânicos ao isolamento elétrico;
- ➔ **Fatores Biológicos** – Roedores, insetos e fungos podem deteriorar os materiais orgânicos de que são constituídos os isolamentos elétricos, comprometendo a isolação dos condutores;
- ➔ **Altas Tensões** – Altas tensões podem dar origem à arcos elétricos ou efeitos corona, os quais criam buracos na isolação ou degradação química, reduzindo, assim, a resistência elétrica do isolamento;
- ➔ **Pressão** – O vácuo pode causar o desprendimento de materiais voláteis dos isolantes orgânicos, causando vazios internos e consequente variação nas suas dimensões, perda de peso e consequentemente, redução de sua resistividade.

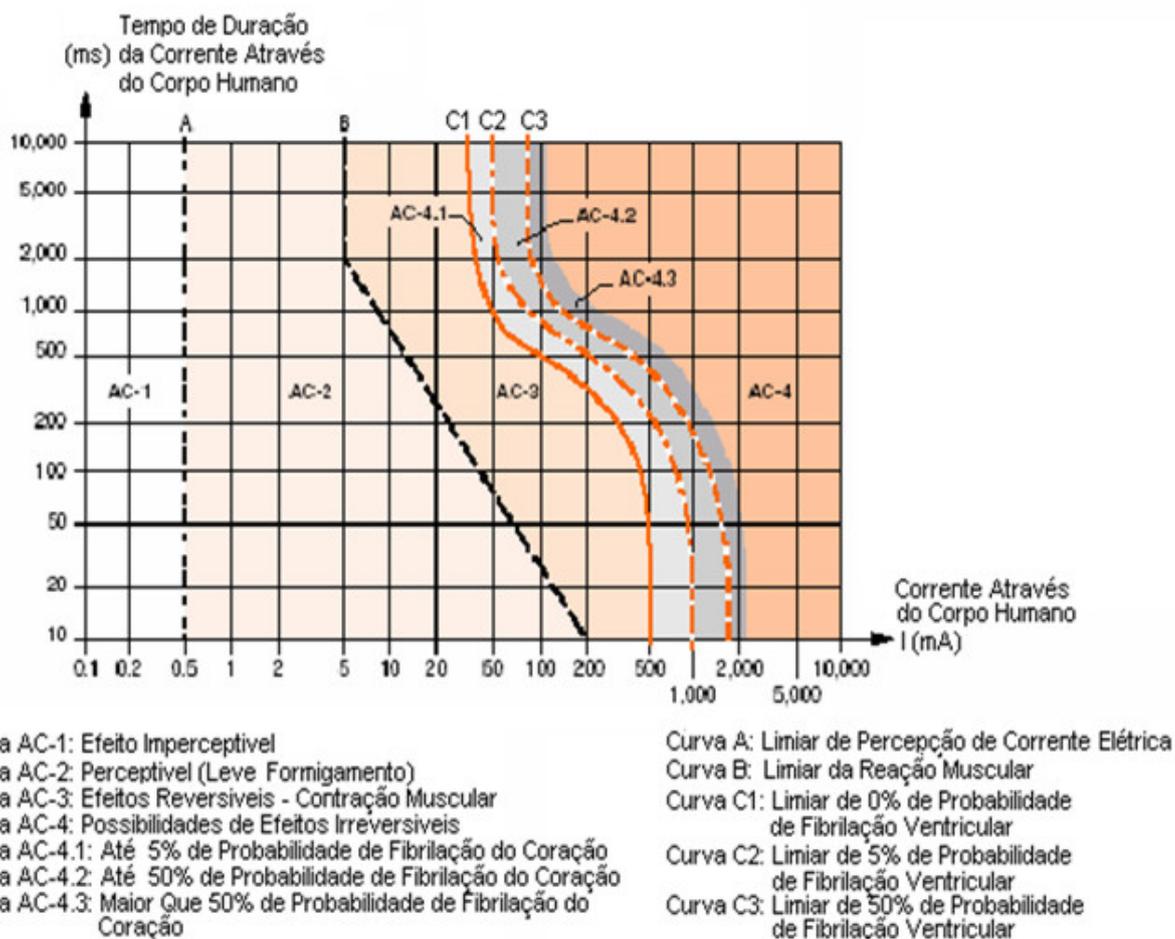


Figura 20 – Efeitos da corrente elétrica no corpo humano e suas consequências – IEC 60479

## 13.2. PROTEÇÃO CONTRA CHOQUES ELÉTRICOS

### NBR5410

#### 5.1 Proteção contra choques elétricos

##### 5.1.1.1 Princípio fundamental

O princípio que fundamenta as medidas de proteção contra choques especificadas nesta Norma pode ser assim resumido:

- Partes vivas perigosas não devem ser acessíveis; e
- Massas ou partes condutivas acessíveis não devem oferecer perigo, seja em condições normais, seja, em particular, em caso de alguma falha que as tornem acidentalmente vivas.

Deste modo, a proteção contra choques elétricos compreende, em caráter geral, dois tipos de proteção:

- a) Proteção básica (ver 3.2.2) e
- b) Proteção supletiva (ver 3.2.3).

#### NOTAS

- 1) Os conceitos e princípios da proteção contra choques elétricos aqui adotados são aqueles da IEC 61140.
- 2) Os conceitos de “proteção básica” e de “proteção supletiva” correspondem, respectivamente, aos conceitos de “proteção contra contatos diretos” e de “proteção contra contatos indiretos” vigentes até a edição anterior desta Norma.
- 3) Exemplos de proteção básica:
  - Isolação básica ou separação básica;
  - Uso de barreira ou invólucro;
  - Limitação da tensão.
- 4) Exemplos de proteção supletiva:
  - Equipotencialização e seccionamento automático da alimentação;
  - Isolação suplementar;
  - Separação elétrica.

A **Regra Geral** da proteção contra choques elétricos é que as medidas de proteção sejam asseguradas, no mínimo, pelo provimento conjunto de proteção básica e de proteção supletiva, mediante combinação de meios independentes ou mediante aplicação de uma medida capaz de prover ambas as proteções, simultaneamente.

Normas e regulamentos distinguem dois tipos de contato perigoso e correspondentes medidas de proteção:

- Contato Direto;
- Contato Indireto.

**Contato Direto** – refere-se a uma pessoa que entra em contato com um condutor eletricamente carregado que está em condições normais de funcionamento (ver Figura 21).

Na Norma IEC61140 o termo “proteção contra contato direto” foi rebatizado para “Proteção básica”. O nome anterior é mantido, pelo menos, para informação.

**Contato Indireto** – refere-se a uma pessoa que entra em contato com algo que normalmente não é condutor de eletricidade, mas tornou-se acidentalmente condutor, por exemplo, devido à falha do isolamento ou alguma outra causa (ver Figura 22).

Na Norma IEC61140 o termo “proteção contra contatos indiretos” foi rebatizado para “Proteção de falha”. O nome anterior é mantido, pelo menos, para informação.



Figura 21 – Choque Elétrico – Contato Direto



Figura 22 – Choque Elétrico – Contato Indireto

## 14. PROTEÇÃO CONTRA CONTATOS DIRETOS

A proteção contra contato direto visa impedir contatos involuntários com partes condutoras sem defeito e submetidas a uma dada tensão. Esta regra também é pertinente ao condutor neutro. A proteção pode ser Total, Parcial e Complementar:

- Proteção Total – utilização de (1) Isolação de Partes Vivas, (2) Colocação de Barreiras e (3) Involúcros;
- Proteção Parcial – através da colocação de (4) Obstáculos ou (5) Colocação Fora de Alcance;
- Proteção Complementar – utilização de (6) Dispositivos Diferenciais Residuais (DR).

**14.1. ISOLAÇÃO DE PARTES VIVAS** – São elementos construídos com materiais dielétricos (não condutores de eletricidade) que têm por objetivo isolar condutores ou outras partes da estrutura que estão energizadas, para que os serviços possam ser executados com efetivo controle dos riscos pelo trabalhador.



Figura 23– Isolação das partes vivas de linha energizada

Para equipamentos é considerada realizada quando toda parte condutora está recoberta por material isolante de alta durabilidade capaz de suportar solicitações mecânicas, elétricas ou térmicas e que somente possa ser retirada por meio de sua destruição.

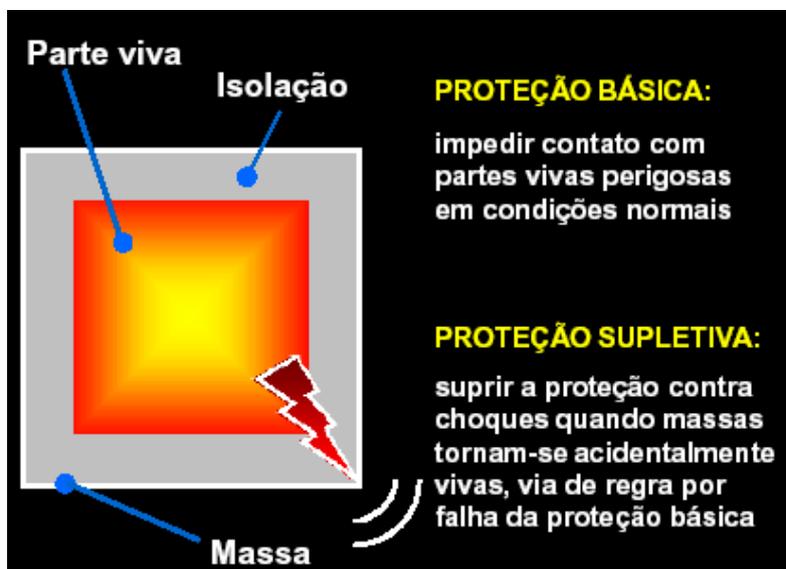


Figura 24 – Isolação das partes vivas de um equipamento

**14.2. COLOCAÇÃO DE BARREIRAS** – Dispositivos que impedem todo e qualquer contato com partes energizadas das instalações elétricas. Sua função básica é impedir que pessoas ou animais toquem acidentalmente as partes energizadas de uma instalação.



**14.3. INVÓLUCROS** – Envoltórios destinados a impedir todo e qualquer contato com partes internas energizadas.



Figura 26 – Tipos de invólucros

## NOTA SOBRE BARREIRAS E INVÓLUCROS

Quando for necessário remover as barreiras, abrir os invólucros ou remover partes dos invólucros, tal ação só deve ser possível:

- Com ajuda de chave ou ferramenta;
- Após desenergização das partes vivas protegidas pelas barreiras ou invólucros em questão, exigindo-se ainda que a tensão só possa ser restabelecida após recolocação das barreiras ou invólucros;
- Se houver ou for interposta uma segunda barreira, entre a barreira ou a parte a ser removida e a parte viva.

A NBR IEC 60529 estabelece esses “Graus de Proteção IP”. Eles definem os requisitos mínimos para os invólucros em cada aplicação específica, como mostra a tabela abaixo:

**IP- X X**

Tab. I - Graus de proteção contra a penetração de objetos sólidos estranhos indicados pelo primeiro numeral característico	
Numeral	Descrição sucinta do grau de proteção
0	Não protegido
1	Protegido contra objetos sólidos de Ø 50 mm e maior
2	Protegido contra objetos sólidos de Ø 12 mm e maior
3	Protegido contra objetos sólidos de Ø 2,5 mm e maior
4	Protegido contra objetos sólidos de Ø 1,0 mm e maior
5	Protegido contra poeira
6	Totalmente protegido contra poeira

Tab. II - Graus de proteção contra a penetração de água indicados pelo segundo numeral característico	
Numeral	Descrição sucinta do grau de proteção
0	Não protegido
1	Protegido contra gotas d'água caindo verticalmente
2	Protegido contra queda de gotas d'água caindo verticalmente com invólucro inclinado até 15°
3	Protegido contra aspensão d'água
4	Protegido contra projeção d'água
5	Protegido contra jatos d'água
6	Protegido contra jatos potentes d'água
7	Protegido contra efeitos de imersão temporária em água
8	Protegido contra efeitos de imersão contínua em água

**14.4. OBSTÁCULOS E ANTEPAROS** – Os obstáculos são destinados a impedir:

- Uma aproximação física não intencional das partes energizadas;
- Contatos não intencionais com partes energizadas durante atuações sobre o equipamento, estando o equipamento em serviço normal.

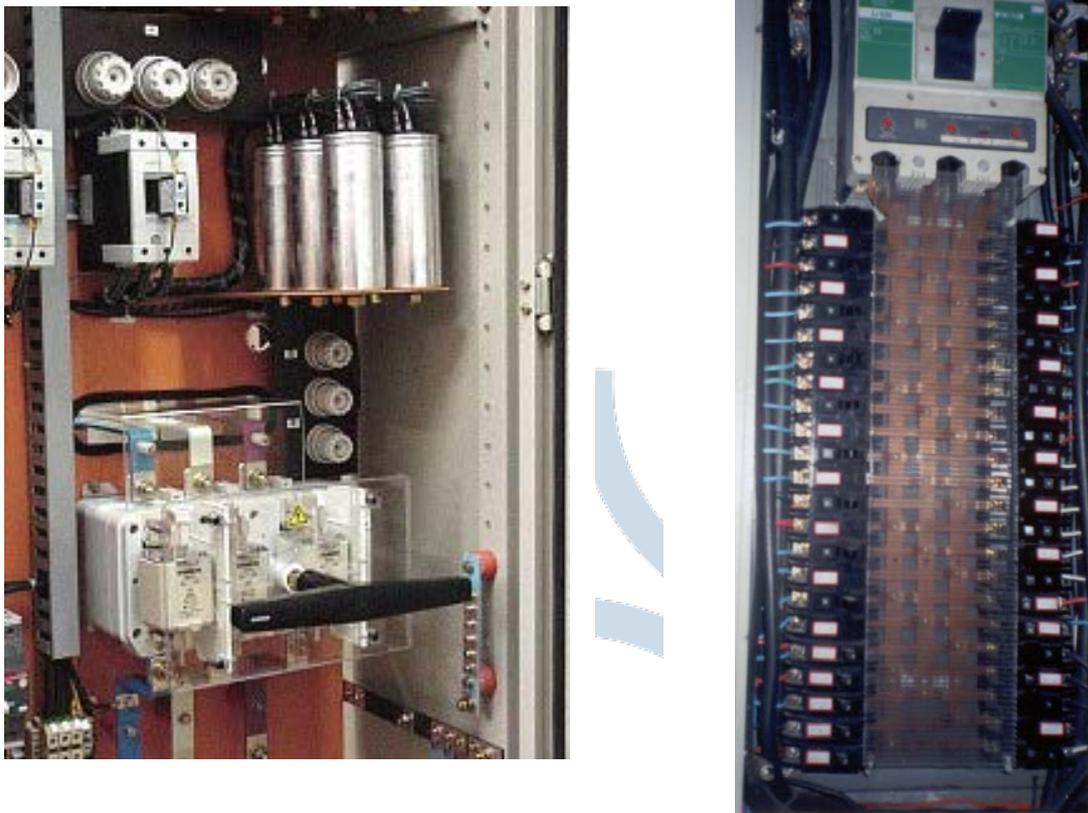


Figura 27 – Tipos de obstáculos e anteparos

**14.5. COLOCAÇÃO FORA DE ALCANCE** – A colocação fora de alcance é somente destinada a impedir os contatos involuntários com as partes vivas. Quando há o espaçamento, este deve ser suficiente para que se evite que pessoas circulando nas proximidades das partes vivas em média tensão possam entrar em contato com essas partes, seja diretamente ou por intermédio de objetos que elas manipulem ou que transportem.

Os espaçamentos mínimos previstos para instalações internas são definidos nas Figuras 28(a) e 28(b) com os valores da tabela 7 e para instalações externas na Figura 29 com os valores da tabela 8.

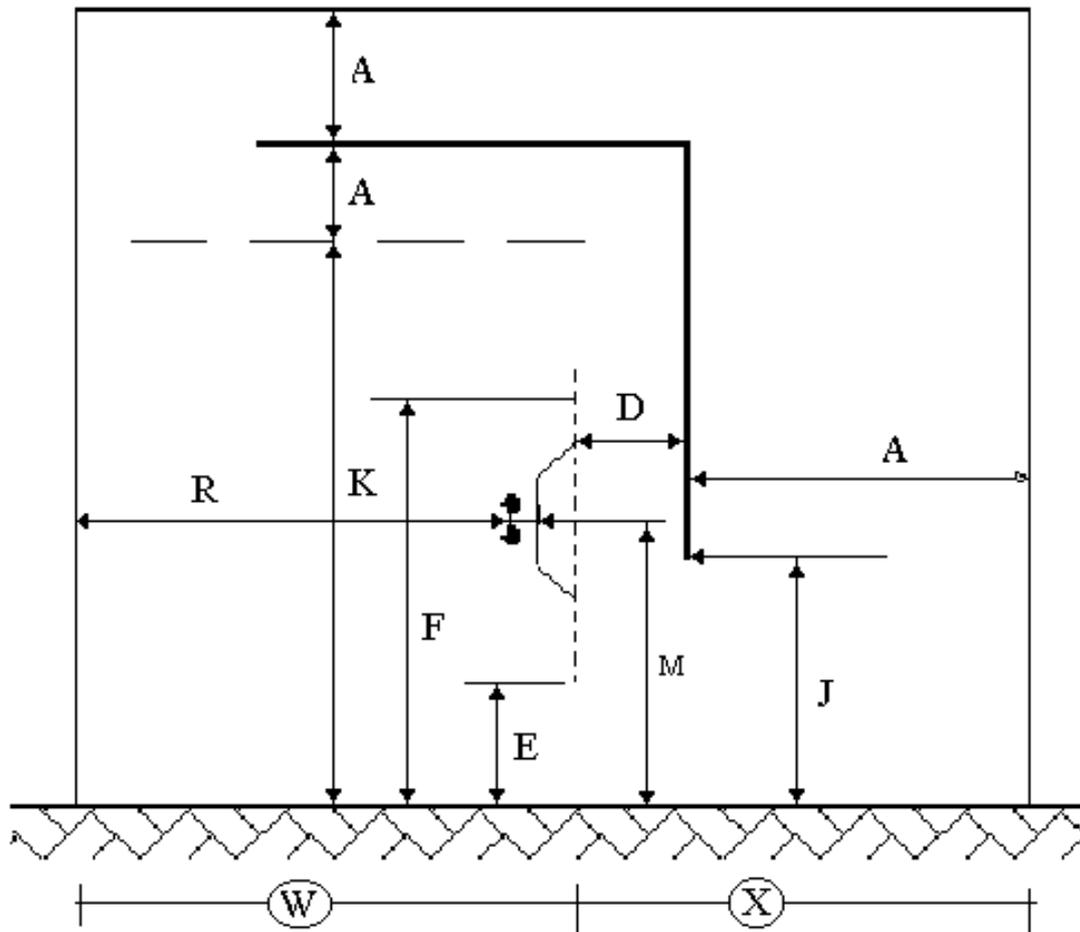


Figura 28(a) – Espaçamento para instalações internas – circulação por um lado

**Onde:**

— Partes Vivas

..... Anteparos – Tela ou grade metálica

 - Dispositivos de Manobra

W – Área de circulação permitida às pessoas capacitadas

X – Área de circulação proibida

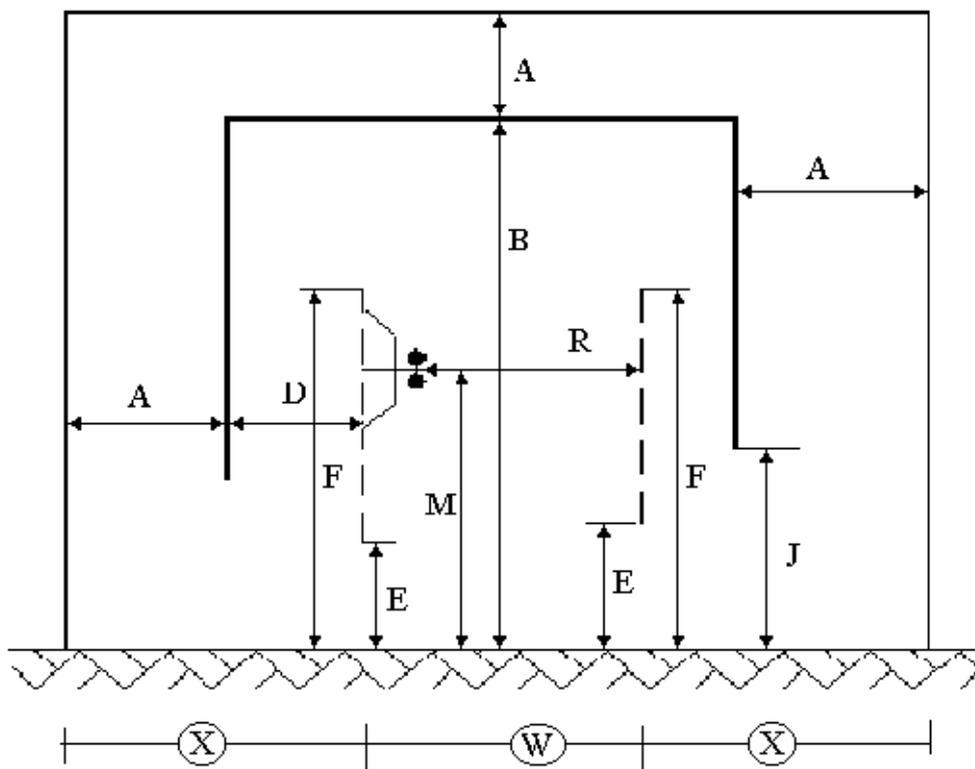


Figura 28(b) – Espaçamento para instalações internas – circulação por mais de um lado

Onde:

— Partes Vivas

W – Área de circulação permitida às pessoas capacitadas

..... Anteparos – Tela ou grade metálica

X – Área de circulação proibida



- Dispositivos de Manobra

Dimensões Mínimas (mm)		
D	300 até 24,2kV	Distância entre a parte viva e um anteparo vertical
	400 até 36,2kV	
A		Valores de distâncias mínimas da tabela 9
R	1200	Locais de manobra
H	2700	Altura mínima de uma parte viva com circulação
K	2000	Altura mínima de um anteparo horizontal
F	1700	Altura mínima de um anteparo vertical
J	E+300	Altura mínima de uma parte viva sem circulação
Dimensões Máximas (mm)		
E	300	Distância máxima entre a parte inferior de um anteparo e o piso
Malha	20	Abertura da malha

Tabela 8 – Espaçamento para instalações internas

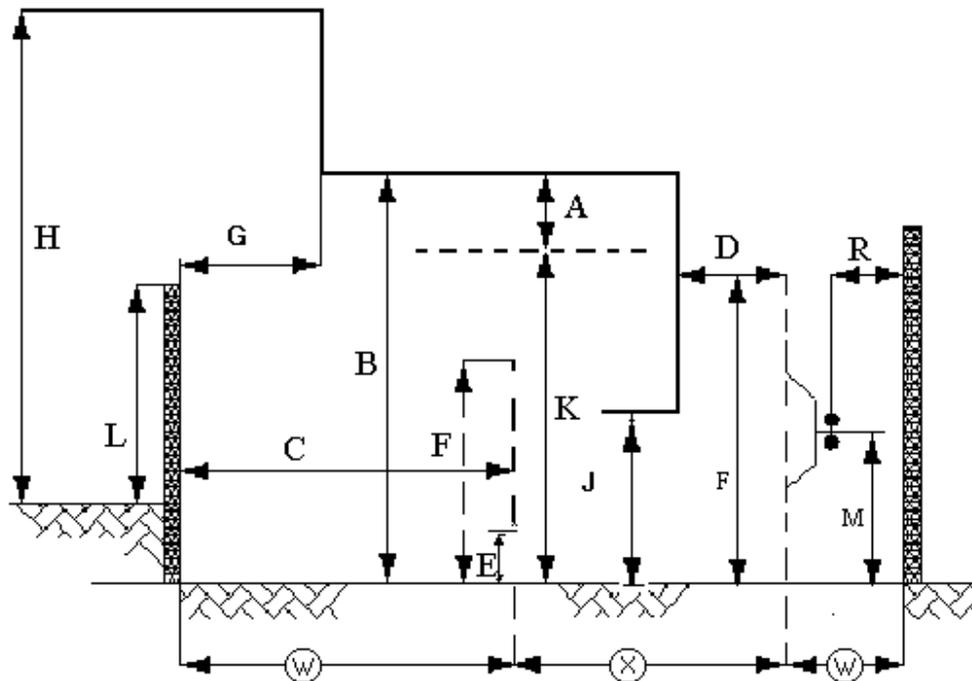


Figura 29 – Espaçamento para instalações externas ao nível do piso

Onde:

— Partes Vivas

..... Anteparos – Tela ou grade metálica



- Dispositivos de Manobra

W – Área de circulação permitida às pessoas capacitadas

X – Área de circulação proibida

Dimensões Mínimas (mm)		
A		Valores de distâncias mínimas da tabela 8
G	1500	Distância mínima entre a parte viva e a proteção externa
B	4000	Altura mínima de uma parte viva na área de circulação
R	1500	Locais de manobra
D	500	Distância mínima entre a parte viva e um anteparo vertical
F	2000	Altura mínima de um anteparo vertical
H	6000	Em ruas, avenidas e entradas de prédios e demais locais com trânsito de veículos.
	5000	Em local com trânsito de pedestres somente
	9000	Em ferrovias
	7000	Em rodovias
J	800	Altura mínima de uma parte viva na área de circulação proibida
K	2200	Altura mínima de um anteparo horizontal
L	2000	Altura mínima da proteção externa
C	2000	Circulação
Dimensões Máximas (mm)		
E	600	Distância máxima entre a parte inferior de um anteparo vertical e o piso
M	1200	Altura dos punhos de acionamento manual
Malha	20	Abertura das malhas dos anteparos

Tabela 9 – Espaçamento para instalações externas

**14.6. DISPOSITIVO DIFERENCIAL RESIDUAL (DR)** – O dispositivo DR é um interruptor automático que desliga correntes elétricas de pequena intensidade (da ordem de centésimos de ampère), que um disjuntor comum não consegue detectar, mas que podem ser fatais se percorrerem o corpo humano.



O dispositivo DR (Diferencial Residual) protege as pessoas e os animais contra os efeitos do choque elétrico por contato direto ou indireto (causado por fuga de corrente). Ao detectar uma fuga de corrente na instalação, o Dispositivo DR desliga o circuito imediatamente, desarmando o disjuntor onde está ocorrendo o problema.

Conforme o item 5.1.3.2.2 da Norma NBR 5410, o dispositivo DR é obrigatório desde 1997 nos seguintes casos:

1. Em circuitos que sirvam a pontos de utilização situados em locais que contenham chuveiro ou banheira.
2. Em circuitos que alimentam tomadas situadas em áreas externas à edificação.
3. Em circuitos que alimentam tomadas situadas em áreas internas que possam vir a alimentar equipamentos na área externa.
4. Em circuitos que sirvam a pontos de utilização situados em cozinhas, copas, lavanderias, áreas de serviço, garagens e demais dependências internas normalmente molhadas ou sujeitas a lavagens.

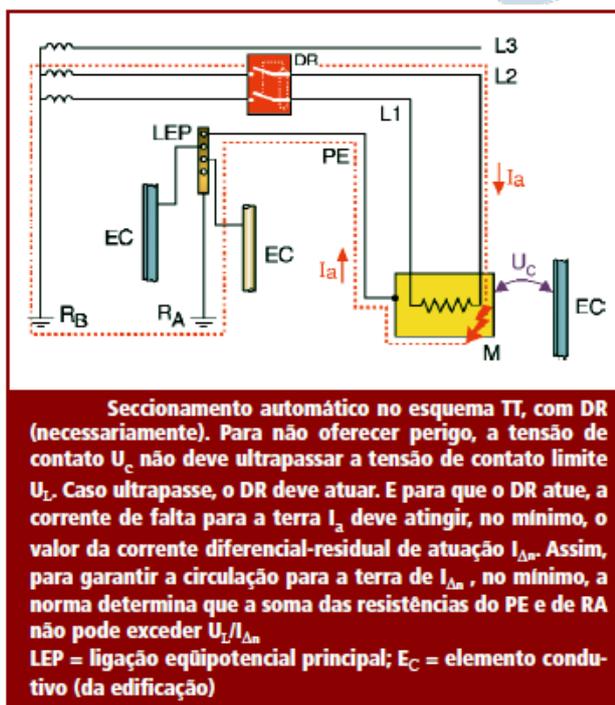


Figura 30 – Esquema TT com DR

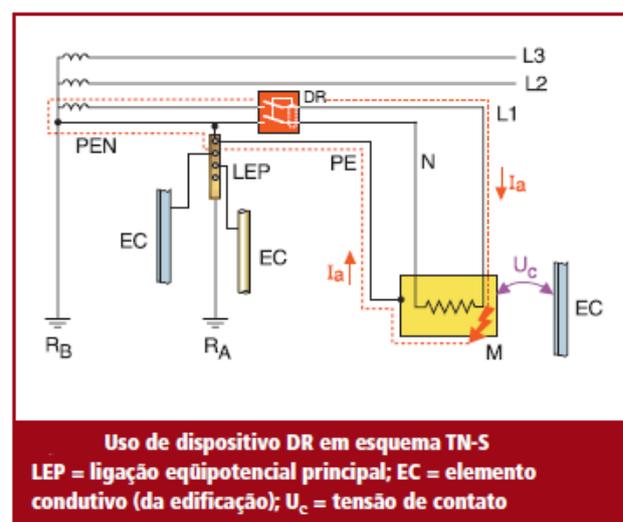
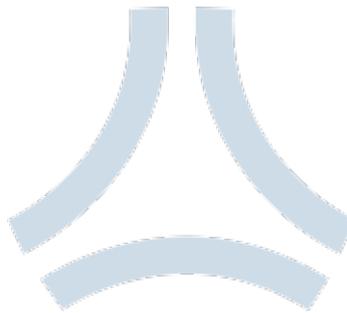


Figura 31 – Esquema TN-S com DR

A NBR 5410, norma da ABNT sobre instalações elétricas de baixa tensão, prescreve a separação dos circuitos de iluminação e tomadas em todos os tipos de edificações e aplicações, independentemente do local (quarto, sala, etc.).

**Exige ainda que a seção mínima dos circuitos de iluminação seja de 1,5 mm<sup>2</sup> e a dos circuitos de força, que incluem as tomadas, de 2,5 mm<sup>2</sup> (item 6.2.6.1.1 – Tabela 47 – Seção Mínima dos Condutores).**

Portanto, a exigência da norma de separar os circuitos de iluminação e força tem forte justificativa técnica, seja no que diz respeito ao funcionamento adequado da instalação, à segurança das pessoas ou à qualidade de energia no local.



## 15. PROTEÇÃO CONTRA CONTATOS INDIRETOS

Denomina-se contato indireto o toque de uma parte metálica normalmente não energizada de um aparelho elétrico que foi tornada viva por uma falha da isolação. Devem ser adotadas medidas para proteção contra esse risco. A proteção contra choque por contato indireto é um conjunto de medidas que visa impedir que apareça na instalação uma tensão de contato que possa resultar em risco de efeito fisiológico perigoso para as pessoas.

Essa proteção deve ser garantida pelo **aterramento** (incluso o SPDA) e pela **equipotencialização**. O **seccionamento automático** da alimentação é uma medida que visa garantir a integridade dos componentes dos sistemas de aterramento e de equipotencialização e limitar o tempo de duração da falta.

O valor máximo da tensão de contato adotado na NBR 14039 é baseado nos padrões internacionais. Estes padrões são definidos pela IEC 60479-1 – Efeitos da corrente sobre os seres humanos e animais domésticos. A tensão de contato pode aparecer na massa dos equipamentos ou nos elementos condutores estranhos à instalação, devido a um defeito de isolamento. A Figura 29 apresenta a tensão de contato em função do tempo de exposição. O valor máximo da tensão de contato que pode ser mantida indefinidamente, de acordo com a IEC 60479-1, em condições especificadas de influências externas, é chamado de Tensão de contato limite convencional (UL), e é igual a:

- 50V em corrente alternada (valor eficaz) e 120V em corrente contínua uniforme, nas instalações internas ou abrigadas;
- 25V em corrente alternada (valor eficaz) e 60V em corrente contínua uniforme, nas instalações externas.

A prescrição fundamental para a proteção contra choque por contato indireto, é que a tensão de contato em qualquer ponto da instalação, não deve poder ser superior aos valores definidos na figura abaixo.

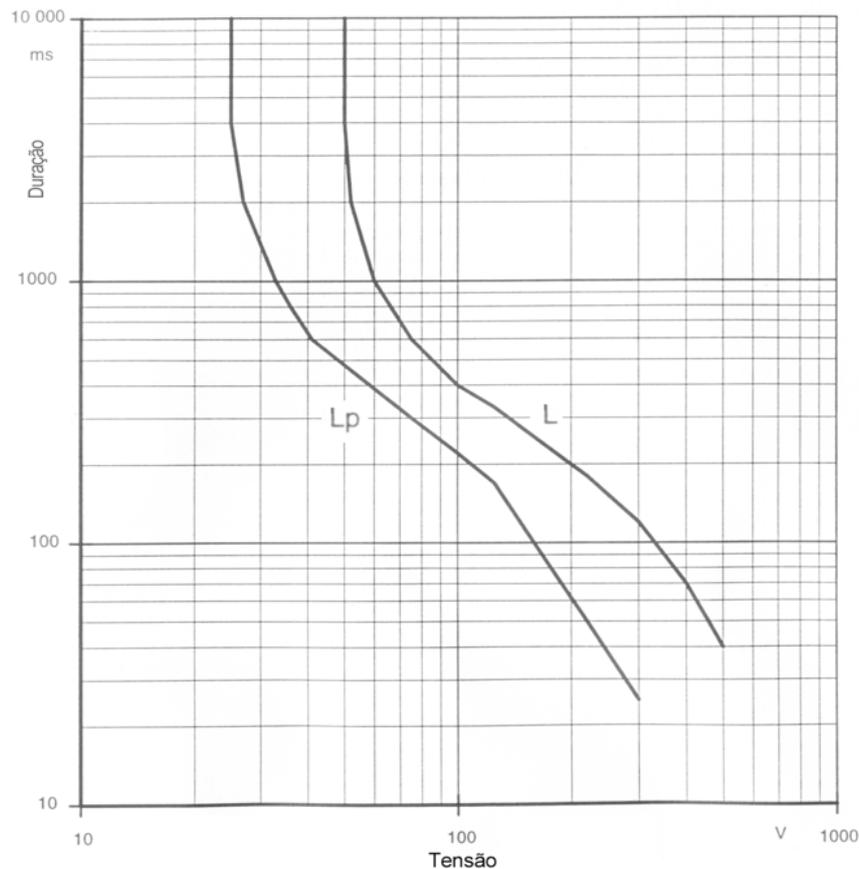


Figura 32 – Duração máxima da tensão de contato presumida (L para a situação 1 e Lp para a situação 2)

## 15.1. SISTEMAS DE ATERRAMENTO

A NBR 14039 e a NR 10 exigem que todas as instalações elétricas tenham um aterramento para que se possa garantir, de forma adequada, a segurança das pessoas e a proteção das instalações contra descargas atmosféricas e o seu funcionamento correto. Além disso, tem-se a finalidade de melhoria da qualidade dos serviços, principalmente da proteção, e o estabelecimento de um referencial de tensão para a instalação.

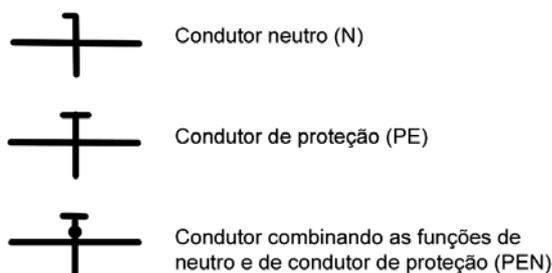
O aterramento segundo sua função pode ser classificado como:

- Funcional – é o aterramento de um condutor vivo, normalmente o neutro, objetivando garantir o funcionamento correto, seguro e confiável da instalação;
- De proteção – é o aterramento das massas e dos elementos condutores estranhos à instalação, objetivando a proteção contra choques elétricos por contatos indiretos.
- Temporário – é o aterramento de uma parte de uma instalação elétrica, que está normalmente sob tensão, mas é posta temporariamente sem tensão para que possam ser executados trabalhos com segurança.

O sistema de aterramento de uma planta / instalação é de fundamental importância por várias razões, as quais estão relacionadas com qualquer proteção de pessoas e equipamento e/ou o funcionamento ótimo do sistema elétrico. Estes incluem:

- Ligação equipotencial de objetos condutores (equipamento metálico, por exemplo, edifícios, etc. tubulações,) ao sistema de aterramento para prevenir a presença de tensões perigosas entre objetos (e terra);
- O sistema de aterramento fornece um caminho de retorno de baixa resistência para falhas de terra dentro da edificação, que protege as pessoas e equipamentos;
- Para falhas de terra com caminhos de retorno às fontes de geração externa, uma malha de aterramento de baixa resistência em relação ao **Terra Remoto** (*massa condutora de solo distante o suficiente de qualquer eletrodo de aterramento para que seu potencial elétrico seja sempre igual a zero*) impede aumentos de potencial de terra perigoso (tensões de toque e passo);
- O sistema de aterramento fornece um caminho de baixa resistência (em relação ao terra remoto) para transientes de tensão, tais como raios e surtos / sobretensões;
- Ligação equipotencial ajuda a evitar a acumulação e descarga eletrostática, que pode provocar faíscas com energia suficiente para incendiar atmosferas potencialmente explosivas;
- O sistema de aterramento fornece um potencial de referência de circuitos eletrônicos e ajuda a reduzir o ruído elétrico de sistemas de instrumentação, eletrônica e comunicação.
- Minimiza os efeitos de EMI (Emissão Eletromagnética).

De acordo a NBR5410 temos os seguintes esquemas de **Aterramento Funcional**: TN / TT / IT. Nos esquemas em sequência serão utilizados os seguintes símbolos:



## 15.2. ATERRAMENTO FUNCIONAL

Na classificação dos esquemas de aterramento é utilizada a seguinte simbologia:

- Primeira letra** — Situação da alimentação em relação à terra:
  - **T** = um ponto diretamente aterrado;
  - **I** = isolamento de todas as partes vivas em relação à terra ou aterramento de um ponto através de impedância;
- Segunda letra** — Situação das massas da instalação elétrica em relação à terra:

- **T** = massas diretamente aterradas, independentemente do aterramento eventual de um ponto da alimentação;
  - **N** = massas ligadas ao ponto da alimentação aterrado (em corrente alternada, o ponto aterrado é normalmente o ponto neutro);
- c. **Outras letras** (eventuais) — Disposição do condutor neutro e do condutor de proteção:
- **S** = funções de neutro e de proteção asseguradas por condutores distintos;
  - **C** = funções de neutro e de proteção combinadas em um único condutor (condutor PEN).

## Esquema TN

O esquema TN possui um ponto da alimentação diretamente aterrado, sendo as massas ligadas a esse ponto através de condutores de proteção. São consideradas três variantes de esquema TN, de acordo com a disposição do condutor neutro e do condutor de proteção, a saber:

- 1) **Esquema TN-S**, no qual o condutor neutro e o condutor de proteção são distintos (Figura 33):

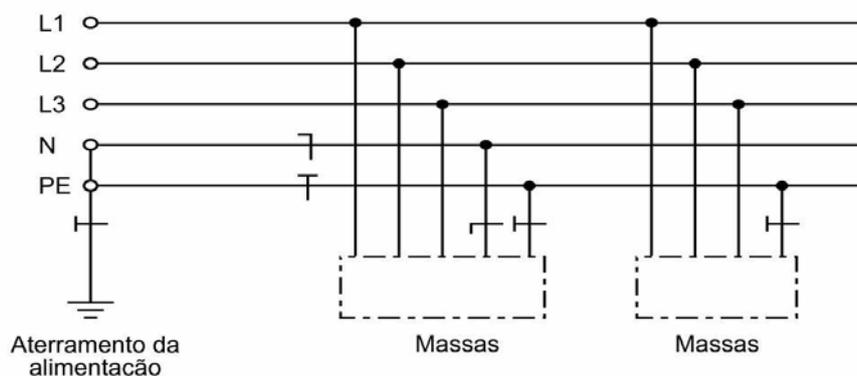


Figura 33 – Esquema TN-S

- 2) **Esquema TN-C-S**, em parte do qual as funções de neutro e de proteção são combinadas em um único condutor (figura 34):

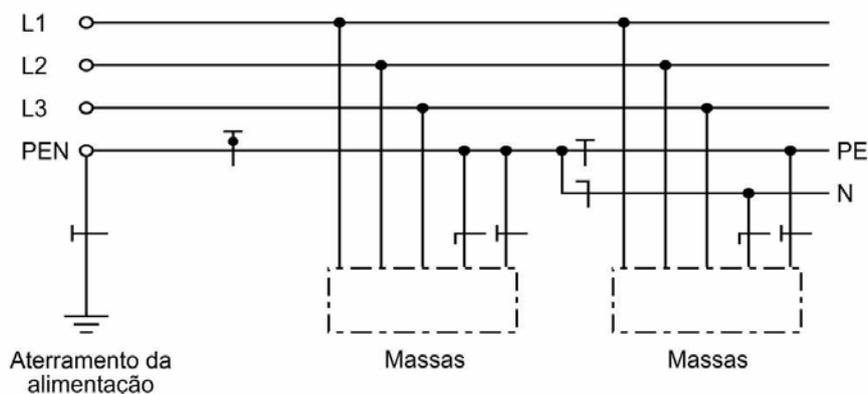


Figura 34 – Esquema TN-C-S

- 3) **Esquema TN-C**, no qual as funções de neutro e de proteção são combinadas em um único condutor, na totalidade do esquema (figura 35):

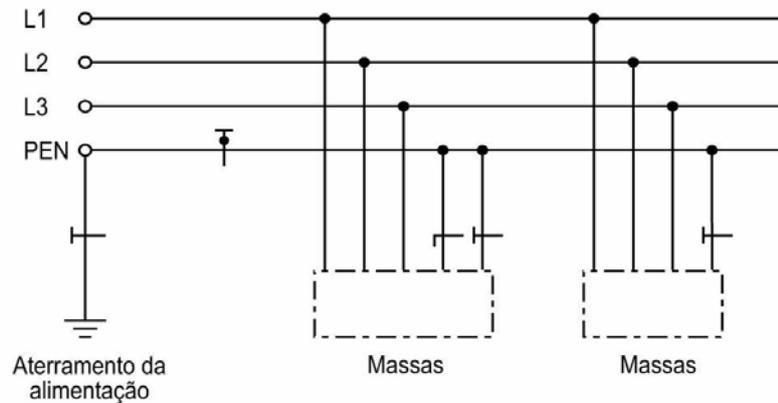


Figura 35 – Esquema TN-C

## Esquema TT

O esquema TT possui um ponto da alimentação diretamente aterrado, estando as massas da instalação ligadas a eletrodo(s) de aterramento eletricamente distinto(s) do eletrodo de aterramento da alimentação (figura 36).

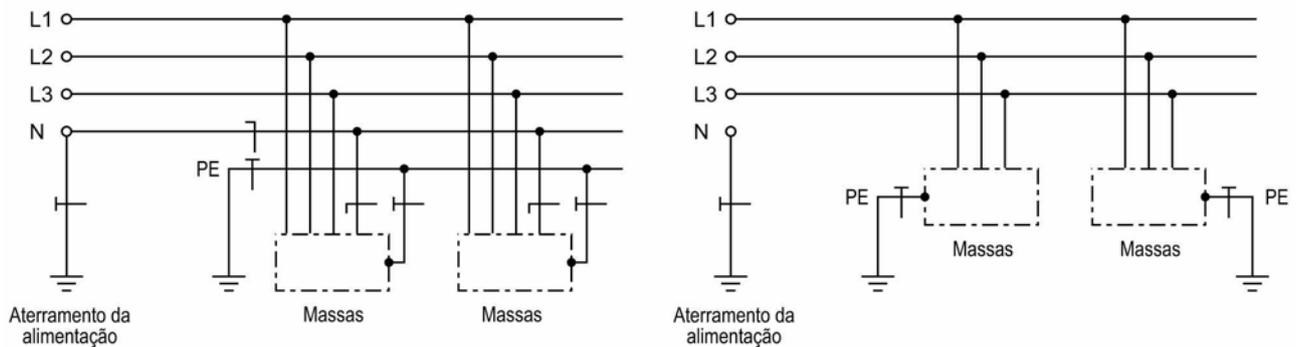


Figura 36 – Esquemas TT

## Esquema IT

No esquema IT todas as partes vivas são isoladas da terra ou um ponto da alimentação é aterrado através de impedância (figura 37). As massas da instalação são aterradas, verificando-se as seguintes possibilidades:

- Massas aterradas no mesmo eletrodo de aterramento da alimentação, se existente; e

- Massas aterradas em eletrodo(s) de aterramento próprio(s), seja porque não há eletrodo de aterramento da alimentação, seja porque o eletrodo de aterramento das massas é independente do eletrodo de aterramento da alimentação.

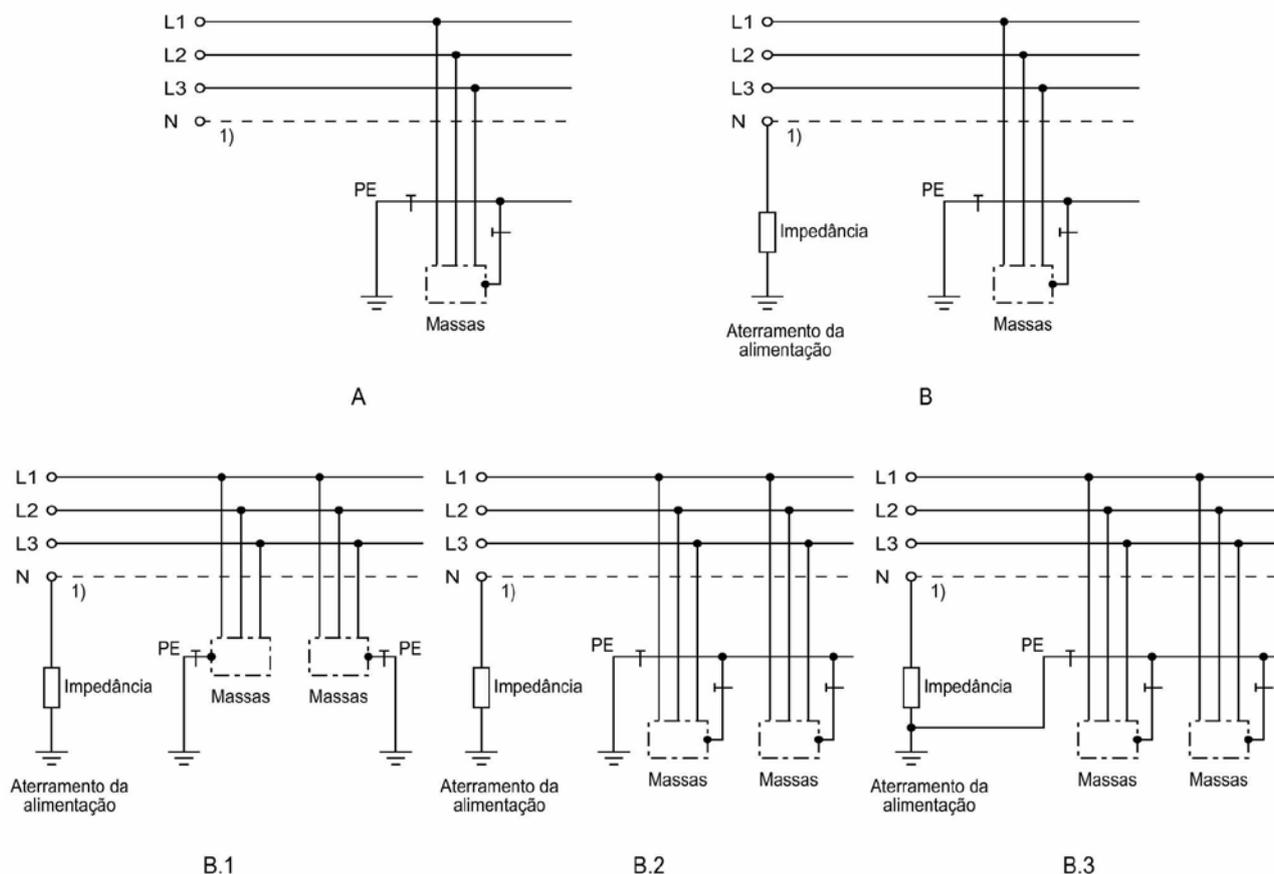


Figura 37 – Esquemas IT

**Onde:**

- 1) = o neutro pode ser ou não distribuído;
- A = sem aterramento da alimentação;
- B = alimentação aterrada através de impedância;
- B.1 = massas aterradas em eletrodos separados e independentes do eletrodo de aterramento da alimentação;
- B.2 = massas coletivamente aterradas em eletrodo independente do eletrodo de aterramento da alimentação;
- B.3 = massas coletivamente aterradas no mesmo eletrodo da alimentação.

### 15.3. ATERRAMENTO DE PROTEÇÃO

Consiste na ligação à terra das massas e dos elementos condutores estranhos à instalação, com o objetivo de proporcionar proteção contra CONTATOS INDIRETOS.

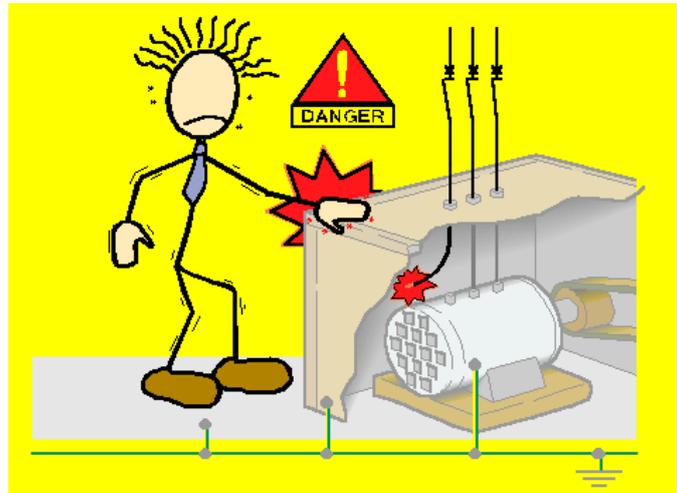


Figura 38 – Aterramento de Proteção

## NOTA IMPORTANTE:

Para atender as funções anteriores destacam-se três características fundamentais:

1. Capacidade de condução;
2. Baixo valor de resistência;
3. Configuração de eletrodo que possibilite o controle do gradiente de potencial.

Independente da finalidade, proteção ou funcional, o aterramento deve ser único em cada local da instalação. Existem situações onde os terras podem ser separados, porém precauções devem ser tomadas.

Em relação à instalação dos componentes do sistema de aterramento alguns critérios devem ser seguidos:

- O valor da resistência de aterramento não deve se modificar consideravelmente ao longo do tempo;
- Os componentes devem resistir às condições térmicas, termomecânicas e eletromecânicas;
- Os componentes devem ser robustos ou mesmo possuir proteção mecânica adequada para atender às condições de influências externas;

Devem-se impedir danos aos eletrodos e as outras partes metálicas por efeitos de eletrólise.

## 15.4. ATERRAMENTO TEMPORÁRIO

O aterramento elétrico de uma instalação tem por função evitar acidentes gerados pela energização acidental da rede, propiciando rápida atuação do sistema automático de seccionamento ou proteção. Também tem o objetivo de promover proteção aos trabalhadores contra descargas atmosféricas que possam interagir ao longo do circuito em intervenção.

Esse procedimento deverá ser adotado a montante (antes) e a jusante (depois) do ponto de intervenção do circuito e derivações se houver, salvo quando a intervenção ocorrer no final do trecho. Deve ser retirado ao final dos serviços.

A energização acidental pode ser causada por:

- Erros de manobra;
- Fechamento de chave seccionadora;
- Contato acidental com outros circuitos energizados, situados ao longo do circuito;
- Tensões induzidas por linhas adjacentes ou que cruzam a rede;
- Fontes de alimentação de terceiros (geradores);
- Linhas de distribuição para operações de manutenção e instalação e colocação de transformador;
- Torres e cabos de transmissão nas operações de construção de linhas de transmissão;
- Linhas de transmissão nas operações de substituição de torres ou manutenção de componentes da linha;
- Descargas atmosféricas.



Figura 39 – Vista do técnico utilizando a pulseira flexível presa no próprio cinto e o respectivo terra de serviço.

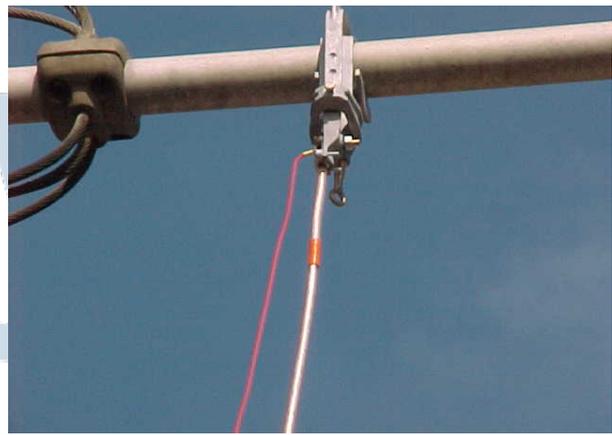


Figura 40 – O aterramento temporário é feito com o "link" conectado (único ponto de terra).

## 15.5. COMPONENTES DE ATERRAMENTO DE UMA INSTALAÇÃO

- ➔ **Condutor de ligação:** condutor empregado para conectar o objeto a ser aterrado ao eletrodo de aterramento ou para efetuar a ligação de dois ou mais eletrodos;
- ➔ **Elemento condutor ou massa condutora estranha:** parte condutora exposta que não faz parte da instalação elétrica, mas que poderá introduzir um potencial, geralmente o de terra;
- ➔ **Eletrodo de aterramento:** elemento condutor metálico ou conjunto de elementos condutores interligados, em contato direto com a terra de modo a garantir ligação com o solo;
- ➔ **Eletrodos de aterramento interligados:** eletrodos de aterramento que possuam ligação (intencional ou não) e que interagem eletricamente;
- ➔ **Eletrodos de aterramento isolados:** eletrodos de aterramento suficientemente distantes uns dos outros para que a corrente máxima susceptível de ser escoada por um deles não modifique sensivelmente o potencial do outro;

- ➔ **Elevação de potencial de terra (EPT):** diferença de potencial entre o eletrodo de aterramento e o terra remoto quando por este eletrodo flui corrente para a terra, ou seja, é a tensão produzida no eletrodo de aterramento quando este dispersa corrente à terra em relação ao terra remoto;
- ➔ **Resistência equivalente de aterramento (Req):** relação entre a elevação de potencial de terra de um eletrodo e a corrente por este injetada no solo;
- ➔ **Sistema de aterramento:** sistema formado por um ou mais eletrodos de aterramento, isolados ou não, visando atender necessidades funcionais ou de proteção;
- ➔ **TAP ou LEP (B):** terminal de aterramento principal ou ligação equipotencial principal – é uma barra de impedância baixa e de tamanho suficiente para receber todas as conexões necessárias. É instalada isolada da parede ou de um quadro por isoladores de baixa tensão. Barra de cobre de 50X3mm e comprimento de 50cm a 1m ou mais em geral é satisfatória. O comprimento adotado depende do número de conexões que deverão ser feitas (figura 44);
- ➔ **Terra:** Massa condutora de solo que envolve o eletrodo de aterramento;
- ➔ **Terra de Referência (E):** eletrodo ou eletrodos afastados da instalação que serve(m) de referência para medição (figura 41);
- ➔ **Terra remoto:** massa condutora de solo distante o suficiente de qualquer eletrodo de aterramento para que seu potencial elétrico seja sempre igual a zero.

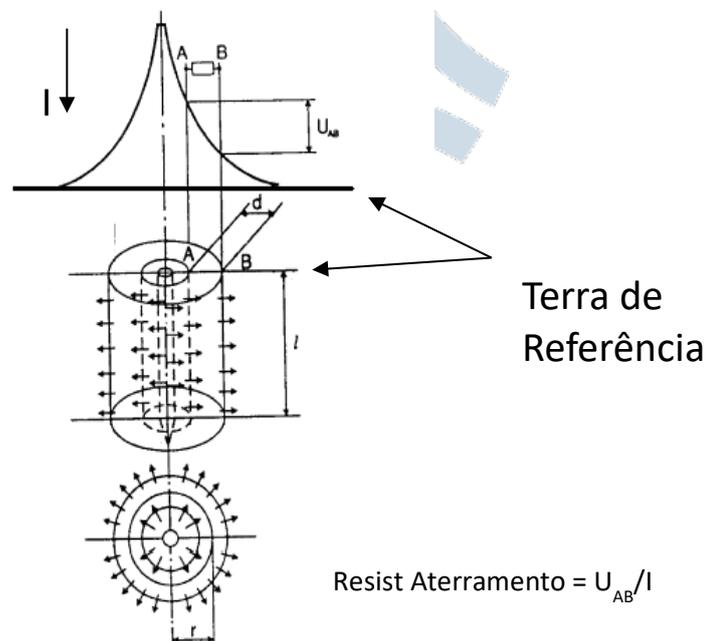


Figura 41 – Esquema resumido de aterramento

## 15.6. EQUIPOTENCIALIZAÇÃO E SECCIONAMENTO AUTOMÁTICO DA ALIMENTAÇÃO

### NBR5410

#### Nota 1:

*A equipotencialização e o seccionamento automático da alimentação se completam, de forma indissociável, porque quando a equipotencialidade não é o suficiente para impedir o aparecimento de tensões de contato perigosas, entra em ação o recurso do seccionamento automático, promovendo o desligamento do circuito em que se manifesta a tensão de contato perigosa.*

#### Nota 2:

*Partes condutivas acessíveis de componentes que sejam objeto de outra medida de proteção contra choques elétricos (que não a proteção por equipotencialização e seccionamento automático) não devem ser ligadas a condutores de proteção, salvo se seu aterramento ou equipotencialização for previsto por razões funcionais e isso não comprometer a segurança proporcionada pela medida de proteção de que são objeto.*

## 15.7. EQUIPOTENCIALIZAÇÃO

Definição: Equipotencializar é deixar tudo no mesmo potencial.

Na prática: Equipotencializar é minimizar a diferença de potencial para reduzir acidentes.

Em cada edificação deve ser realizada uma equipotencialização principal e ainda as massas das instalações situadas em uma mesma edificação devem estar conectadas a equipotencialização principal e desta forma a um mesmo e único eletrodo de aterramento. Veja figuras 42, 43 e 44.

A equipotencialização funcional tem a função de equalizar o aterramento e garantir o bom funcionamento dos circuitos de sinal e a compatibilidade eletromagnética.

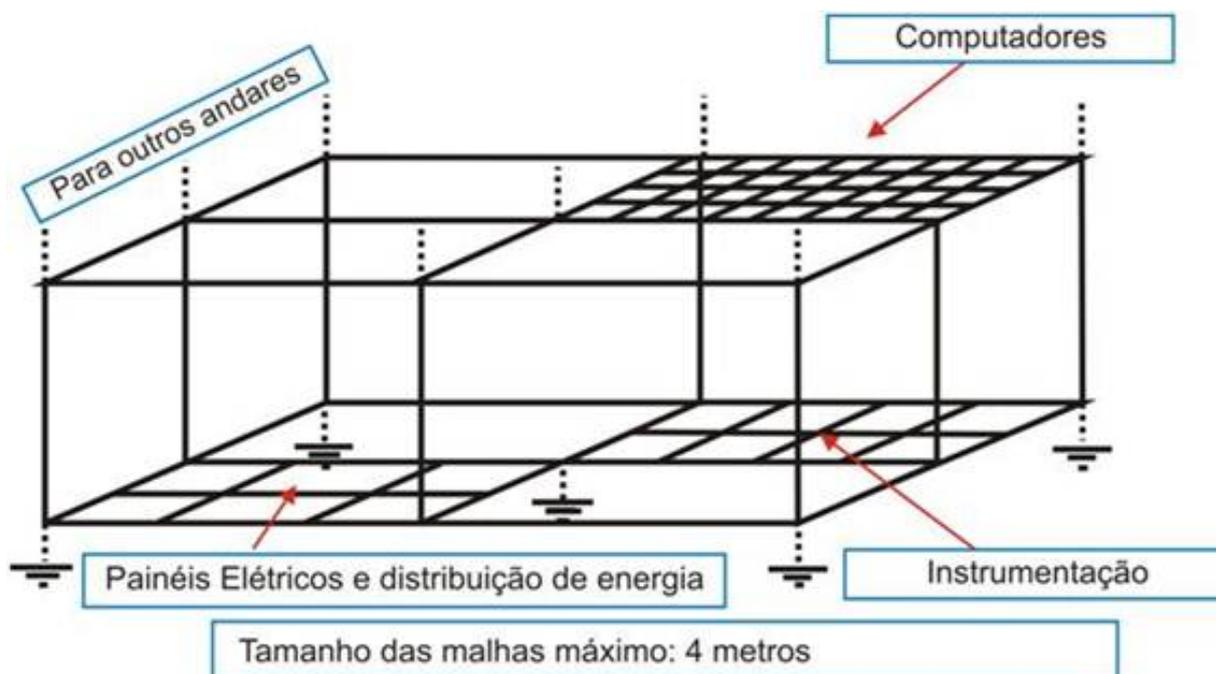


Figura 42 – Equipotencialização

O **Condutor Principal para Equipotencialização** deve ter no mínimo a metade da seção do condutor de proteção de maior seção e no mínimo:

- a.  $6\text{mm}^2$  (Cobre);
- b.  $16\text{mm}^2$  (Alumínio);
- c.  $50\text{mm}^2$  (Aço)

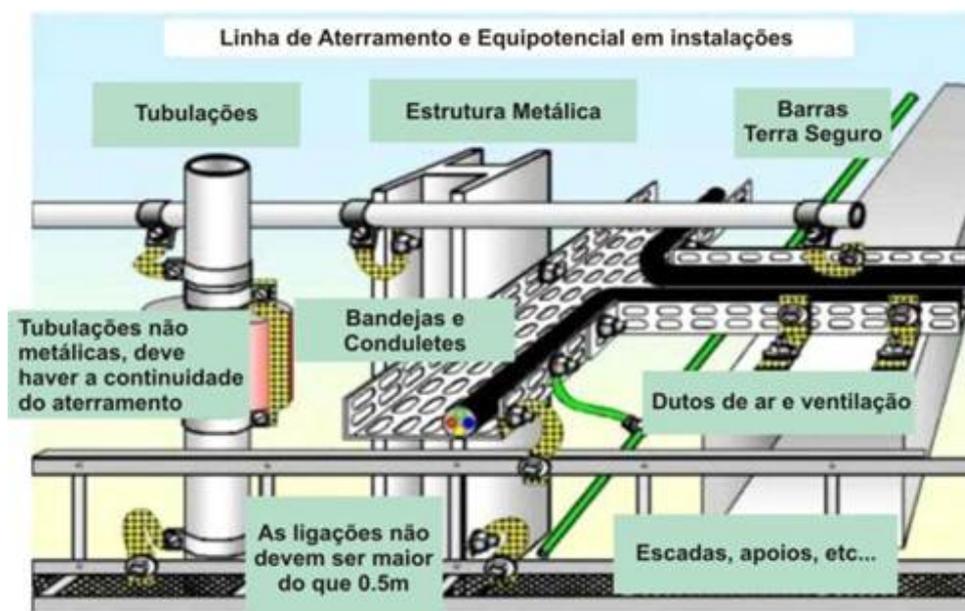


Figura 43 – Linha de Aterramento e Equipotencial em Instalações

## NBR5410

**NOTA:** As prescrições de 5.1.2.2.3.1 a 5.1.2.2.3.6 traduzem princípios básicos da equipotencialização aplicada à proteção, contra choques elétricos, apresentados de forma pontual. Em situações concretas, o atendimento de algum deles pode resultar automaticamente no atendimento de outro(s).

**5.1.2.2.3.1** *Todas as massas de uma instalação devem estar ligadas a condutores de proteção.*

**5.1.2.2.3.2** *Em cada edificação deve ser realizada uma equipotencialização principal, nas condições especificadas em 6.4.2.1, e tantas equipotencializações suplementares quantas forem necessárias.*

**5.1.2.2.3.3** *Todas as massas da instalação situadas em uma mesma edificação devem estar vinculadas à equipotencialização principal da edificação e, dessa forma (ver 6.4.2.1), a um mesmo e único eletrodo de aterramento. Isso sem prejuízo de equipotencializações adicionais que se façam necessárias, para fins de proteção contra choques e/ou de compatibilidade eletromagnética.*

**5.1.2.2.3.4** *Massas simultaneamente acessíveis devem estar vinculadas a um mesmo eletrodo de aterramento, sem prejuízo de equipotencializações adicionais que se façam necessárias, para fins de proteção contra choques e/ou de compatibilidade eletromagnética.*

**5.1.2.2.3.5** *Massas protegidas contra choques elétricos por um mesmo dispositivo, dentro das regras da proteção por seccionamento automático da alimentação (5.1.2.2.4), devem estar vinculadas a um mesmo eletrodo de aterramento, sem prejuízo de equipotencializações adicionais que se façam necessárias, para fins de proteção contra choques e/ou de compatibilidade eletromagnética.*

**5.1.2.2.3.6** *Todo circuito deve dispor de condutor de proteção, em toda sua extensão.*

**5.1.2.2.3.7** *Admite-se que os seguintes elementos sejam excluídos das equipotencializações:*

- a) suportes metálicos de isoladores de linhas aéreas fixados à edificação que estiverem fora da zona de alcance normal;*
- b) postes de concreto armado em que a armadura não é acessível;*
- c) massas que, por suas reduzidas dimensões (até aproximadamente 50 mm x 50 mm) ou por sua disposição, não possam ser agarradas ou estabelecer contato significativo com parte do corpo humano, desde que a ligação a um condutor de proteção seja difícil ou pouco confiável.*

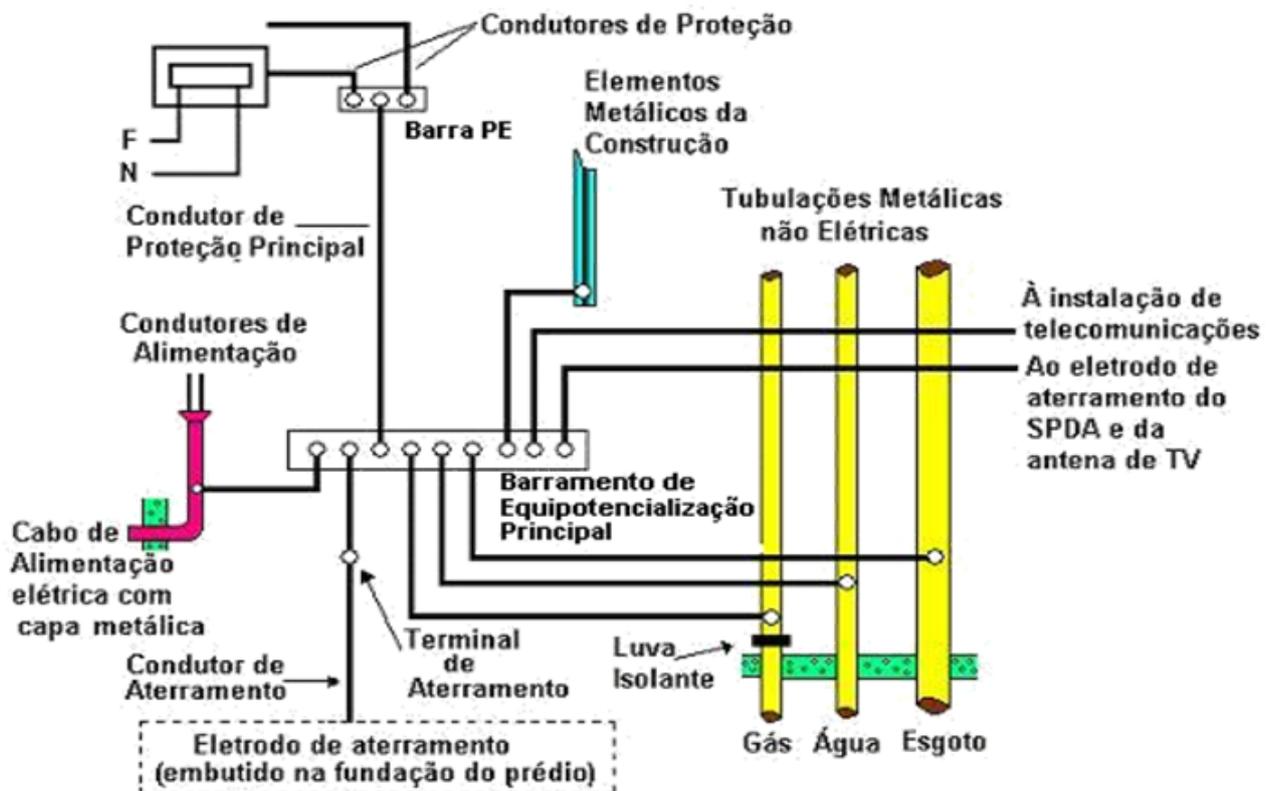


Figura 44 – Ligação Equipotencial

## 15.8. SECCIONAMENTO AUTOMÁTICO DA ALIMENTAÇÃO

### NBR5410

**Princípio do seccionamento automático** – Um dispositivo de proteção deve seccionar automaticamente a alimentação do circuito ou equipamento por ele protegido sempre que uma falta (entre parte viva e massa ou entre parte viva e condutor de proteção) no circuito ou equipamento der origem a uma tensão de contato superior ao valor pertinente da tensão de contato limite.

No caso de utilização de um dos esquemas de aterramentos onde um ponto da alimentação é aterrado, normalmente o neutro, o circuito deve ser seccionado automaticamente da alimentação, mediante o acionamento de dispositivo apropriado (chave seccionadora, interruptor, disjuntor), quando um **defeito de isolamento** aparece neste circuito ou nos equipamentos alimentados por este circuito.

Cabe salientar que estas medidas de proteção requerem a coordenação entre o esquema de aterramento adotado e as características dos condutores e dispositivos de proteção.

O seccionamento automático é de suma importância em relação a:

- Proteção de contatos diretos e indiretos de pessoas e animais;
- Proteção do sistema com altas temperaturas e arcos elétricos;
- Quando as correntes ultrapassarem os valores estabelecidos para o circuito;
- Proteção contra correntes de curto-circuito;
- Proteção contra sobre tensões.

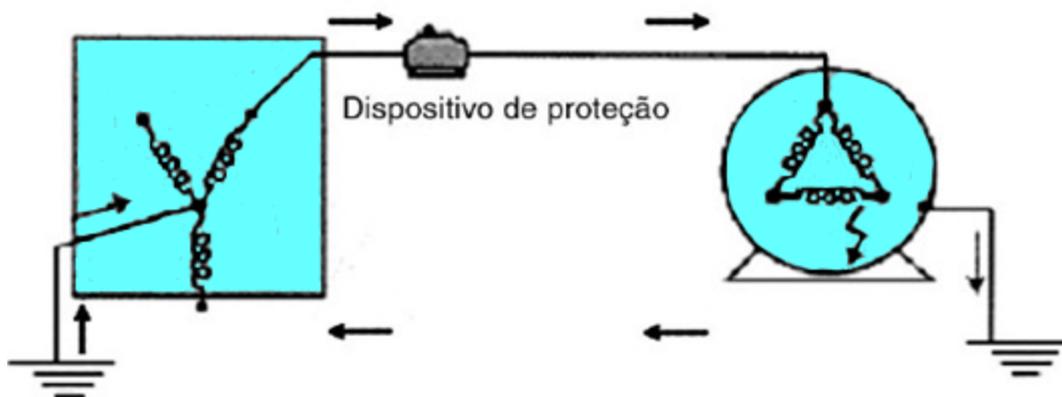


Figura 45 – Seccionamento automático por dispositivo de proteção

## EXEMPLO DE SECCIONAMENTO AUTOMÁTICO

Na figura abaixo a instalação foi aterrada usando um esquema de aterramento TN.

A figura A mostra a instalação em funcionamento normal e a figura B a instalação com o defeito de isolamento, mas neste caso, propositalmente, o motor foi aterrado.

O aterramento supriu a massa do motor de um potencial fixo, que é o potencial local, criando uma equipotencialidade entre a massa do motor com o piso onde está a pessoa.

A proteção do sistema deve estar adequadamente especificada para detectar a falha e seccionar o circuito, desligando alimentação para o equipamento (Disjuntor ou Fusível).

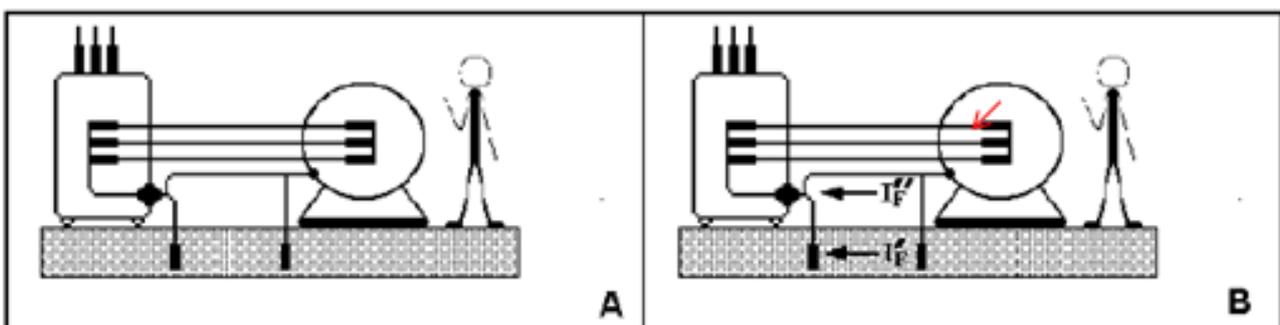


Figura 46 – Efeito do aterramento da instalação elétrica durante um defeito de isolamento em um esquema de aterramento T

## NBR5410

6.4.1.1.1 Toda edificação deve dispor de uma infraestrutura de aterramento, denominada “Eletrodo de Aterramento”.

Por ordem de importância, a Norma considera como “Eletrodo de Aterramento”:

- 1) As próprias armaduras do concreto das fundações, caso preparadas para esse fim. Nessas condições, o eletrodo de aterramento, assim constituído, apresenta uma resistência de aterramento de valor bastante baixo. Por outro lado, a abrangência de sua zona de influência torna impossível, na prática, utilizar outro eletrodo de aterramento eletricamente independente para qualquer sistema de edificação. Por essa razão, a medição da resistência de aterramento não deve ser efetuada pelos métodos tradicionais e sim através de injeção de corrente no terminal de aterramento principal;
- 2) Fitas, barras ou cabos metálicos, especialmente previstos, imersos no concreto das fundações;
- 3) Malhas metálicas enterradas, no nível das fundações, cobrindo a área da edificação e complementadas, quando necessário, por hastes verticais e/ou cabos dispostos radialmente;
- 4) Anel metálico enterrado, circundando o perímetro da edificação e complementado, quando necessário, por hastes verticais e/ou cabos dispostos radialmente.

**EM TODAS ESSAS SITUAÇÕES, AS “TENSÕES DE TOQUE” E DE “PASSO” DEVEM SER CONSIDERADAS.**

## 15.9. TENSÃO DE TOQUE E DE PASSO

### TENSÃO DE TOQUE

É a máxima diferença de potencial entre um objeto metálico aterrado ou não e um ponto da superfície do solo separado por uma distância horizontal equivalente ao alcance normal do braço de uma pessoa. Essa distância é também convencionalmente igual a 1 metro.

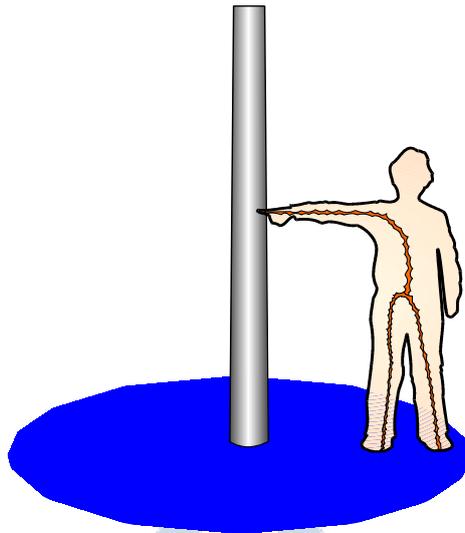


Figura 47 – Tensão de Toque

### TENSÃO DE PASSO

É a máxima diferença de potencial entre dois pontos da superfície do solo separados pela distância de um passo de uma pessoa, convencionalmente igual a 1 metro, sem contato com qualquer objeto ligado a terra.

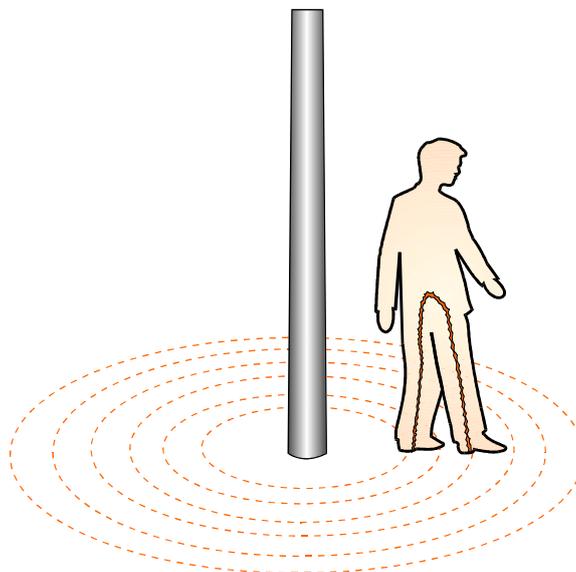


Figura 48 – Tensão de Passo

## OBSERVAÇÃO IMPORTANTE

**NEUTRO E TERRA: *funções muito diferentes!!!***

O neutro é um “condutor” fornecido pela concessionária de energia elétrica, pelo qual há o “retorno” da corrente elétrica.

O terra é um condutor construído através da MALHA DE ATERRAMENTO e que, em situações normais, não deve possuir corrente elétrica circulante.

**Resumindo: A grande diferença entre terra e neutro é que, pelo neutro há corrente circulando, e pelo terra não. Quando houver alguma corrente circulando pelo terra, normalmente ela deverá ser transitória, isto é, desviar uma descarga atmosférica para a terra, por exemplo.**

O fio terra, por norma, vem identificado pelas letras PE, e deve ser de cor **verde** e **amarela**.

## IMPLICAÇÕES DE UM MAU ATERRAMENTO

Os problemas que um aterramento deficiente pode causar não se limitam apenas aos aspectos de segurança. Os principais efeitos de uma máquina mal aterrada são choques elétricos ao operador, e resposta lenta (ou ausente) dos sistemas de proteção (fusíveis, disjuntores, etc.). Mas outros problemas operacionais podem ter origem no aterramento deficiente.

Abaixo segue uma pequena lista de alguns acontecimentos:

- Quebra de comunicação entre máquina e PC (CLP, CNC, etc...) em modo on-line. Principalmente se o protocolo de comunicação for RS232;
- Excesso de EMI gerado (interferências eletromagnéticas);
- Aquecimento anormal das etapas de potência (inversores, conversores, etc.) e motorização;
- Em caso de computadores pessoais, funcionamento irregular com constantes “travamentos”;
- Falhas intermitentes, que não seguem um padrão;
- Queima de CIs ou placas eletrônicas sem razão aparente, mesmo sendo elas novas e confiáveis.
- Para equipamentos com monitores de vídeo, interferências na imagem e ondulações podem ocorrer.

## 16. DESERNEGIZAÇÃO E REENERGIZAÇÃO SEGUNDO A NR 10

### 16.1. DESENERGIZAÇÃO

#### NR 10

*10.2.8.2 As medidas de proteção coletiva compreendem, prioritariamente, a desenergização elétrica conforme estabelece esta NR e, na sua impossibilidade, o emprego de tensão de segurança.*

A desenergização é um conjunto de ações coordenadas, sequenciadas e controladas, destinadas a garantir a efetiva ausência de tensão no circuito, trecho ou ponto de trabalho, durante todo o tempo de intervenção e sob controle dos trabalhadores envolvidos. Em alguns casos os trabalhos só podem ser realizados com as instalações elétricas energizadas, por isso, a norma define que o serviço em instalações elétricas desenergizadas é prioritário e não obrigatório.

Somente serão consideradas desenergizadas as instalações elétricas liberadas para trabalho, mediante os procedimentos apropriados e obedecida a sequência a seguir (item 10.5.1 da NR 10):

1. **Secionamento** – É o ato de promover a descontinuidade elétrica total, mediante o acionamento de dispositivo apropriado (chave seccionadora, interruptor, disjuntor);
2. **Impedimento de Reenergização** – Utilização de um sistema de travamento do dispositivo de secionamento, para o quadro, painel ou caixa de energia elétrica para garantir o efetivo impedimento de reenergização involuntária ou acidental do circuito ou equipamento durante a execução da atividade que originou o secionamento;

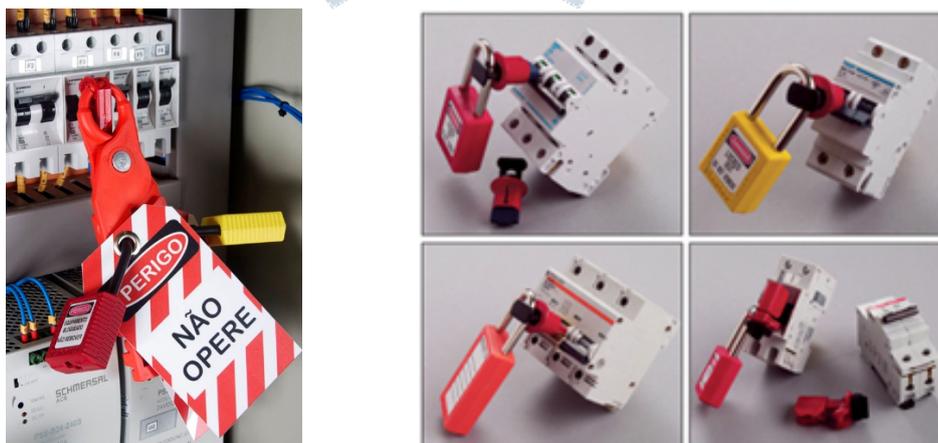


Figura 49 – Sistema de travamento de dispositivos de secionamento

3. **Constatação de Ausência de Tensão** – Verificação da efetiva ausência de tensão nos condutores do circuito elétrico realizado através de equipamentos específicos para esse fim;

4. **Instalação de aterramento temporário com equipotencialização dos condutores do circuito** – Constatada a inexistência de tensão, um condutor do conjunto de aterramento temporário deverá ser ligado a uma haste conectada à terra. Na sequência, deverão ser conectadas as garras de aterramento aos condutores fase, previamente desligados (vide figuras 39 e 40);
5. **Proteção dos elementos energizados existentes na zona controlada** – Define-se zona controlada como, área em torno da parte condutora energizada, segregada, acessível, de dimensões estabelecidas de acordo com nível de tensão, cuja aproximação só é permitida a profissionais autorizados, como disposto no anexo II da Norma Regulamentadora Nº10. Podendo ser feito com anteparos, dupla isolamento invólucros, etc.;

Figura A - Distâncias no ar que delimitam radialmente as zonas de risco, controlada e livre.

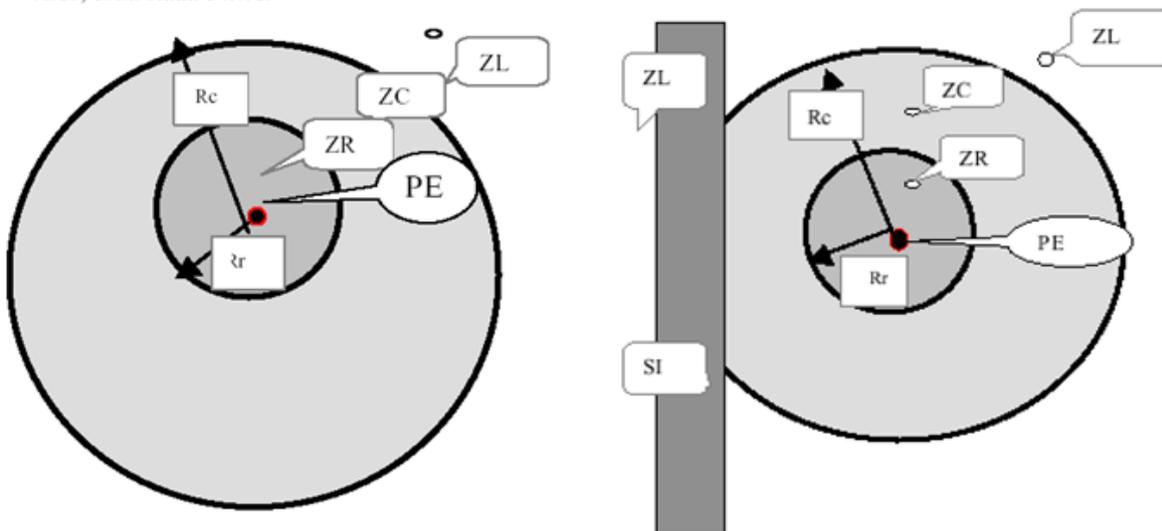


Figura B - Distâncias no ar que delimitam radialmente as zonas de risco (controlada e livre), com interposição de superfície de separação física adequada.

Figura 50 – Zonas de Risco, Controlada e Livre

6. **Instalação da sinalização de impedimento de reenergização** – Adotar sinalização adequada de segurança, destinada à advertência e à identificação da razão de desenergização e informações do responsável. Os cartões, avisos, placas ou etiquetas de sinalização do travamento ou bloqueio devem ser claros e adequadamente fixados. Somente após a conclusão dos serviços e verificação de ausência de anormalidades, o trabalhador providenciará a retirada de ferramentas, equipamentos e utensílios e por fim o dispositivo individual de travamento e etiqueta correspondente. A retirada dos conjuntos de aterramento temporário deverá ocorrer em ordem inversa à de sua instalação.



Figura 51 – Sinalização de impedimento de reenergização

A sinalização acima é utilizada para diferenciar os equipamentos energizados dos não energizados, afixando-se no dispositivo de comando do equipamento principal um aviso de que ele está impedido de ser manobrado.

Os serviços a serem executados em instalações elétricas desenergizadas, mas com possibilidade de energização, por qualquer meio ou razão, devem atender ao que estabelece o disposto no item 10.6. da NR10, que diz respeito a segurança em instalações elétricas desenergizadas.

## 16.2. REENERGIZAÇÃO

Atendendo ao que estabelece o disposto no item 10.5.2 da NR10, temos:

*10.5.2 O estado de instalação desenergizada deve ser mantido até a autorização para reenergização, devendo ser reenergizada respeitando a sequência de procedimentos abaixo:*

- Retirada de todas as ferramentas, utensílios e equipamentos:  
O esquecimento de ferramentas, utensílios e equipamentos, especialmente os metálicos, é uma das causas de aparecimento de curto-circuito e arco elétrico nas instalações elétricas no momento na energização;
- Retirada, da zona controlada, de todos os trabalhadores não envolvidos no processo de reenergização:  
Só devem estar na zona de trabalho, durante o processo de reenergização, os trabalhadores envolvidos neste processo e com todas as medidas de proteção coletivas e individuais, necessárias à garantia da saúde e segurança destes trabalhadores. Todos os demais devem estar fora da zona de trabalho, que é uma zona onde os riscos envolvidos neste processo estão controlados;
- Remoção do aterramento temporário, da equipotencialização e das proteções adicionais:  
Este passo só deve ser executado por trabalhadores que tenham autorização, e devido a isto competência e treinamento, para realizar serviços em instalações energizadas. A remoção de todos os aterramentos temporários é de suma importância, em especial quando foi instalado mais de um conjunto de aterramento. O esquecimento de um conjunto de aterramento pode provocar o curto-circuito e o aparecimento de arco elétrico na instalação;

- ➔ Remoção da sinalização de impedimento de reenergização:  
Neste passo a sinalização de impedimento de reenergização determinada no procedimento de bloqueio e sinalização é removida;
- ➔ Destravamento se houver, e religação dos dispositivos de seccionamento:  
Remoção do bloqueio de impedimento de reenergização. Assim a instalação está pronta para a reenergização.  
Há o restabelecimento da tensão na instalação e então são religados todos os dispositivos de seccionamento na sequência estabelecida no procedimento de trabalho.

## NOTA IMPORTANTE

### **Autorização e Habilitação dos Eletricistas para atuar em sistemas elétricos energizados**

*NR 10 (itens 10.8 e 10.13)*

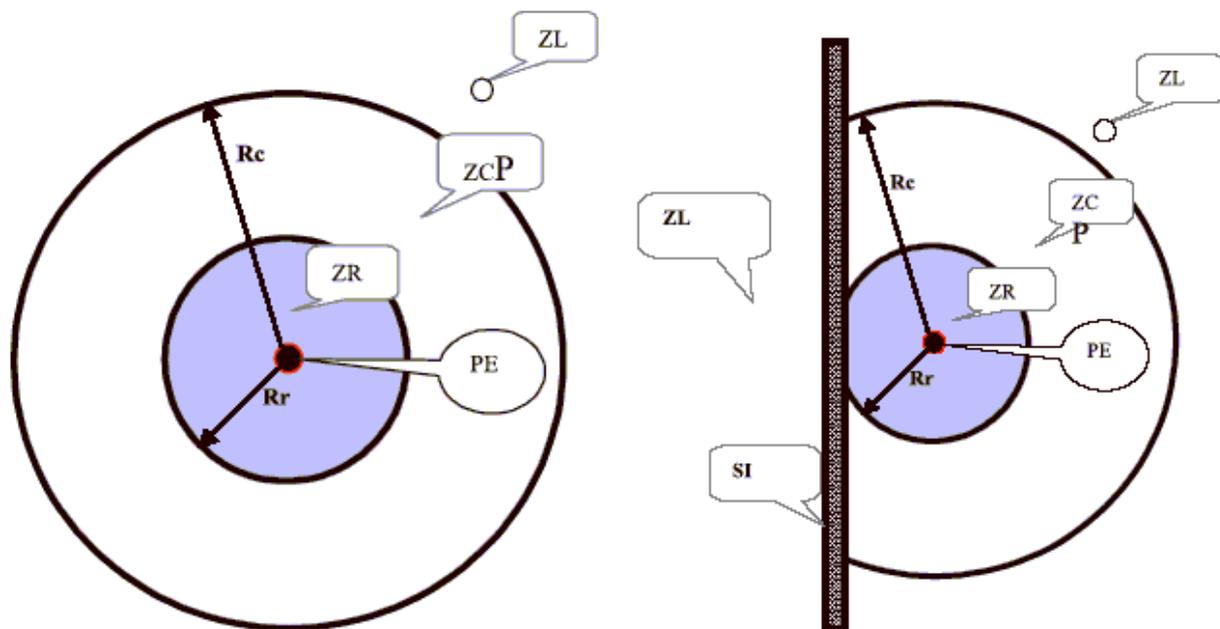
A Descrição de Cargo, ou documento de AUTORIZAÇÃO, deve ser específica, definindo claramente as atividades exercidas (operação e manutenção) pelo ocupante do cargo, níveis de tensão envolvidos, área de atuação e tipo de intervenções que estão autorizadas, responsabilidade por equipes subcontratada (quando aplicável), para todos os profissionais que intervêm nas instalações elétricas e serviços com eletricidade, inclusive pessoal de atendimento de turno.

É necessário identificar no documento de autorização, os procedimentos que os trabalhadores estão autorizados a executar. Deve-se deixar claro se é exigida a formação técnica (profissional habilitado).

### **16.3. ZONA DE RISCO, ZONA CONTROLADA E ZONA LIVRE**

Os trabalhadores com atividades desenvolvidas em Zona Livre e na vizinhança da Zona Controlada devem ser instruídos formalmente com conhecimentos que permitam identificar e avaliar seus possíveis riscos e adotar as precauções cabíveis. Para melhor entendimento, devem-se identificar as limitações a seguir:

Distâncias no ar que delimitam radialmente as zonas de risco, controlada e livre, inclusive com interposição de superfície de separação física adequada.



Onde:

Rr – Raio de delimitação entre zona de risco e controlada em metros

Rc – Raio de delimitação entre zona controlada e livre em metros

PE – Ponto de instalação energizado.

SI – Superfície isolante construída com material resistente e dotada de todos dispositivos de segurança.

Faixa de tensão nominal da instalação elétrica em kV	Distância em metros	
	Rr	Rc
<1	0,20	0,70
=1 e <3	0,22	1,22
=3 e <6	0,25	1,25
=6 e <10	0,35	1,35
=10 e <15	0,38	1,38
=15 e <20	0,40	1,40
=20 e <30	0,56	1,56
=30 e <36	0,58	1,58
=36 e <45	0,63	1,63
=45 e <60	0,83	1,83
=45 e <60	0,83	1,83
=60 e <70	0,90	1,90
=70 e <110	1,00	2,00
=110 e <132	1,10	3,10
=132 e <150	1,20	3,20
=150 e <220	1,60	3,60
=220 e <275	1,80	3,80
=275 e <380	2,50	4,50
=380 e <480	3,20	5,20
=480 e <700	5,20	7,20

Tabela 10 – Tabela de raios de delimitação de zonas de risco, controlada e livre.

## Definição das Zonas:

### ➔ *Zona Livre*

Não requerem a presença de especialistas em elétrica, a mesma pode ser adentrada por qualquer outro profissional.

### ➔ *Zona de Risco*

Entorno de parte condutora energizada, não segregada, acessível inclusive acidentalmente, de dimensões estabelecidas de acordo com o nível de tensão, cuja aproximação só é permitida a profissionais autorizados, além de qualificados ou habilitados, e com adoção de técnicas e instrumentos apropriados de trabalho.

### ➔ *Zona Controlada*

Entorno de parte condutora energizada, não segregada, acessível, de dimensões estabelecidas de acordo com o nível de tensão, cuja aproximação só é permitida a profissionais autorizados, além de qualificados, ou habilitados, ou capacitados.

## NOTA IMPORTANTE

Os assuntos abordados que vão do capítulo 7 ao capítulo 17 formam basicamente um "Manual de Procedimentos para Intervenções em Instalações Elétricas" conforme requer a NR 10 e que representa a necessidade de Segurança do Trabalho.

Várias outras NRs também devem ser consultadas para que a segurança do trabalhador seja melhor em serviços que possuem risco: NR-3, NR-6, NR-8, NR-12, etc.

Não se pode dizer que todas elas, em conjunto, vão acabar com os acidentes dos trabalhadores da construção civil ou de qualquer outra área que requeira uma intervenção humana sujeita a riscos, mas certamente se todos os cuidados forem tomados e todas as regras respeitadas muita tragédia poderá ser evitada.

## 17. CÁLCULO DE MALHA DE ATERRAMENTO

Este cálculo baseia-se principalmente nas orientações fornecidas pelo **IEEE Std 80 (2000) – Guide for Safety in AC Substation Grounding**. Proteção contra raios não é abordado por este cálculo. Para tal existe cálculo específico de proteção contra raios – SPDA (tratado no capítulo 18).

### 17.1. POR QUE FAZER O CÁLCULO?

O cálculo do aterramento auxilia no projeto adequado do sistema de aterramento. Com os resultados deste cálculo, pode-se:

- Determinar o tamanho mínimo dos condutores de aterramento necessários para a malha de terra principal;
- Assegurar que o projeto de aterramento é adequado para evitar as **tensões de passo e de toque** perigosos (caso seja necessário).

#### Quando executar o cálculo?

Este cálculo deve ser realizado quando o sistema de aterramento está sendo projetado. Também pode ser feito após o projeto preliminar tiver sido concluído para confirmar que o sistema de aterramento é adequado, ou destacar a necessidade de melhoria / redesenho. Idealmente, os resultados do teste de resistividade do solo a partir do local estarão disponíveis para a utilização nos cálculos das tensões de toque e de passo (se necessário).

#### Quando o cálculo não é necessário?

O dimensionamento dos condutores de aterramento deve ser sempre realizado, mas os cálculos das tensões de toque e de passo (pela IEEE Std 80 para falhas de terra com um caminho de retorno através do terra remoto) nem sempre são necessários.

Por exemplo, quando toda a eletricidade é gerada no local e os sistemas de aterramento de MT / BT são interligados, então não há necessidade de fazer o cálculo de tensão de toque e de passo. Nesse caso, todas as falhas a terra retornariam a origem através do sistema de aterramento (apesar de se ter um pequeno escoamento através do terra).

No entanto, onde há redes dissociadas (por exemplo, longas linhas de transmissão para áreas remotas da planta), os cálculos das tensões de toque e de passo devem ser realizados para a área remota somente.

#### Metodologia de Cálculo

Este cálculo é baseado na IEEE Std 80 (2000). Existem duas partes principais para este cálculo:

- Dimensionamento do condutor da malha de terra;
- Cálculo da das Tensões de Toque e de Passo.

A IEEE Std 80 é totalmente descritiva, detalhada e fácil de acompanhar, portanto, apenas uma visão geral será apresentada aqui e a IEEE Std 80 deverá ser consultada para mais detalhes (embora as referências sejam dadas aqui).

## Pré-requisitos

A informação a seguir é necessária / desejável antes de iniciar o cálculo:

- Layout do local;
- Máxima corrente de falta a terra para a malha de aterramento;
- Tempo máximo de compensação de falta;
- Temperatura ambiente (ou do solo) no local;
- As medições de resistividade do solo no local (para toque e passo somente) (vide item 17.4);
- Resistividade de quaisquer camadas superficiais colocadas no local (para toque e passo somente).

## 17.2. DIMENSIONAMENTO DO CONDUTOR DE MALHA DE TERRA

A determinação do tamanho mínimo dos condutores de malha de aterramento é necessária para garantir que a malha de aterramento seja capaz de suportar a máxima corrente de falta a terra. Como um cabo de alimentação normal em falta, os condutores da malha de aterramento enfrentam um aumento de temperatura adiabática de curto-circuito. No entanto, ao contrário uma falha em um cabo normal, onde a temperatura limitante é o que poderia causar danos permanentes ao isolamento do cabo, o limite de temperatura para condutores da malha de aterramento é o ponto de fusão do condutor. Em outras palavras, durante o pior caso de falta a terra, não queremos que os condutores da malha de terra comecem a derreter!

O tamanho mínimo do condutor capaz de suportar o aumento de temperatura adiabático associado com uma falta a terra é dada pela Equação 37 da IEEE Std 80:

$$A = i^2 t \sqrt{\left( \frac{\frac{\alpha_r \rho_r 10^4}{TCAP}}{\ln \left[ 1 + \left( \frac{T_m - T_a}{K_0 + T_a} \right) \right]} \right)}$$

Onde:

$A$  é a área de seção transversal mínima do condutor de grade de ligação a terra ( $mm^2$ )

$i^2 t$  é a energia da falta a terra máxima ( $A^2 s$ )

$T_m$  é a temperatura máxima (de fusão) permissível ( $^{\circ}C$ )

$T_a$  é a temperatura ambiente ( $^{\circ}C$ )

$\alpha_r$  é o coeficiente térmico de resistividade ( $^{\circ}C^{-1}$ )

$\rho_r$  é a resistividade do condutor de terra ( $\mu\Omega.cm$ )

$$K_0 \text{ é } \left( \frac{1}{\alpha_r} - 20 \text{ deg } C \right)$$

$TCAP$  é a capacidade térmica do condutor por unidade de volume ( $Jcm^{-3}^{\circ}C^{-1}$ )

As constantes de material  $T_m$ ,  $\alpha_r$ ,  $\rho_r$  e  $TCAP$  para materiais condutores comuns podem ser encontradas na IEEE Std 80 Tabela 1. Por exemplo, fio de cobre comercial tem constantes do material:

- $T_m = 1084 \text{ }^{\circ}C$
- $\alpha_r = 0.00381 \text{ }^{\circ}C^{-1}$
- $\rho_r = 1.78 \mu\Omega.cm$
- $TCAP = 3.42 Jcm^{-3}^{\circ}C^{-1}$

Como descrito na Seção 11.3.1.1 da IEEE Std 80, existem métodos alternativos para formular esta equação, onde todos podem também ser derivados a partir de princípios fundamentais.

Existem também fatores adicionais que devem ser considerados (p.ex.: tendo em conta o crescimento futuro em níveis de falha), conforme discutido na Seção 11.3.3 da IEEE Std 80.

### 17.3. CÁLCULO DAS TENSÕES DE TOQUE E PASSO – PASSO A PASSO

Quando a eletricidade é gerada remotamente e não há caminhos de retorno para faltas à terra que não a própria terra, então há um risco de que faltas a terra podem causar gradientes de tensão perigosa na terra ao redor do local da falha (chamado aumento de potenciais de terra). Isso significa que alguém em pé perto da falha pode receber um choque elétrico perigoso devido a:

- Tensão de toque – é uma diferença potencialmente perigosa entre a Terra e um objeto metálico que uma pessoa está tocando;
- Tensão de Passo – é um gradiente de tensão perigosa (diferença de potencial) entre os pés de uma pessoa de pé sobre a terra.

A malha de terra pode ser usada para dissipar correntes de falta para o terra remoto e reduzir o gradiente de tensão na terra. Os cálculos da Tensão de Toque e de Passo são realizados a fim de avaliar se a malha de terra pode dissipar as correntes de falta e para que essas tensões não existam.

#### Passo 1: Resistividade do Solo

As propriedades da resistividade do solo em que a malha de ligação a terra vai ser estabelecida é um fator importante na determinação da resistência da malha de aterramento em relação à terra remota. Solos com chumbo de baixa

resistividade têm baixas resistências de malha global e configurações de rede de aterramento potencialmente menores podem ser projetadas (ou seja, que estejam em conformidade com tensões de toque e de passo seguras).

É uma boa prática realizar testes de resistividade do solo no local. Existem alguns métodos padrão para medição da resistividade do solo (por exemplo, método Wenner de quatro hastes). Uma boa discussão sobre a interpretação das medições de teste de resistividade do solo encontra-se da IEEE Std 80 Seção 13.4.

Às vezes não é possível conduzir testes de resistividade do solo e uma estimativa pode ser suficiente. Ao estimar a resistividade do solo, não é preciso dizer que se deveria errar com cautela e selecionar uma resistividade superior. A Tabela 8 da IEEE Std 80 dá algumas orientações sobre a faixa de resistividade do solo baseado nas características gerais do solo (ou seja, solo úmido orgânico =  $10\Omega\text{m}$ , solo úmido =  $100\Omega\text{m}$ , solo seco =  $1.000\Omega\text{m}$  e escudo rochoso =  $10.000\Omega\text{m}$ ).

## Passo 2: Materiais das Camadas Superficiais

Aplicando uma camada fina (0.08m – 0.15m) de material de resistividade alta (tal como basalto, cascalho, brita, etc) sobre a superfície do solo é comumente usado para ajudar a proteger contra tensões de toque e de passo perigosas. Isto é porque o material da camada superficial aumenta a resistência de contato entre o solo (isto é, terra) e os pés de uma pessoa em pé sobre ela, diminuindo assim a corrente que flui através da pessoa, no caso de uma falha.

A Tabela 7 da IEEE Std 80 dá valores típicos para resistividade de material de camadas superficiais em condições secas e úmidas (por exemplo, granito triturado 40 milímetros =  $4.000\Omega\text{m}$  (seco) e  $1.200\Omega\text{m}$  (úmido)).

A resistência eficaz dos pés de uma pessoa (em relação à terra) quando em pé sobre uma camada de superfície não é a mesma que a resistência da camada de superfície, porque a camada não é suficientemente espessa para ter uniforme resistividade em todas as direções. Um fator de redução de potência da camada superficial deve ser aplicado a fim de se calcular a resistência eficaz do pé (em relação à terra) na presença de uma espessura finita de material da camada superficial. Este fator de redução pode ser aproximado por uma fórmula empírica conforme a Equação 27 da IEEE Std 80:

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2h_s + 0.09}$$

Onde:

$C_s$  é o fator redução de potência da camada superficial

$\rho$  é a resistividade do solo ( $\Omega\text{m}$ )

$\rho_s$  é a resistividade do material da camada superficial ( $\Omega\text{m}$ )

$h_s$  é a espessura da camada superficial (m)

Este fator de redução será utilizado mais adiante no Passo 5, quando calculam-se as tensões de toque e de passo máximas permitidas.

### Passo 3: Resistência da Malha de Terra

Uma boa malha de aterramento tem baixa resistência (em relação ao terra remoto) para minimizar o aumento do potencial da terra (GPR) e, conseqüentemente, evitar as tensões de toque e de passo perigosas. O cálculo da resistência da malha de aterramento geralmente anda de mãos dadas com o projeto da malha de aterramento, ou seja, você projeta a malha de aterramento para minimizar a resistência da malha. A resistência da malha de aterramento depende, principalmente, da área ocupada pela malha de aterramento, o comprimento total das hastes condutoras de aterramento e do número de hastes de aterramento / eletrodos.

## IEEE Std 80

### 14. Avaliação da resistência de terra

#### 14.1 requisitos usuais

*Um bom sistema de aterramento proporciona uma baixa resistência ao terra remoto, a fim de minimizar o GPR. Para a maioria das linhas de transmissão e grandes subestações, a resistência da terra é geralmente cerca de 1Ω ou menos. Em menores subestações de distribuição, o limite geralmente aceitável é de 1 a 5Ω, dependendo das condições locais.*

A IEEE Std 80 tem duas opções para cálculo de resistência de malha de aterramento (em relação ao terra remoto). Ambas as opções estão descritas resumidamente abaixo:

1. O método simplificado (Seção 14.2);
2. As equações de Schwarz (Seção 14.3).

A IEEE Std 80 também inclui métodos para reduzir a resistividade do solo (Seção 14.5) e um tratamento para eletrodos de aterramento encapsulados com concreto (Seção 14.6).

### Método Simplificado

Na IEEE Std 80 a Equação 52 dá o método simplificado, alterada por Sverak para incluir o efeito de profundidade da malha de aterramento:

$$R_g = \rho \left[ \frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20/A}} \right) \right]$$

Onde:

$R_g$  é resistência da malha de terra em relação ao terra remoto ( $\Omega$ )

$\rho$  é a resistividade do solo ( $\Omega\text{m}$ )

$L_T$  é o comprimento total dos condutores enterrados (m)

$A$  é a área total ocupada pela malha de terra ( $\text{m}^2$ )

## Equações de Schwarz

As equações de Schwarz são uma série de equações que são mais precisas em modelar o efeito de hastes de aterramento / eletrodos. As equações são encontradas na IEEE Std 80 (Equações 53, 54, 55 e 56), como se segue:

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m}$$

Onde:

$R_g$  é resistência da malha de terra em relação ao terra remoto ( $\Omega$ )

$R_1$  é a resistência de terra dos condutores da malha ( $\Omega$ )

$R_2$  é a resistência de terra das hastes de aterramento ( $\Omega$ )

$R_m$  é a resistência de terra mútua entre os condutores da malha e as hastes de aterramento ( $\Omega$ )

E a malha, haste de aterramento e a resistência de terra mútua são:

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[ \ln \left( \frac{2L_c}{a'} \right) + \frac{k_1 L_c}{\sqrt{A}} - k_2 \right]$$

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi n_r L_r} \left[ \ln \left( \frac{4L_r}{b} \right) - 1 + \frac{2k_1 L_r}{\sqrt{A}} (\sqrt{n_r} - 1)^2 \right]$$

$$R_m = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[ \ln \left( \frac{2L_c}{L_r} \right) + \frac{k_1 L_c}{\sqrt{A}} - k_2 + 1 \right]$$

Onde:

$\rho$  é a resistividade do solo ( $\Omega\text{m}$ )

$L_c$  é o comprimento total dos condutores da malha enterrada (m)

$a'$  é igual a  $\sqrt{r \cdot 2h}$  para hastes enterradas a uma profundidade de  $h$  metros e com raio da seção transversal igual a  $r$  metros, ou simplesmente  $r$  para condutores de malha sobre a superfície

$A$  é a área total ocupada pela malha de terra ( $\text{m}^2$ )

$L_r$  é o comprimento de cada haste de aterramento (m)

$n_r$  é o número de hastes de aterramento na área  $A$

$b$  é o raio da seção transversal da haste de aterramento (m)

$k_1$  e  $k_2$  são coeficientes constantes que dependem da geometria da malha

O coeficiente  $k_1$  pode ser aproximado pelo seguinte:

- (1) Para profundidade  $h = 0$ :  $k_1 = -0.04L/R + 1.41$
- (2) Para profundidade  $h = \frac{1}{10}\sqrt{A}$ :  $k_1 = -0.05L/R + 1.20$
- (3) Para profundidade  $h = \frac{1}{6}\sqrt{A}$ :  $k_1 = -0.05L/R + 1.13$

O coeficiente  $k_2$  pode ser aproximado pelo seguinte:

- (1) Para profundidade  $h = 0$ :  $k_2 = 0.15L/R + 5.50$
- (2) Para profundidade  $h = \frac{1}{10}\sqrt{A}$ :  $k_2 = 0.10L/R + 4.68$
- (3) Para profundidade  $h = \frac{1}{6}\sqrt{A}$ :  $k_2 = 0.05L/R + 4.40$

Onde em ambos os casos,  $L/R$  é a razão entre comprimento e largura da malha de terra.

#### Passo 4: Máxima Corrente de Malha

A máxima corrente de malha é o pior caso de corrente de falha a terra que pode fluir através da malha de terra de volta ao terra remoto. Para calcular a máxima corrente de malha, em primeiro lugar você precisa calcular o pior caso de corrente de falha de terra (simétrica) na instalação que teria um caminho de retorno através do terra remoto (chamam isso de  $I_{k,e}$ ). Isto pode ser encontrado a partir dos estudos de sistemas potência ou pelo cálculo manual. De um modo geral, o mais relevante nível de falha a terra vai estar no lado primário do transformador de distribuição (isto é, ou nos terminais ou nos enrolamentos delta).

#### Fator de Divisão de Corrente

Nem toda a corrente de falha a terra fluirá de volta através do terra remoto. Uma parte da corrente de falha a terra pode ter caminhos de retorno locais (produção local, por exemplo) ou pode haver caminhos de retorno alternativos que não seja o terra remoto (por exemplo, os cabos de retorno do terra aéreos, tubos e cabos enterrados, etc.). Portanto, um fator de divisão de corrente ' $S_f$ ' deve ser aplicado para dar conta da proporção da corrente de falta que retorna através do terra remoto.

Calcular o fator de divisão corrente é uma tarefa específica para cada projeto e a localização do defeito e pode incorporar alguma subjetividade (isto é, "análise de engenharia"). De qualquer forma, a Seção 15.9 da IEEE Std 80 tem uma boa discussão sobre o cálculo do fator de divisão de corrente. No caso mais conservador um fator de divisão de corrente de ' $S_F = 1$ ' pode ser aplicado, o que significa que 100% da corrente de falha a terra fluirá de volta através do terra remoto.

A corrente de malha (simétrica)  $I_g$  é calculada por:

$$I_g = I_{k,e} S_f$$

Onde:

$$I_{k,e} = I_f = 3I_0$$

$I_f$  → Valor eficaz da corrente de falta fase-terra

$I_0$  → Corrente de falta de sequência-zero

## Fator de Decremento

A corrente simétrica de malha não é a máxima corrente de malha por causa da assimetria em curtos-circuitos, ou seja, uma corrente de offset dc (dc = componente contínua). Isto é capturado pelo fator de decremento, que pode ser calculado a partir da Equação 79 da IEEE Std 80:

$$D_f = \sqrt{1 + \frac{T_a}{t_f} \left(1 - e^{-\frac{2t_f}{T_a}}\right)}$$

Onde:

$D_f$  é o fator de decremento

$t_f$  é a duração da falta (s)

$T_A$  é a constante de offset de tempo (deslocamento de tempo) da dc (veja abaixo)

A constante de offset de tempo da dc (dc = corrente contínua) é derivada da Equação 74 da IEEE Std 80:

$$T_A = \frac{X}{R} \cdot \frac{1}{2\pi f}$$

Onde:

$$\frac{X}{R}$$

é a razão X / R na localização de falhas

$$f$$

é a frequência do sistema (Hz)

A máxima corrente de malha  $I_G$  é finalmente calculada por:

$$I_G = I_g D_f$$

## Passo 5: Critério da Tensão de Toque e Passo

Um dos objetivos de uma malha de aterramento segura é proteger as pessoas contra choques elétricos letais em caso de uma falta a terra. A magnitude da corrente elétrica AC (em 50Hz ou 60Hz) que um corpo humano pode suportar está tipicamente na faixa de 60 a 100 mA, quando a fibrilação ventricular e paralisção do coração pode ocorrer. A duração de um choque elétrico também contribui para o risco de mortalidade, de modo que a velocidade em que as falhas são limpas também é vital. Diante disso, é preciso prescrever limites máximos toleráveis de tensões de toque e de passo que não levam a choques letais.

As tensões máximas toleráveis para passo e toque podem ser empiricamente calculadas na Seção 8.3 da IEEE Std para pessoas pesando 50kg e 70kg:

**Limite da Tensão de Toque** – é a máxima diferença de potencial entre um objeto metálico aterrado ou não e um ponto da superfície do solo separado por uma distância horizontal equivalente ao alcance normal do braço de uma pessoa. Essa distância é convencionalmente igual a 1 metro:

- Pessoa com 50kg: 
$$E_{touch,50} = (1000 + 1.5C_s\rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$
- Pessoa com 70kg: 
$$E_{touch,70} = (1000 + 1.5C_s\rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}$$

**Limite da Tensão de Passo** – é a máxima diferença de potencial entre dois pontos da superfície do solo separados pela distância de um passo de uma pessoa, convencionalmente também igual a 1 metro, sem contato com qualquer objeto ligado a terra:

- Pessoa com 50kg: 
$$E_{step,50} = (1000 + 6C_s\rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$
- Pessoa com 70kg: 
$$E_{step,70} = (1000 + 6C_s\rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}$$

Onde:

$E_{touch}$  é a Tensão de Toque limite (V)

$E_{step}$  é a Tensão de Passo limite (V)

$C_s$  é o fator redução de potência da camada superficial (calculado no [Passo 2](#))

$\rho_s$  é a resistividade do solo ( $\Omega m$ )

$t_s$  é o tempo máximo de compensação da falta (s)

A escolha do peso da pessoa (50 kg ou 70 kg) depende do peso esperado das pessoas no local. Normalmente, onde são esperadas mulheres no local, a opção conservadora é escolher 50 kg.

## Passo 6: Elevação do Potencial de Terra (Ground Potential Rise - GPR)

Normalmente, a diferença de potencial entre o terra local em torno do local e o terra remoto é considerado como sendo zero (isto é, estão ao mesmo potencial). No entanto uma falha a terra (onde a falha retornará através do terra remoto), o fluxo de corrente através da terra provoca locais de gradientes de potencial em torno do local. A máxima diferença de potencial entre o local e o terra remoto é conhecido como elevação de potencial da terra (GPR). É importante notar que esta é a máxima diferença de potencial e que os potenciais de terra em torno do local irão variar em relação ao ponto da falha.

O máximo GPR é calculado por:

$$GPR = I_G R_g$$

Onde:

$GPR$  é o máximo aumento do potencial de terra (V)

$I_G$  é a máxima corrente de malha (A) (calculada no [Passo 4](#))

$R_g$  é resistência da malha de terra ( $\Omega$ ) (calculada no [Passo 3](#))

**NOTA:** Quanto maior for a área aterrada, mais baixa a resistência da malha e, portanto, menor o GPR. Se o GPR do projeto preliminar está abaixo da **tensão de toque admissível**, nenhuma análise adicional é necessária. Só um condutor adicional para fornecer acesso ao terra do equipamento é necessário.

## Passo 7: Verificação do Projeto da Malha de Terra

Agora só precisamos verificar se o projeto da malha de aterramento é seguro para o potencial de passo e toque. Se a GPR máxima calculada acima não exceder os limites das tensões de passo e de toque (a partir do Passo 5), então o projeto de malha é seguro.

No entanto, se os limites da tensão de passo e de toque excederem, então uma análise mais aprofundada será necessária para verificar o projeto, ou seja, calcular as máximas tensões de malha e de passo como na Seção 16.5 da IEEE Std 80.

## Cálculo da Tensão de Malha

A tensão de malha é a máxima tensão de toque dentro de uma malha de terra e é derivada da Equação 80 da IEEE Std 80:

$$E_m = \frac{\rho_s K_m K_i I_G}{L_M}$$

Onde:

$\rho_s$  é a resistividade do solo ( $\Omega\text{m}$ )

$I_G$  é a máxima corrente de malha (A) (calculada no [Passo 4](#))

$K_m$  é o fator de espaçamento geométrico (veja abaixo)

$K_i$  é o fator de correção geométrico da malha (veja abaixo)

$L_M$  é o comprimento efetivo enterrado da malha (veja abaixo)

## Fator de Espaçamento Geométrico – $K_m$

O fator de espaçamento geométrico  $K_m$  é calculado pela Equação 81 da IEEE Std 80:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[ \ln \frac{D^2}{16h \times d} + \frac{(D + 2h)^2}{8D \times d} - \frac{h}{4d} \right] + \frac{K_{ii}}{K(h)} \ln \left[ \frac{8}{\pi(2n - 1)} \right]$$

Onde:

$D$  é o espaçamento entre os condutores paralelos da malha (m)

$h$  é a profundidade da malha de aterramento (m)

$d$  é o diâmetro da seção transversal do condutor da malha (m)

$K_h$  é um fator de ponderação corretiva para a profundidade da malha =  $\sqrt{1 + h}$

$K_{ii}$  é um fator de ponderação corretiva de ajuste para os efeitos de condutores internos do canto da malha:

- $K_{ii} = 1$  para malhas com eletrodos de terra ao longo do perímetro da malha ou nos seus cantos

- $K_{ii} = \frac{1}{2n^{n/2}}$  para malhas sem eletrodos de terra nos cantos ou no perímetro

$n$  é o fator geométrico (veja abaixo)

## Fator Geométrico $\eta$

O fator geométrico  $\eta$  é calculado pela Equação 85 da IEEE Std 80:

$$\eta = \eta_a \times \eta_b \times \eta_c \times \eta_d$$

Com:

$$\eta_a = 2L_c / L_p$$

$$\eta_b = 1 \text{ para malhas quadradas, ou de outra forma } n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4\sqrt{A}}}$$

$$\eta_c = 1 \text{ para malhas quadradas e retangulares, ou de outra forma } n_c = \left[ \frac{L_x L_y}{A} \right]^{\frac{0.7A}{L_x L_y}}$$

$$\eta_d = 1 \text{ para malhas quadradas, retangulares e forma de L, ou de outra forma } n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}}$$

Onde:

$L_c$  é o comprimento total dos condutores da malha (m)

$L_p$  é o comprimento perimetral da malha (m)

$A$  é a área total da malha ( $m^2$ )

$L_x$  e  $L_y$  são os comprimentos máximos das malhas na direções X e Y (m)

$D_m$  é a máxima distância entre dois pontos quaisquer da malha (m)

## Fator de irregularidade – $K_i$

O fator de irregularidade  $K_i$  é calculado pela Equação 89 da IEEE Std 80:

$$K_i = 0.644 + 0.148\eta$$

Onde  $\eta$  é o fator geométrico visto acima.

## Comprimento Efetivamente Enterrado – $L_M$

O comprimento efetivamente enterrado  $L_M$  é achado como segue:

- Para malhas com poucos ou nenhum eletrodo de aterramento (e nenhum nos cantos ou ao longo do perímetro):

$$L_M = L_c + L_R$$

Onde:

$L_c$  é o comprimento total dos condutores da malha (m)

$L_R$  é o comprimento total dos eletrodos de aterramento / hastes (m)

- Para malhas com eletrodos de aterramento nos cantos e ao longo do perímetro:

$$L_M = L_c + \left[ 1.55 + 1.22 \left( \frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] L_R$$

Onde:

$L_c$  é o comprimento total dos condutores da malha (m)

$L_R$  é o comprimento total dos eletrodos de aterramento / hastes (m)

$L_r$  é o comprimento de cada eletrodo de aterramento / haste (m)

$L_x$  e  $L_y$  são os comprimentos máximos das malhas na direções X e Y (m)

## Cálculo da Tensão de Passo

A máxima Tensão de Passo permissível é calculada pela Equação 92 da IEEE Std 80:

$$E_s = \frac{\rho_s K_s K_i I_G}{L_S}$$

Onde:

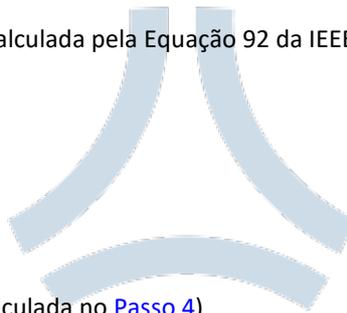
$\rho_s$  é a resistividade do solo ( $\Omega\text{m}$ )

$I_G$  é a máxima corrente de malha (A) (calculada no [Passo 4](#))

$K_s$  é o fator de espaçamento geométrico para tensão de passo (veja abaixo)

$K_i$  é o fator de correção geométrico da malha (vide cálculo de tensão de malha)

$L_S$  é o comprimento efetivo enterrado da malha (veja abaixo)



## Fator de Espaçamento Geométrico – $K_s$

O fator de espaçamento geométrico  $K_s$ , baseado na Equação 81 da IEEE Std 80 é aplicável para aterramentos com profundidades entre 0.25 m e 2.5 m:

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right]$$

Onde:

$D$  é o espaçamento entre condutores (hastes) paralelos da malha (m)

$h$  é a profundidade da malha de aterramento (m)

$n$  é o fator geométrico (visto acima no cálculo de tensão de malha)

## Comprimento Efetivo Enterrado da Malha – $L_S$

O comprimento efetivo enterrado da malha  $L_S$  para todos os casos pode ser calculado pela Equação 93 da IEEE Std 80:

$$L_S = 0.75L_c + 0.85L_R$$

Onde:

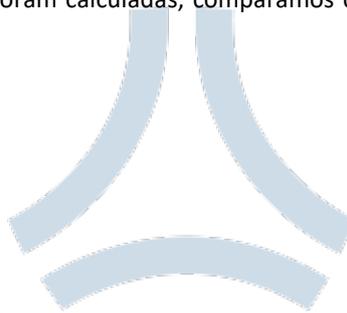
$L_c$  é o comprimento total dos condutores da malha (m)

$L_R$  é o comprimento total dos eletrodos de aterramento / hastes (m)

## E Agora?

Agora que as Tensões de Malha e Passo foram calculadas, comparamos com as Tensões de Toque e Passo máximas toleráveis, respectivamente. Se:

- $E_m < E_{touch}$ , e
- $E_s < E_{step}$



Então o projeto da malha de terra é seguro.

Se não, mais cálculos deverão ser executados. Abaixo, algumas das alterações que podem ser feitas para tornar o projeto da malha de aterramento seguro, se até este momento isto não tiver sido conseguido:

- Reprojeter a malha de aterramento para reduzir a resistência da malha (por exemplo, condutores mais grade, eletrodos de aterramento, mais aumento da área transversal dos condutores, etc.). Uma vez feito isso, volte a calcular a resistência da malha de aterramento (ver Passo 3) e voltar a fazer os cálculos dos potenciais de toque e de passo;
- Limitar a corrente de falta à terra total ou criar caminhos alternativos de retorno de falta a terra;
- Considerar tratamentos do solo para diminuir a resistividade do solo;
- Maior uso de materiais da camada superficial com alta resistividade.

**NOTA: O artigo acima é do site da Open Electrical que é um site livre com a contribuição de vários profissionais da indústria da área de Projetos de Engenharia Elétrica de todo o mundo.**

Os passos abordados aqui demonstram uma metodologia de cálculo com algumas simplificações, mas que são totalmente inteligíveis e baseadas na IEEE Std 80.

Na sequência há um exemplo de cálculo, onde os autores utilizam tudo o que foi explicado no artigo (todos os cálculos estão na notação americana – vírgula no lugar de ponto e vice-versa). Após este exemplo, temos o passo a passo dado na seção 16.4 da IEEE Std 80, que aborda mais minuciosamente como proceder ao cálculo da Malha de Terra (item 17.1).

Como a IEEE Std 80 é uma norma com muitos detalhes e por isso muito volumosa, as pessoas que se interessarem devem consultá-la diretamente, pois não iremos demonstrá-la aqui. Contudo, aconselho a fazê-lo porque ela é essencial neste tipo de cálculo.

## 17.4. EXEMPLO DE CÁLCULO – PASSO A PASSO

Neste exemplo, os cálculos de Tensão de Toque e de Passo para um projeto de malha de terra serão executados. O local proposto é uma pequena instalação industrial com uma conexão de rede através de uma linha de transmissão e um transformador delta-estrela conectado.

### Passo 1: Resistividade do Solo

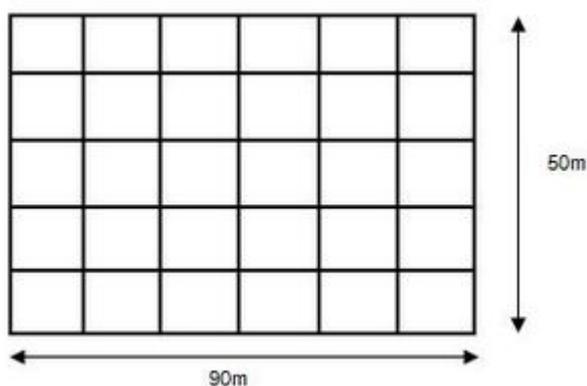
A resistividade do solo ao redor do local foi medida com uma sonda quatro pinos Wenner e verificou-se ser de aproximadamente 300  $\Omega\text{m}$ .

### Passo 2: Materiais das Camadas Superficiais

Uma fina camada de 100 mm de metal azul (basalto) (3000  $\Omega\text{m}$ ) é proposta para ser colocada no local. O fator de redução de potência da camada superficial é:

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2h_s + 0.09} = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{300}{3,000}\right)}{2 \times 0.1 + 0.09} = 0.7207$$

### Passo 3: Resistência da Malha de Terra



Malha de aterramento retangular proposta

Uma malha de aterramento retangular (figura acima) com os seguintes parâmetros é proposta:

- Comprimento de 90m e largura de 50m
- 6 linhas paralelas e 7 colunas paralelas
- Condutores da malha terão  $120 \text{ mm}^2$ , enterrados a 600 mm de profundidade.
- 22 hastes de aterramento serão instaladas nos cantos e no perímetro da malha
- Cada haste de aterramento terá 3m de comprimento

Usando-se a equação simplificada, a resistência de malha de terra em relação ao terra remoto é:

$$\begin{aligned} R_g &= \rho \left[ \frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20/A}} \right) \right] \\ &= 300 \left[ \frac{1}{956} + \frac{1}{\sqrt{20 \times 4,500}} \left( 1 + \frac{1}{1 + 0.6\sqrt{20/4,500}} \right) \right] \\ &= 2.2753\Omega \end{aligned}$$

#### Passo 4: Máxima Corrente de Malha

Supondo que a máxima falta a terra monofásica no enrolamento de alta tensão do transformador é 3.1kA e que o fator de divisão de corrente é 1 (todos os fluxos de corrente de falta retornam para o terra remoto).

A relação X/R da falta é aproximadamente 15, a máxima duração do tempo de falta 150ms e a frequência nominal é de 50Hz. O offset do tempo da componente contínua é, portanto:

$$T_A = \frac{X}{R} \cdot \frac{1}{2\pi f} = 15 \times \frac{1}{2\pi 50} = 0.04774$$

O fator de decremento então é:

$$\begin{aligned} D_f &= \sqrt{1 + \frac{T_a}{t_f} \left( 1 - e^{-\frac{2t_f}{T_a}} \right)} \\ &= \sqrt{1 + \frac{0.04774}{0.15} \left( 1 - e^{-\frac{2 \times 0.15}{0.04774}} \right)} \\ &= 1.1479 \end{aligned}$$

Finalmente, a máxima corrente de malha é:

$$I_G = I_g D_f = 3.1 \times 1.1479 = 3.559 \text{ kA}$$

## Passo 5: Critério para as Tensões de Toque e de Passo

Com base no peso médio dos trabalhadores no local, um peso corporal de 70 kg é assumido para o cálculo das tensões máximas de toque e de passo. A máxima duração do tempo de falta de 150ms também é assumida.

A máxima tensão de toque permissível é:

$$\begin{aligned} E_{touch,70} &= (1000 + 1.5C_s\rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \\ &= (1000 + 1.5 \times 0.7207 \times 3,000) \frac{0.157}{\sqrt{0.15}} \\ &= 1,720.04 \text{ V} \end{aligned}$$

A máxima tensão de passo permissível é:

$$\begin{aligned} E_{step,70} &= (1000 + 6C_s\rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \\ &= (1000 + 6 \times 0.7207 \times 3,000) \frac{0.157}{\sqrt{0.15}} \\ &= 5,664.03 \text{ V} \end{aligned}$$

## Passo 6: Aumento do Potencial de Terra (Ground Potential Rise - GPR)

O aumento máximo do potencial de terra é:

$$GPR = I_G R_g = 3,559 \times 2.2753 = 8,097 \text{ V}$$

O GPR excede de longe os potenciais máximos admissíveis de toque e de passo, e análises adicionais das tensões de malha e de passo devem ser realizadas.

## Passo 7: Verificação do Projeto de Malha de Terra

### Cálculo da Tensão de Malha

As componentes do fator geométrico  $n_a$ ,  $n_b$ ,  $n_c$  e  $n_d$  para a malha retangular são:

$n_a = \frac{2L_c}{L_p} = \frac{2 \times 890}{280} = 6.357$	$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4\sqrt{A}}} = \sqrt{\frac{280}{4\sqrt{4500}}} = 1.022$	$n_c = n_d = 1$
---	--	-----------------

Portanto, o fator geométrico  $n$  é:

$$\begin{aligned} n &= n_a \times n_b \times n_c \times n_d \\ &= 6.357 \times 1.022 \times 1 \times 1 \\ &= 6.4939 \end{aligned}$$

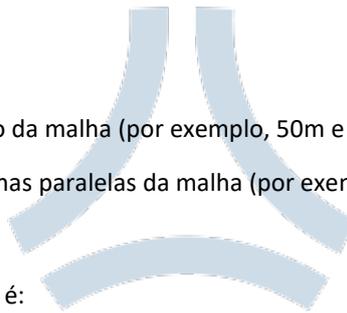
O espaçamento médio  $D$  entre os condutores paralelos da malha é:

$$\begin{aligned} D &= \frac{1}{2} \left( \frac{W_g}{n_r - 1} + \frac{L_g}{n_c - 1} \right) \\ &= \frac{1}{2} \left( \frac{50}{6 - 1} + \frac{90}{7 - 1} \right) \\ &= 12.5 \end{aligned}$$

Onde:

$W_g$  e  $L_g$  são a largura e o comprimento da malha (por exemplo, 50m e 90m)

$n_r$  e  $n_c$  são os números de linhas e colunas paralelas da malha (por exemplo, 6 e 7)



O fator de espaçamento geométrico  $K_m$  é:

$$\begin{aligned} K_m &= \frac{1}{2\pi} \left[ \ln \frac{D^2}{16h \times d} + \frac{(D + 2h)^2}{8D \times d} - \frac{h}{4d} \right] + \frac{K_{ii}}{K(h)} \ln \left[ \frac{8}{\pi(2n - 1)} \right] \\ K_m &= \frac{1}{2\pi} \left[ \ln \frac{12.5^2}{16 \times 0.6 \times 0.0124} + \frac{(12.5 + 2 \times 0.6)^2}{8 \times 12.5 \times 0.0124} - \frac{0.6}{4 \times 0.0124} \right] + \frac{1}{1.26} \ln \left[ \frac{8}{\pi(2 \times 6.7858 - 1)} \right] \\ &= 0.964 \end{aligned}$$

O fator de correção geométrico da malha  $K_i$  é:

$$\begin{aligned} K_i &= 0.644 + 0.148n \\ &= 0.644 + 0.148 \times 6.4939 \\ &= 1.605 \end{aligned}$$

O comprimento efetivamente enterrado  $L_M$  da malha é:

$$\begin{aligned}
 L_M &= L_c + \left[ 1.55 + 1.22 \left( \frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] L_R \\
 &= 890 + \left[ 1.55 + 1.22 \left( \frac{66}{\sqrt{90^2 + 50^2}} \right) \right] \times 66 \\
 &= 994.65\text{m}
 \end{aligned}$$

Finalmente, a máxima tensão de malha é:

$$\begin{aligned}
 E_m &= \frac{\rho_s K_m K_i I_G}{L_M} \\
 &= \frac{300 \times 0.964 \times 1.605 \times 3,559}{994.65} \\
 &= 1,661\text{v}
 \end{aligned}$$

A máxima tensão de toque ( $E_{touch}$ ) permissível é 1.720V, que excede a tensão de malha ( $E_m$ ) calculada acima e o sistema de aterramento ultrapassa os critérios de potenciais de toque (embora seja muito marginal).

$$E_m < E_{touch} \checkmark$$

## Cálculo da Tensão de Passo

O fator de espaçamento geométrico  $K_s$  é:

$$\begin{aligned}
 K_s &= \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right] \\
 &= \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2 \times 0.6} + \frac{1}{12.5 + 0.6} + \frac{1}{12.5} (1 - 0.5^{6.4939-2}) \right] \\
 &= 0.314
 \end{aligned}$$

O comprimento efetivamente enterrado  $L_S$  é:

$$\begin{aligned}
 L_S &= 0.75L_c + 0.85L_R \\
 &= 0.75 \times 890 + 0.85 \times 66 \\
 &= 723.6\text{m}
 \end{aligned}$$

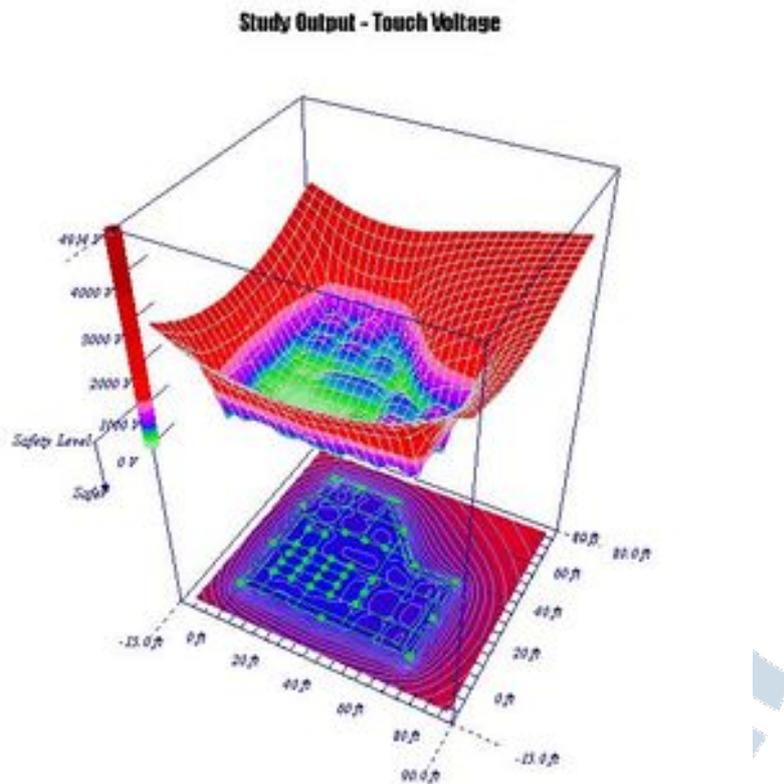
Finalmente, a máxima tensão de passo permitida é:

$$\begin{aligned}
 E_s &= \frac{\rho_s K_s K_i I_G}{L_S} \\
 &= \frac{300 \times 0.314 \times 1.605 \times 3,559}{723.6} \\
 &= 728\text{v}
 \end{aligned}$$

O potencial máximo de passo ( $E_{step}$ ) permitido é de 5.664 V, que excede a tensão de passo ( $E_s$ ) calculada acima e o sistema de aterramento ultrapassa os critérios de potenciais de passo. Depois de ultrapassar os critérios de ambos os potenciais de toque e de passo, pode-se concluir que o sistema de aterramento é seguro.

$$E_s < E_{step} \checkmark$$

## 17.5. FERRAMENTAS BASEADAS EM COMPUTADOR



Resultado do software PTW GroundMat (cortesia de SKM Systems Analysis Inc)

Como pode ser visto acima, os cálculos dos potenciais de toque e de passo podem ser uma tarefa muito tediosa e trabalhosa, e que pode possivelmente ser feito muito mais rápido por um computador. Até mesmo a IEEE Std 80 recomenda a utilização de software de computador para calcular as resistências de aterramento, as tensões de malha e de passo e também criar visualizações do gradiente de potencial do local.

Pacotes de software de computador podem ser usados para ajudar no projeto da malha de aterramento por meio de modelagem e simulação de configurações de malhas de aterramento diferentes. As ferramentas tanto vêm como pacotes independentes ou módulos plug-in em softwares de análise de sistema de potência (como o [GroundMat](#) da PTW ou ETAP [Ground Grid Design Assessment](#). Exemplos de pacotes autônomos incluem o [SES Autogrid](#) e o [SafeGrid](#)).

## 17.6. PROCEDIMENTO DE PROJETO DE MALHA DE ATERRAMENTO - IEEE STD 80-2000.

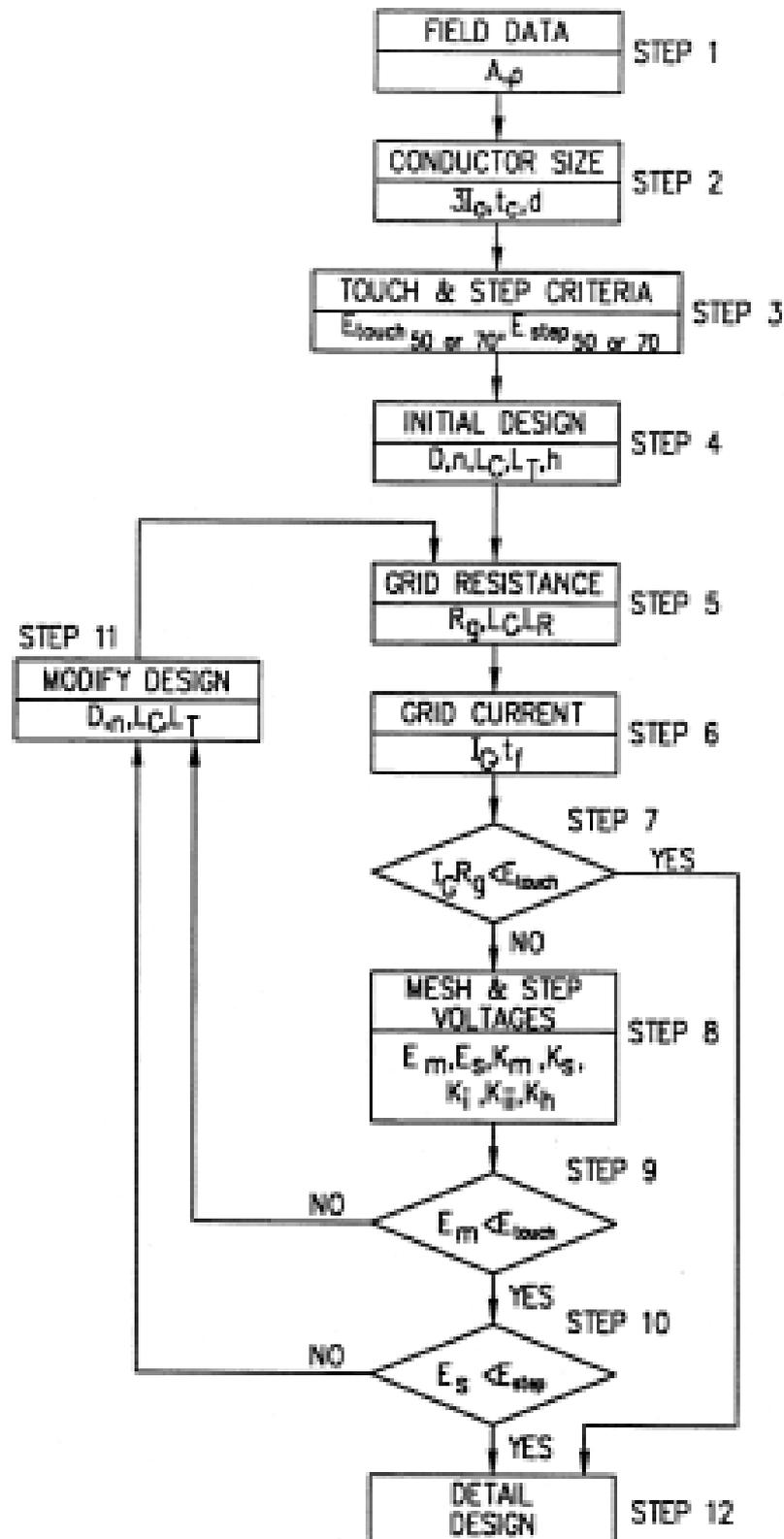


Figura 52 – Diagrama de blocos do processo de cálculo da Malha de Terra (IEEE Std 80)

Os passos abaixo foram extraídos diretamente da IEEE Std 80, seção 16.4. Em termos comparativos entre os itens 17.1 e 17.3, basicamente os autores do site Open Electrical simplificaram alguns passos, mas os resultados obtidos são idênticos, pois a base é a mesma.

O diagrama de blocos da Figura 52 sequencia os passos para projetar a malha de terra. Os parâmetros mostrados no diagrama de blocos estão identificados no Índice apresentados na Tabela 12 da página 89 da IEEE Std 80-2000. A seguir cada etapa do procedimento:

**Passo 1:** O mapa de localização geral da subestação deve fornecer boas estimativas da área a ser aterrada. A medição da resistividade do solo e de sua estratificação vai determinar o perfil do solo para o cálculo das características de um sistema de aterramento.

**Passo 2:** O tamanho do condutor é determinado por equações dadas na seção 11.3. A corrente de falta ( $I_G$ ) deve ser a máxima corrente de falta futura esperada que será conduzida por qualquer condutor do sistema de aterramento, e o tempo ( $t_c$ ) deve refletir o tempo de compensação máxima possível (incluindo backup).

**Passo 3:** As tensões de toque e passo toleráveis são determinadas por equações dadas nas seções 8.3 e 8.4. A escolha do tempo ( $t_s$ ) é baseada na análise do engenheiro de projeto, com a orientação das seções 5.2-6.3 (vide Passo 5 do item 17.1).

**Passo 4:** O projeto preliminar deve incluir um condutor circundando toda a área aterrada, com condutores cruzados adequadamente (tipo malha) para fornecer acesso conveniente para os terras dos equipamentos, etc. A estimativa inicial do espaçamento dos condutores e a localização das hastes de aterramento deve ser baseada na corrente  $I_G$  e a área a ser aterrada.

**Passo 5:** Estimativa preliminar da resistência do sistema de aterramento pode ser determinada pelas equações dadas nas seções 14.2 e 14.3 (vide Passo 3 do item 17.1). Para o projeto final, estimativa mais precisa da resistência pode ser necessária. Pode-se calcular a resistência com um alto grau de precisão através de análise por computador, supondo que o perfil de solo tenha sido escolhido corretamente.

**Passo 6:** A corrente  $I_G$  é determinada pelas equações apresentadas na seção 15. Para evitar e reprojetar o sistema de aterramento, apenas a porção da corrente de falta total ( $I_G$ ) que flui através da malha de terra remota deve ser utilizada na concepção da malha. A corrente  $I_G$  deve, no entanto, refletir o pior tipo de falta e sua localização, o fator de decremento, e qualquer expansão futura do sistema (vide Passo 4 do item 17.1)

**Passo 7:** Se o GPR do projeto preliminar está abaixo da tensão de toque admissível, nenhuma análise adicional será necessária. Só um condutor adicional será necessário para fornecer acesso ao terra do equipamento (vide Passo 6 do item 17.1).

**Passo 8:** O cálculo das tensões de malha e de passo para a malha como projetada pode ser feito por meio de técnicas de análise aproximadas descritas na seção 16.5 para solo uniforme, ou por meio das técnicas de análise mais precisas através do computador, como demonstrado na seção 16.8. Discussões mais aprofundadas dos cálculos são reservadas para estas seções.

**Passo 9:** Se a tensão de malha calculada está abaixo da tensão de toque admissível, o projeto pode estar concluído (ver Passo 10 deste item). Se a tensão de malha calculada é maior que a tensão de toque admissível, o projeto preliminar deve ser revisto (ver Passo 11 deste item).

**Passo 10:** Se tanto as tensões de toque e de passo calculadas estão abaixo das tensões admissíveis, o projeto precisa apenas dos refinamentos necessários para fornecer acesso às áreas de equipamentos. Se não, o projeto preliminar deve ser revisto (ver Passo 11 deste item).

**Passo 11:** Se qualquer dos limites admissíveis das tensões de passo ou toque forem ultrapassados, a revisão do projeto da malha é necessária. Estas revisões podem incluir espaçamentos menores dos condutores, hastes de aterramento adicionais, etc. Mais discussão sobre a revisão do projeto da malha para satisfazer os limites de tensão de passo e de toque é vista na seção 16.6.

**Passo 12:** Depois de satisfazer os requisitos para as tensões de passo e de toque, malha e hastes de aterramento adicionais podem ser necessárias. Os condutores adicionais podem ser necessários se o desenho da malha não estiver incluindo condutores perto do equipamento a ser aterrado. Hastes de aterramento adicionais podem ser necessárias no terra do para-raios, neutros dos transformadores, etc. O projeto final também deve ser revisto para eliminar riscos devido ao potencial de transferência e os riscos associados com zonas especiais de interesse. Consulte a Seção 17.

## 17.7. MEDIÇÃO DE RESISTIVIDADE E DETERMINAÇÃO DA ESTRATIFICAÇÃO DO SOLO

### NBR7117

*4.1 Composição do Solo – O solo é um meio geralmente heterogêneo, de modo que o valor de sua resistividade varia de local para local em função do tipo, nível de umidade, profundidade das camadas, idade de formação geológica, temperatura, salinidade e outros fatores naturais, sendo também afetado por fatores externos como contaminação e compactação. Exemplos de variação da resistividade em função de alguns destes parâmetros são mostrados na Tabela abaixo:*

Tipos de solo	Faixa de resistividades ( $\Omega \cdot m$ )
Água do mar	menor do que 10
Alagadiço, limo, humus, lama	até 150
Água destilada	300
Argila	300 – 5 000
Calcário	500 – 5 000
Areia	1 000 – 8 000
Granito	1 500 – 10 000
Basalto	a partir de 10 000
Concreto <sup>a</sup>	Molhado: 20 – 100 Úmido: 300 – 1 000 Seco: 3 k $\Omega \cdot m$ – 2 M $\Omega \cdot m$

<sup>a</sup> A categoria molhado é típica de aplicação em ambientes externos. Valores inferiores a 50  $\Omega \cdot m$  são considerados altamente

Tabela 11 – Valores típicos de resistividade de alguns tipos de solo

## 5.1. Medição de resistividade do solo

### 5.1.1 Considerações gerais

A determinação dos valores das resistividades do solo e sua estratificação são de importância fundamental para o cálculo das características de um sistema de aterramento, subsidiando o desenvolvimento de projetos, bem como a determinação de seus potenciais de passo e toque.

Em geral, o solo é constituído por diversas camadas, cada uma apresentando certo valor de resistividade e uma espessura própria.

O valor de resistividade do solo é determinado através de medições, cujos resultados recebem um tratamento matemático, de modo a se obter a estratificação do solo em camadas paralelas ou horizontais, de diferentes resistividades ( $\rho$ ) e de espessuras ( $e$ ) definidas, conforme Figura 53.

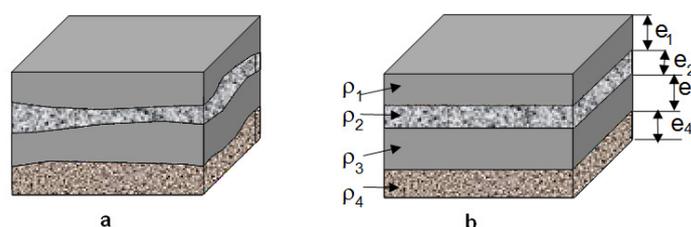


Figura 53 – Solo real (a) e solo estratificado (b)

Onde:

$\rho_1, e_1$  Resistividade e espessura da camada de número 1

$\rho_2, e_2$  Resistividade e espessura da camada de número 2

$\rho_3, e_3$  Resistividade e espessura da camada de número 3

$\rho_4, e_4$  Resistividade e espessura da camada de número 4

De acordo com NBR7117 temos os seguintes métodos de medição:

- Amostragem física do solo;
- Método da variação de profundidade (ou método dos três eletrodos);
- Método dos dois eletrodos;
- Método dos quatro eletrodos, com os seguintes arranjos:
  - Arranjo do eletrodo central;
  - Arranjo de Lee;
  - Arranjo de Wenner (ou arranjo dos quatro pontos igualmente espaçados);
  - Arranjo Schlumberger – Palmer.

Destes métodos acima apresentados, o mais conhecido e mais utilizado é o Arranjo de Wenner ou Método de Wenner.

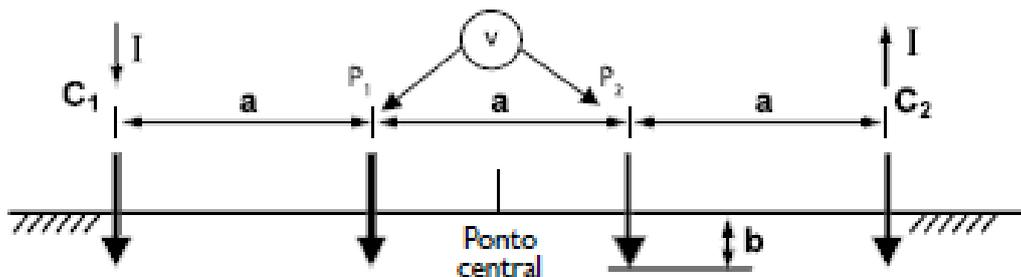


Figura 54 – Método de Wenner

Na prática, são usados quatro eletrodos localizados em uma linha reta em intervalos 'a', enterrados a uma profundidade que não exceda a 10% de "a". Quando  $b \leq a/10$ , a equação pode ser simplificada pela fórmula:

$$\rho_{(a)} = 2\pi \cdot a \cdot (V/I)$$

Devem ser realizadas diversas medições com vários espaçamentos entre eletrodos para a obtenção da variação da resistividade com a profundidade.

## 18. PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS - SPDA

### NBR5419

*1.1 Esta Norma fixa as condições exigíveis ao projeto, instalação e manutenção de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) de estruturas (definidas em 1.2), bem como de pessoas e instalações no seu aspecto físico dentro do volume protegido.*

*1.2 Esta Norma aplica-se às estruturas comuns, utilizadas para fins comerciais, industriais, agrícolas, administrativos ou residenciais, e às estruturas especiais previstas no anexo A.*

A instalação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas tem duas funções:

**1ª Função** - Neutralizar, pelo poder de atração das pontas, o crescimento do gradiente de potencial elétrico entre o solo e as nuvens, através do permanente escoamento de cargas elétricas do meio ambiente para a terra;

**2ª Função** – Oferecer à descarga elétrica que for cair em sua proximidade um caminho preferencial, reduzindo os riscos de uma incidência sobre as estruturas.

A instalação desse sistema não impede a ocorrência de raios. Nem tão pouco os atrai.

Um para-raios corretamente instalado reduz significativamente os perigos e possíveis danos, pois capta raios que deveriam cair em suas proximidades. Um para-raios mal instalado é mais prejudicial do que a sua inexistência.

**NOTA:** Nada em termos práticos pode ser feito para se impedir a queda de uma descarga em determinada região.

As soluções internacionalmente aplicadas buscam tão somente minimizar os efeitos destruidores a partir da colocação de pontos preferenciais de captação e condução segura da descarga para a terra.

Somente os projetos elaborados com base em disposições destas normas podem assegurar uma instalação dita eficiente e confiável. Entretanto, esta eficiência nunca atingirá os 100%.

É de fundamental importância que após a instalação haja uma manutenção periódica anual a fim de se garantir a confiabilidade do sistema. É também recomendada uma vistoria preventiva após reformas que possam alterar o sistema e toda vez que a edificação for atingida por uma descarga direta.

A NBR5419 divide as estruturas de acordo com a importância do risco, em quatro níveis:

1) Nível I:

São aquelas em que os danos causados por uma queda de raio se alastram para outras estruturas vizinhas.

Exemplos: Depósitos de explosivos ou inflamáveis, ou ainda de materiais com risco ambiental como material radioativo ou tóxico, indústrias petroquímicas, postos de combustível e usinas.

2) Nível II:

São aquelas em que o risco é confinado à estrutura atingida pelo raio, ou aquelas em que há risco de pânico, ou ainda aquelas com grandes quantidades de equipamentos de TI.

Exemplos: Estruturas com boa ventilação e que possuam pequenas quantidades de explosivos ou fluídos inflamáveis; locais de grande afluência de público: como locais para shows, estádios de prática esportiva ou edifícios destinados a grandes centros de processamento de dados ou grandes centrais de telefonia ou de força, hospitais, museus, escolas e bancos.

### 3) Nível III:

São estruturas de uso comum.

Exemplos: Residências, edifícios de apartamentos ou de escritórios, fábricas sem áreas classificadas ou com áreas classificadas distantes das edificações, residências e indústrias menores.

### 4) Nível IV:

São aquelas sem pessoas no em seu interior e sem risco de grandes danos.

Exemplos: Edifícios para armazenamento e produtos, estoque de produtos agrícolas não inflamáveis.

Pela legislação, o que predomina na verificação da necessidade, ou não, de proteção é o **Código de Obras Municipal**. Uma vez determinada a sua necessidade o que prevalece é a **Norma**.

Quando o código de obras diz que na parte de proteção contra descargas atmosféricas (ou raios) deve ser seguida a norma correspondente da ABNT, então deve ser analisada a necessidade de proteção de acordo com o **anexo B da NBR 5419**.

## 18.1. SISTEMAS EXISTENTES

Atualmente existem três métodos de dimensionamento (ver tabela 11):

- Método Franklin - Tem limitações em função da altura e do nível de proteção. Passa a ser cada vez menos usado em edifícios sendo ideal para edificações de pequeno porte;
- Método Gaiola de Faraday ou Malha – É formada por um captor, cabos de cobre no formato de uma malha, suportes isoladores e tubos de proteção para os condutores de descida até o solo.
- Método da Esfera Rolante, Eletrogeométrico ou Esfera Fictícia - Consiste em fazer rolar uma esfera, por toda a edificação. Esta esfera terá um raio definido em função do Nível de Proteção. Os locais onde a esfera tocar a edificação são os locais mais expostos a descargas.

Resumindo, poderemos dizer que os locais onde a esfera tocar, o raio também pode tocar, devendo estes ser protegidos por elementos metálicos (captosres Franklin ou condutores metálicos).

**IMPORTANTE:** Toda estruturação do SPDA deve ser baseada na NBR5419. Abaixo apenas alguns parâmetros necessários a serem obedecidos:

### I. CONDIÇÕES:

Nível de proteção	$R$ m	Ângulo de proteção ( $\alpha$ ) - método Franklin, em função da altura do captor ( $h$ ) (ver Nota 1) e do nível de proteção					Largura do módulo da malha (ver Nota 2) m
		0 - 20 m	21 m - 30 m	31 m - 45 m	46 m - 60 m	> 60 m	
I	20	25°	1)	1)	1)	2)	5
II	30	35°	25°	1)	1)	2)	10
III	45	45°	35°	25°	1)	2)	10
IV	60	55°	45°	35°	25°	2)	20

$R$  = raio da esfera rolante

1) Aplicam-se somente os métodos eletrogeométrico, malha ou da gaiola de Faraday.

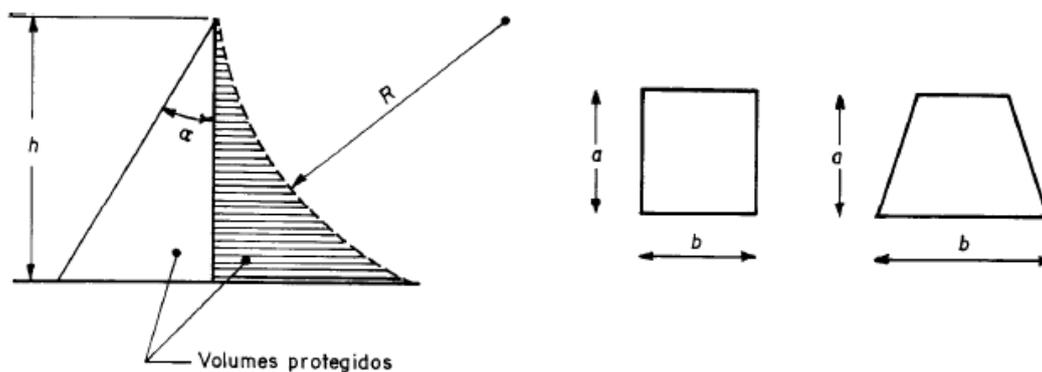
2) Aplica-se somente o método da gaiola de Faraday.

NOTAS

1 Para escolha do nível de proteção, a altura é em relação ao solo e, para verificação da área protegida, é em relação ao plano horizontal a ser protegido.

2 O módulo da malha deverá constituir um anel fechado, com o comprimento não superior ao dobro da sua largura.

Tabela 12 – Posicionamento de captores conforme o nível de proteção



$h$  = altura do captor

$\alpha$  = ângulo de proteção – Método Franklin

$R$  = raio da esfera rolante

$a$  = largura da malha

$b$  = comprimento da malha

$b \leq 2a$

## II. ESPAÇAMENTO MÉDIO ENTRE AS DESCIDAS:

Nível de proteção	Espaçamento médio m
I	10
II	15
III	20
IV	25

Tabela 13 – Espaçamento médio dos condutores de descida não naturais conforme o nível de proteção

### CONSIDERAÇÕES:

- Se possível espaçados regularmente;
- Um em cada vértice;

- Grandes áreas, maior que 40m, descidas internas.

### III. SEÇÃO MÍNIMA DOS CONDUTORES

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

Tabela 14 – Seções mínimas dos materiais do SPDA

### IV. ESPESSURA MÍNIMA DOS MATERIAIS DO SPDA

Material	Captorees			Descidas	Aterramento
	NPQ	NPF	PPF		
Aço galvanizado a quente	4	2,5	0,5	0,5	4
Cobre	5	2,5	0,5	0,5	0,5
Alumínio	7	2,5	0,5	0,5	--
Aço Inox	4	2,5	0,5	0,5	5
NPQ - não gera ponto quente; NPF - não perfura; PPF - pode perfurar.				Dimensões em milímetros	

Tabela 15 – Espessuras mínimas dos componentes do SPDA

#### NOTAS NBR5419 (pág.9):

- 1 Independentemente das espessuras, deverão ser mantidas as seções transversais mostradas na tabela 13.
- 2 Os condutores e acessórios de aço (exceto inox) devem ser protegidos com uma camada zinco aplicado a quente (fogo) conforme a NBR6323, ou com uma camada de cobre com espessura mínima de 254 µm, conforme a NBR13571.
- 3 O aço de construção só pode ser utilizado embutido em concreto.

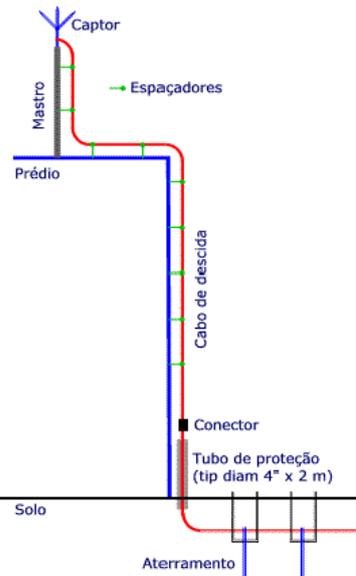
## 18.2. SUBSISTEMA DE CAPTORES

### ➔ MÉTODO FRANKLIN OU MÉTODO DO ÂNGULO DE PROTEÇÃO

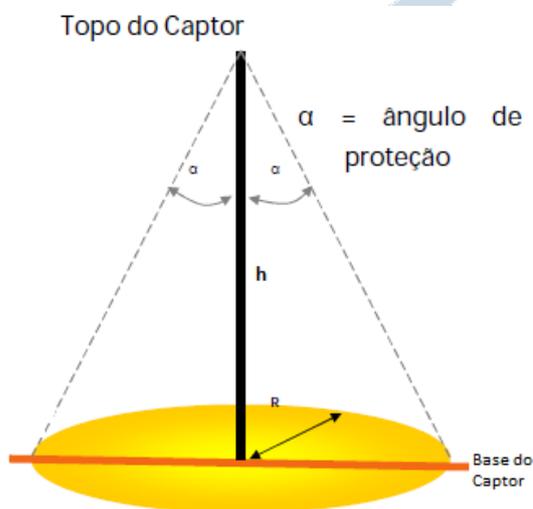
A teoria de proteção consiste na rotação da tangente de um triângulo em torno de um eixo (geratriz), cujo ângulo de abertura é determinado pela Tabela 1 da NBR5419 (Tabela 13 neste documento), variando em função do nível de proteção da edificação e da altura da edificação.

Formado por um mastro galvanizado, suportes isoladores para o mastro, base de fixação e um condutor de descida que leva a descarga elétrica até a malha de aterramento.

Figura 55 – Método Franklin



Exemplo Método Franklin:



H = 30m – Nível III de proteção

Pela Tabela 1 da NBR5419:  $\alpha = 35^\circ$

$R = \text{Tg } 35^\circ \times 30\text{m}$

**R = 21m**

A proteção forma um cone.

Beirais, comeeiras, lajes, etc. devem estar dentro desse cone.

### ➔ MÉTODO DA GAIOLA DE FARADAY

O método consiste no lançamento de cabos horizontais sobre a cobertura da edificação, ou seja, é a utilização de condutores horizontais em forma de grade metálica, modulados de acordo com o nível de proteção. Este sistema funciona como uma blindagem eletrostática, tentando evitar que o raio consiga perfurar a blindagem e atinja a edificação e também reduzindo os campos elétricos dentro dela.

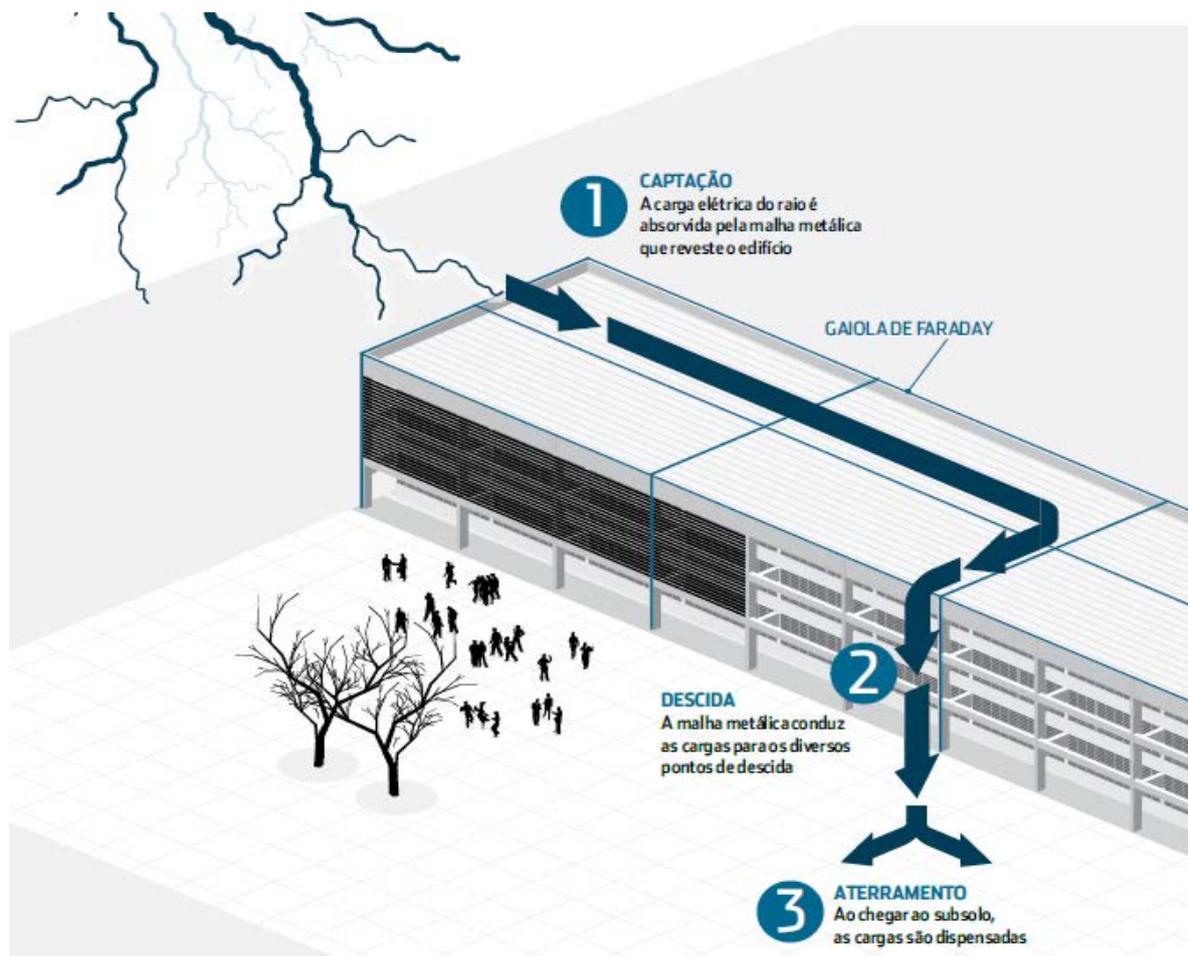


Figura 56 – Método Gaiola de Faraday

Este método é normalmente utilizado em estruturas de grande área e pouca altura. Mas a sua utilização é obrigatória, pela NBR5419, para edifícios acima de 60 metros.

A abertura da malha está ligada diretamente ao nível de proteção da blindagem.

As dimensões das malhas, recomendadas pela NBR5419, conforme o nível de proteção que estão na Tabela 12.

## ➔ MÉTODO ELETROGEOMÉTRICO

Também designado Método da Esfera Rolante ou Fictícia. Delimita o volume de proteção dos captadores do SPDA e seu posicionamento. O princípio é rolar uma esfera de raio  $R$  sobre a edificação e onde ela tocar deve-se instalar o captor. O volume onde ela não toca é a área de proteção.

Este método considera um decaimento em forma parabólica, que em ensaios realizados, mostrou ser a melhor forma de representar a área de proteção de um captor.

Os captadores podem ser constituídos de hastes, cabos ou de uma combinação de ambos.

É mais moderno, mais eficiente e menos custoso.

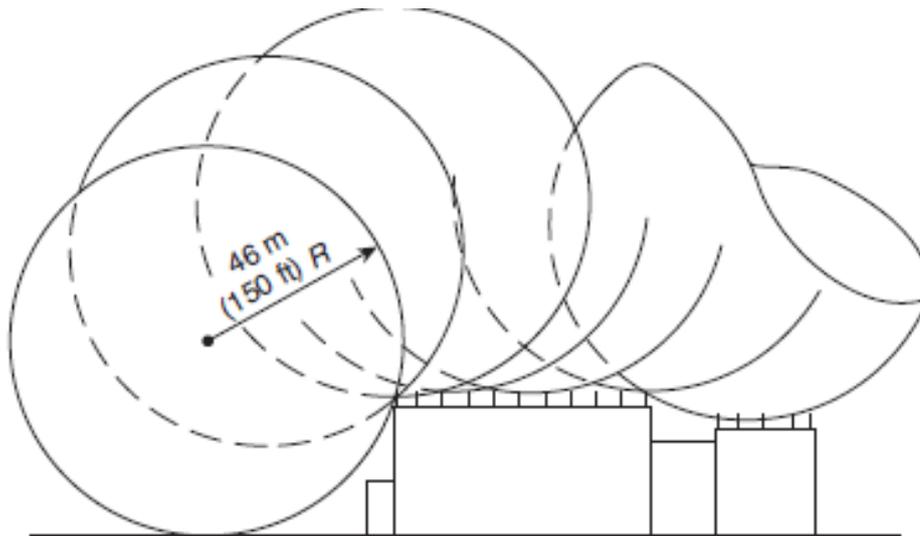


Figura 57 – Método Eletrogeométrico (Esfera Rolante)

Neste modelo a distância crítica (R) entre o ponto de partida do líder ascendente e a extremidade do líder descendente é o parâmetro utilizado para posicionar os captosres.

A aplicação deste modelo está delineada no Anexo C da norma NBR5419.

### 18.3. CLASSIFICAÇÃO DO SISTEMA DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

O anexo B da NBR5419 apresenta um método para determinar se um SPDA é, ou não, exigido, e qual o nível de proteção aplicável.

Para tal deve-se realizar uma avaliação que considere o risco de exposição, isto é, o risco da estrutura ser atingida pelo raio.

#### Avaliação do risco de exposição

A probabilidade de uma estrutura ser atingida por um raio em um ano é o produto da densidade de descargas atmosféricas para a terra pela área de exposição equivalente da estrutura. Disso temos que a frequência anual previsível de descargas atmosféricas sobre uma estrutura pode ser calculada por:

$$N_d = N_g * A_e * 10^{-6}$$

Onde:

**$N_d$** : frequência anual previsível de descargas atmosféricas

**$N_g$** : número de raios por quilômetros quadrados por ano

**$A_e$** : área de exposição

A densidade de descargas atmosféricas para a terra ( $N_g$ ) é o número de raios para a terra por quilômetros quadrados por ano. O valor de ( $N_g$ ) para uma dada região pode ser estimado pela equação:

$$N_g = 0,04 * T_d^{1,25} \text{ [raios/km}^2\text{/ano]}$$

Onde:

$N_g$ : número de raios por quilômetros quadrados por ano

$T_d$ : número de dias de trovoadas por ano, obtido de mapas isocerânicos, conforme a figura 57.

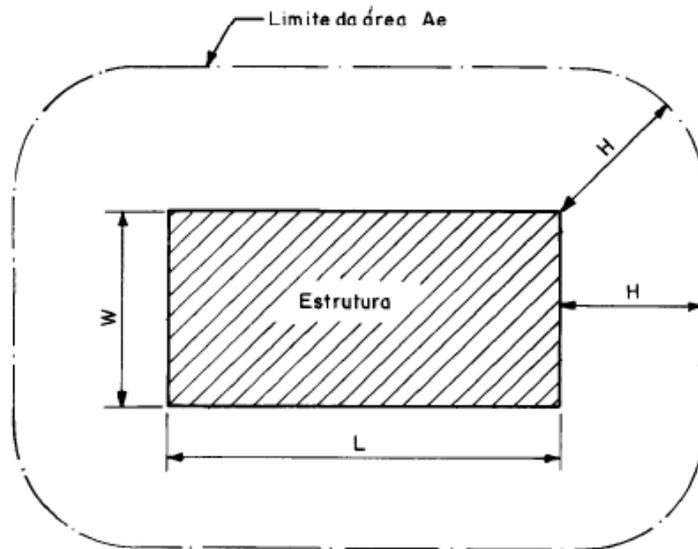


Figura 58 – Mapas Isocerânicos do Brasil

A área de exposição equivalente ( $A_e$ ) é a área, em metros quadrados, do plano da estrutura prolongada em todas as direções, de modo a levar em conta sua altura. Os limites da área de exposição equivalente estão afastados do perímetro da estrutura por uma distância correspondente à altura da estrutura no ponto considerado. Assim, para uma estrutura retangular simples de comprimento  $L$ , largura  $W$  e altura  $H$ , a área de exposição equivalente tem um comprimento  $L$

+2H e uma largura  $W + 2H$ , com quatro cantos arredondados formados por segmentos de círculo de raio  $H$ , em metros. Então, conforme a figura 58 resulta:

$$A_e = LW + 2LH + 2WH + \pi.H^2 \text{ [m}^2\text{]}$$



Onde:

$L$  = comprimento da estrutura;

$W$  = largura da estrutura;

$H$  = altura da estrutura.

Figura 59 – Área de Exposição ( $A_e$ )

## Frequência admissível de danos ( $N_c$ )

Para a frequência média anual admissível de danos  $N_c$ , valem os seguintes limites, reconhecidos internacionalmente:

- Riscos maiores que  $10^{-3}$  (isto é, 1 em 1.000) por ano são considerados inaceitáveis;
- Riscos menores que  $10^{-5}$  (isto é, 1 em 100.000) por ano são, em geral, considerados aceitáveis.

## Avaliação geral de risco

Depois de determinado o valor de  $N_d$ , que é o número provável de raios que anualmente atingem uma estrutura, o passo seguinte é a aplicação dos **fatores de ponderação** indicados nas **tabelas B.1 a B.5** (Anexo B – NBR5419).

Multiplica-se o valor de  $N_d$  pelos fatores pertinentes e compara-se o resultado com a frequência admissível de danos  $N_c$  conforme o seguinte critério:

- Se  $N'_d \geq 10^{-3}$ , a estrutura requer um SPDA;
- Se  $10^{-3} > N'_d > 10^{-5}$ , a conveniência de um SPDA deve ser decidida por acordo entre projetista e usuário;
- Se  $N'_d \leq 10^{-5}$ , a estrutura dispensa um SPDA.

Onde:  $N'_d = N_d * \text{Fator A} * \text{Fator B} * \text{Fator C} * \text{Fator D} * \text{Fator E}$  (Valor ponderado do risco anual de descarga atmosférica).

A partir do valor ponderado do risco anual de descarga atmosférica ( $N'_d$ ) e o nível de proteção requisitado para estrutura é possível obter a eficiência necessária da blindagem e o nível de proteção correspondente através das curvas demonstradas na figura abaixo.

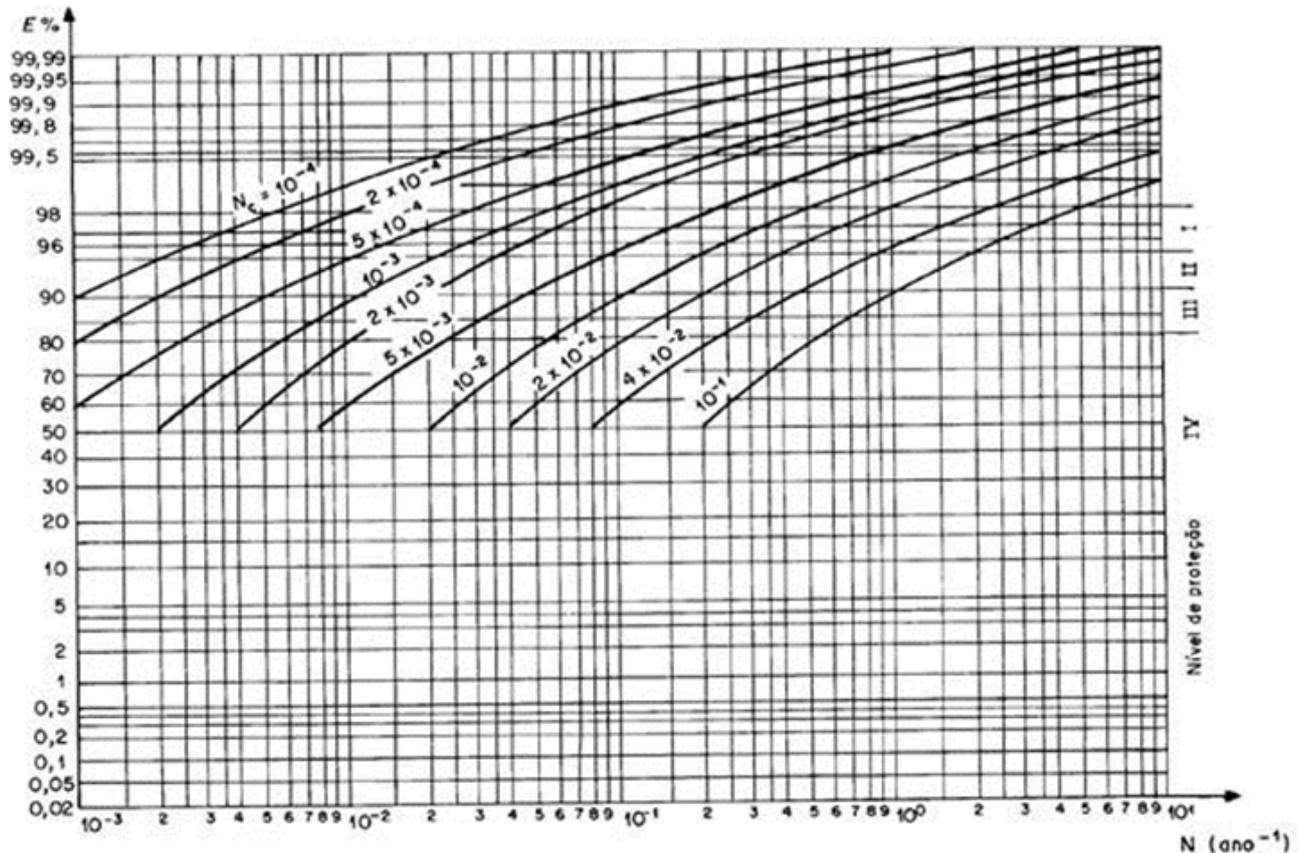


Figura 60 – Eficiência (E%) do SPDA em função de  $N'_d$  e  $N_c$  (NBR5419)

Dos valores verificados através das curvas demonstradas na figura 59 pode-se montar o quadro abaixo:

Nível de Proteção	Característica	Eficiência
I	Nível máximo de proteção	98% a 95%
II	Nível médio de proteção	95% a 90%
III	Nível moderado de proteção	90% a 80%
IV	Nível normal de proteção	Abaixo de 80%

## 18.4. EXEMPLO DE CÁLCULO DE SPDA

Dados: Estrutura Retangular: L=100m W=20m H=10m

$T_d$  = Número de dias de trovoadas por ano = 37

Hotel, construído em alvenaria, cercado por edificações de maior porte, ao nível do mar.

## Passo 1

$$N_g = 0,04 * T_d^{1,25}$$

$$N_g(37) = 3,65 \text{ descargas por km}^2/\text{ano}$$

$$A_e = LW + 2LH + 2WH + \pi H^2$$

$$A_e = 4.431 \text{m}^2$$

$$N_d = N_g * A_e * 10^{-6}$$

$$N_d = 16,2 * 10^{-3} \text{ descargas por ano}$$

## Passo 2

$$N'_d = N_d * \text{Fator A} * \text{Fator B} * \text{Fator C} * \text{Fator D} * \text{Fator E}$$

Tabelas B1 a B5 da NBR5419

$$\text{Fator A} = 1,2$$

$$\text{Fator B} = 1,0$$

$$\text{Fator C} = 0,3$$

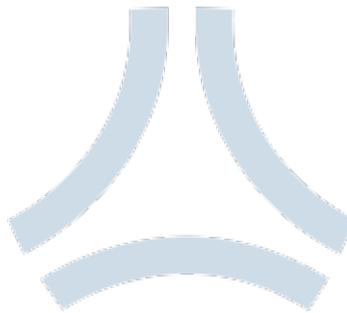
$$\text{Fator D} = 0,4$$

$$\text{Fator E} = 1,7$$

$$N'_d = 16,2 * 10^{-3} * 1,2 * 1 * 0,3 * 0,4 * 1,7$$

$$N'_d = 0,0039 = 3,9 * 10^{-3}$$

$$N'_d > 10^{-3} \text{ (Obrigatório Sistema de Proteção)}$$



## Passo 3

Nível de proteção requerido II (escola, museus, etc.)

Eficiência necessária: Figura 59

$$N_d = 16,2 * 10^{-3} = 1,62 * 10^{-2}$$

$$N'_d = 3,9 * 10^{-3}$$

Nível de proteção = II

Eficiência = 96% (Acima do requerido para Nível II)

## 19. VERIFICAÇÃO DE CONTINUIDADE DA MALHA ESTRUTURAL – NBR5419

Ensaio de medição são fundamentais para se comprovar a eficácia de Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) estruturais, garantindo assim a continuidade elétrica em pilares, vigas e lajes.

A ideia de se utilizar a ferragem do concreto armado com a finalidade de condução e dispersão para corrente de raios em descidas foi consequência do uso dessas mesmas estruturas metálicas em sistemas de aterramentos.

De acordo com a **NBR5419** – Anexo D – Uso opcional de ferragem específica em estruturas de concreto armado, temos:

### **D.1 Como aterramento das fundações**

**D.1.1** Para as edificações novas, em concreto armado, onde a estrutura ainda não foi iniciada, deve ser instalado um condutor adicional de aço comum ou galvanizado a fogo, dentro da estrutura, de modo a garantir a continuidade desde as fundações até o topo do prédio.

**D.1.2** O condutor adicional deverá ser instalado dentro das fundações, atravessar os blocos de fundação e entrar nos pilares de concreto.

**D.1.3** Os condutores deverão ser emendados por conectores de aperto, solda elétrica ou exotérmica, desde que executada de forma duradoura, obedecendo (quando amarradas com arame de aço recozido ou conectores) a um trespasse de 20 diâmetros da barra

**D.1.4** Em fundação direta (pouco profunda), os condutores adicionais devem ser instalados nas vigas baldrame de modo a melhorar a condição de drenagem e o contato com o solo.

### **D.2 Como descidas**

**D.2.1** Em cada pilar estrutural deverá ser instalado um condutor adicional (cabo de aço galvanizado, barra chata ou redonda de aço) paralelamente às barras estruturais e amarrado com arame nos cruzamentos com os estribos para assegurar a equipotencialização.

**D.2.2** Nos locais onde haja deslocamento da posição dos pilares, ao mudar de laje, bem como quando houver redução da seção dos pilares, o condutor adicional deverá ser encaminhado de modo a garantir a continuidade elétrica.

**D.2.3** Armaduras de aço dos pilares, lajes e vigas devem ter cerca de 50% de seus cruzamentos firmemente amarrados com arame recozido ou soldados. As barras horizontais das vigas externas devem ser soldadas, ou sobrepostas por no mínimo 20 vezes o seu diâmetro, firmemente amarradas com arame recozido, de forma a garantir a equalização de potenciais da estrutura.

**NOTA** – Este subsistema deverá ser integrado ao subsistema captor.

O uso das ferragens da fundação também diminui as variações de tensão durante a dissipação das correntes associadas às descargas atmosféricas para o solo, com consequente diminuição das diferenças de potencial de passo e de toque, além de reduzir a impedância do sistema de aterramento e facilitar muito o cumprimento dos preceitos de equipotencialização das instalações elétricas (frequência industrial), em concordância com a NBR 5410.

Com o uso das armações do concreto destes elementos, diminuem-se os campos eletromagnéticos internos à edificação, reduzindo as forças eletromotrizes induzidas nos circuitos ali existentes, e, em consequência, as interferências prejudiciais a pessoas e equipamentos eletrônicos sensíveis, como os de tecnologia da informação.



Figura 61 – Conexão de cabo de aterramento de 50 mm<sup>2</sup> com armadura de baldrame, utilizando solda exotérmica.



Figura 62 – Armaduras das fundações preparadas para a interligação das ferragens dos pilares



Figura 63 – Sistema de captação via armaduras e malha de referência de sinal (MRS) interligada com as ferragens do piso, para gerar um plano de referência de terra o mais equalizado possível.



Figura 64 – Solda entre ferragem vertical, horizontal e a malha de ferro da laje.

O Anexo E (normativo) – Ensaio de continuidade de armaduras – da **NBR5419** descreve a metodologia de ensaio de armaduras para verificação da continuidade elétrica das ferragens de um edifício, possibilitando assim o uso desta ferragem como parte integrante do sistema de proteção. Sendo assim, temos resumidamente:

*O ensaio de continuidade das armaduras deve ser realizado com equipamento capaz de injetar corrente mínima de **1A** entre os pontos extremos da armadura (entre a parte superior e a parte inferior da estrutura, procedendo a diversas medições entre pontos diferentes), medindo simultaneamente esta corrente e a queda de tensão entre os dois pontos. **A resistência resultante da divisão do valor de tensão pelo valor de corrente deve resultar menor ou igual a  $1\Omega$  para que a continuidade das armaduras seja considerada aceitável.** A medição deve ser realizada utilizando a configuração de quatro fios, sendo dois para corrente e dois para potencial.*

## **NBR5419**

*E.4 A medição pode ser feita diretamente com o uso de um mili ou microhmímetro, capaz de fornecer corrente da ordem de 10A, sendo admissível o valor mínimo de 1A. Não é admissível a utilização de multímetro.*



## CONEXÕES EXOTÉRMICAS

### CABO A CABO



### BARRA A BARRA



### CABO A TRILHO



### CABO A HASTE



### CABO A FERRO DE CONSTRUÇÃO



### CABO A CHAPA DE AÇO



### CABO A CHAPA DE COBRE



Fonte: <http://www.gruposul.com.br/catalogo-de-produtos-esopar-conexao-definitiva-solda-exotermica.html>

Figura 65 – Possibilidades de realização de Solda Exotérmica.

Em instalações elétricas é necessário o correto dimensionamento de seus componentes, bem como coordenar as proteções para que, no caso de um defeito, somente o trecho afetado seja desligado, num tempo suficiente que mantenha a integridade e segurança da instalação e seus componentes (cabos, disjuntores, TCs, TPs, etc.), respeitando-se assim as normas vigentes brasileiras e/ou internacionais.

Para que a condição acima seja atendida é necessário realizar o Estudo de Curto-Circuito e Seletividade para conhecermos os níveis de curto-circuito nos diversos barramentos da instalação, parâmetros e ajustes dos dispositivos de proteção que compõe o sistema, bem como se os componentes do sistema atendem as características elétricas e dinâmicas exigidas pela instalação.

## 20.1. CURTO CIRCUITO E EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO

Para a especificação dos equipamentos de proteção de um sistema elétrico, a determinação correta da corrente de curto circuito é tão importante quanto a determinação da corrente nominal. Para isto, o tamanho deste sistema, deve ser avaliado cuidadosamente, para a definição do valor da corrente de curto circuito. Os disjuntores e fusíveis devem ser dimensionados dentro de sua adequada capacidade de interrupção, permitindo a sua abertura segura para a máxima corrente de curto circuito que poderá fluir dentro do sistema. Esta corrente é diretamente proporcional ao tamanho do sistema, sua capacidade de fornecer energia, e não tem relação com a carga do ramal a ser protegido.

Em outras palavras, a definição das características dos equipamentos depende das condições em que ocorre o curto circuito, e da variação da corrente com o tempo. A intensidade de curto circuito deverá ser calculada nos diferentes níveis da instalação, para poder-se determinar as características do equipamento que deverá suportar ou cortar esta corrente de defeito. Tais equipamentos estão divididos em média/alta e baixa tensão, ou seja, acima ou abaixo de 1kV.

Principais equipamentos utilizados na proteção:

- a. Disjuntores – média/alta e baixa tensão
- b. Fusíveis - média/alta e baixa tensão

O fluxograma da figura 64 mostra a abordagem que conduz às diferentes correntes de curto circuito e os parâmetros resultantes para os diferentes dispositivos de proteção.

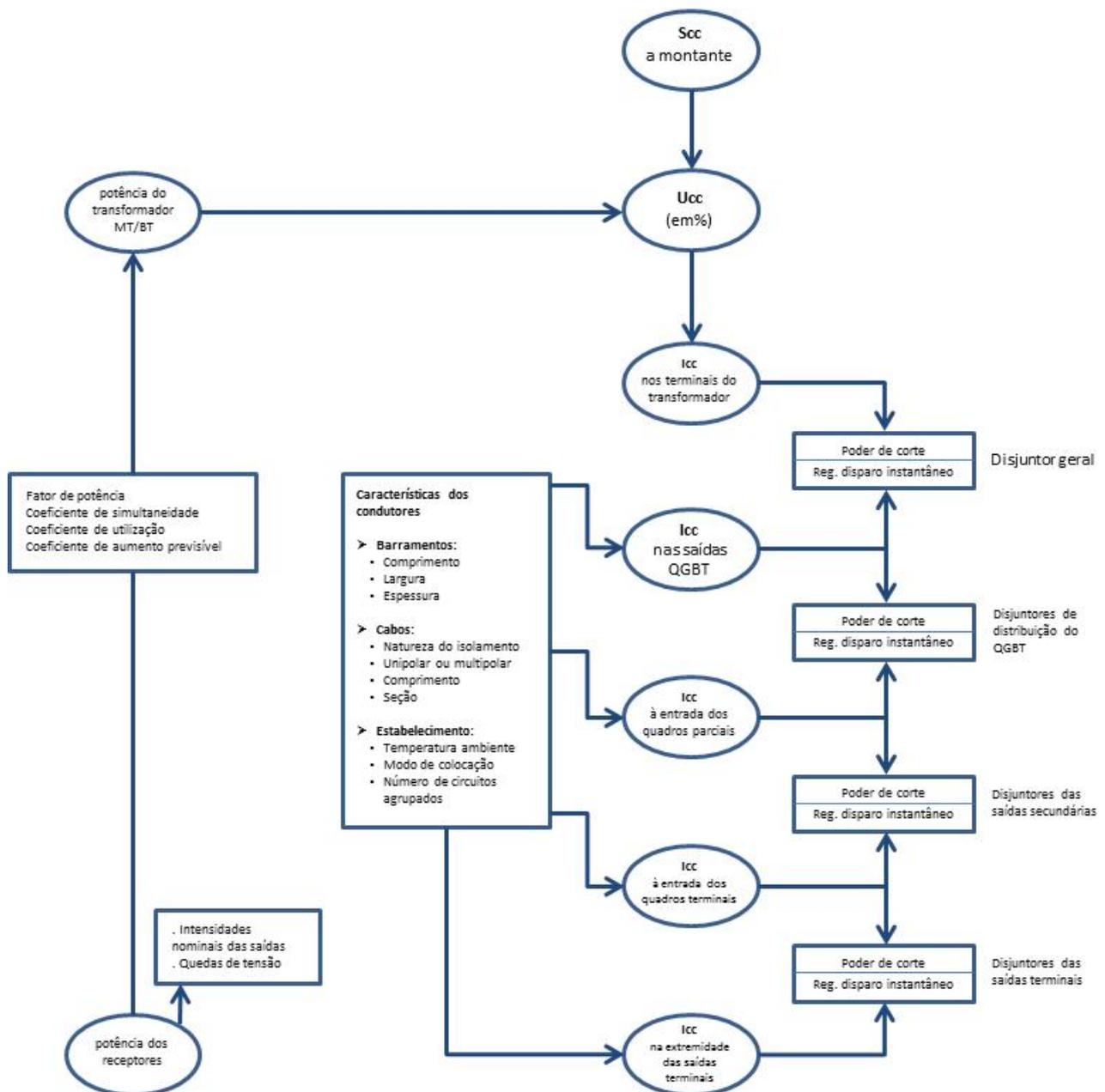


Figura 66 - Procedimento de cálculo de  $I_{cc}$  para a concepção de uma instalação elétrica

Para escolher e regular convenientemente as proteções, devem ser conhecidos dois valores da corrente de curto-circuito:

- Corrente máxima de curto-circuito, que determina:
  - Poder de Corte – PdC – dos disjuntores,
  - Valor de crista da corrente dos aparelhos,
  - Robustez eletrodinâmica das canalizações e da aparelhagem.

Corresponde a um curto-circuito na proximidade imediata dos terminais a jusante do dispositivo de proteção. Deve ser calculada com uma boa precisão (margem de segurança).

- ➔ Corrente mínima de curto-circuito, indispensável para a escolha da curva de disparo dos disjuntores e dos fusíveis, em particular quando:
  - O comprimento dos cabos é importante e/ou a fonte é relativamente impedante (geradores – onduladores);
  - A proteção das pessoas está apoiada no funcionamento dos disjuntores ou dos fusíveis, o que é essencialmente o caso nos esquemas de ligação à terra do neutro TN ou IT.

Os curtos circuitos são principalmente caracterizados pela:

- ➔ Duração: auto extingüível, transitório ou estacionário;
- ➔ Origem:
  - Mecânica - ruptura de condutores, contato acidental entre dois condutores;
  - Sobretensões elétricas, de origem interna ou atmosférica,
  - Ou devido a uma degradação do isolamento, consequência de calor, humidade ou ambiente corrosivo;
- ➔ Localização: interna ou externa a uma máquina ou a um quadro elétrico.

Em todos os casos, qualquer que seja a **corrente de curto circuito** (da mínima à máxima), a proteção deverá eliminar o curto circuito num tempo compatível com a solitação térmica que o cabo protegido pode suportar.

Os curtos circuitos podem ser:

- Fase-neutro;
- Monofásicos (fase-terra): 80 % dos casos;
- Bifásicos (fase-fase): 15 % dos casos. Estes defeitos degeneram frequentemente em defeitos trifásicos;
- Trifásicos: apenas 5 % de origem.

## 20.2. CÁLCULO DA CORRENTE DE CURTO CIRCUITO

As correntes de curto circuito dependem do tipo de curto circuito a considerar. Assim temos:

- ➔ **Curto circuito trifásico** - Se o curto circuito envolve as três fases a corrente de curto circuito é dada por:

$$I_{cc3\phi} = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot Z_{cc}} = \frac{U_o}{Z_{cc}}$$

Onde:

$U_c$  → é a tensão composta, correspondente à tensão ou do transformador em vazio que é considerada 3 a 5% superior à tensão do transformador em carga;

$$Z_{cc} = (\sum R)^2 + (\sum X)^2$$

NOTA: O cálculo ou determinação da corrente de curto circuito trifásico ( $I_{cc3\phi}$ ) é essencial para a seleção do equipamento no que diz respeito ao poder de corte, valor de crista e a esforços eletrodinâmicos.

- ➔ **Curto circuito Fase-Fase sem envolver a terra** - É um defeito entre duas fases, e neste caso a tensão a considerar é a tensão composta  $U_c$ . Assim  $I_{cc2\phi}$  é menor que a corrente do caso anterior.

$$I_{cc2\phi} = \frac{U_c}{\sqrt{2} \cdot Z_{cc}} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\phi}}{\sqrt{2} \cdot Z_{cc}} = 0,86 \cdot I_{cc3\phi}$$

- ➔ **Curto circuito fase-neutro sem envolver a terra** - Este curto-circuito é um defeito entre uma fase e o neutro, logo, a tensão a considerar é a tensão simples e a corrente  $I_{cc1\phi}$  é dada por:

$$I_{cc1\phi} = \frac{U_{\phi}}{Z_{cc} + Z_{LN}}$$

NOTA: Em certos casos especiais de defeitos fase-neutro, a impedância homopolar das fontes é menor que  $Z_{cc}$  (por exemplo: nos terminais de um transformador estrela-zigzag ou gerador em regime subtransitório). Neste caso a corrente de defeito fase-neutro pode ser maior que num curto-circuito trifásico.

- ➔ **Curto circuito fase-terra** - Este tipo de defeito põe em jogo a impedância homopolar  $Z(0)$ . Exceto quando máquinas rotativas estão envolvidas (impedâncias homopolares baixas), a corrente de curto circuito  $I_{cc0}$  é menor que a trifásica.

O cálculo de  $I_{cc0}$  torna-se necessário num sistema de neutro a terra (TT), quando se pretende determinar ou escolher os dispositivos de proteção em BT ou ajustar os patamares de disparo dos dispositivos homopolares em AT/MT.

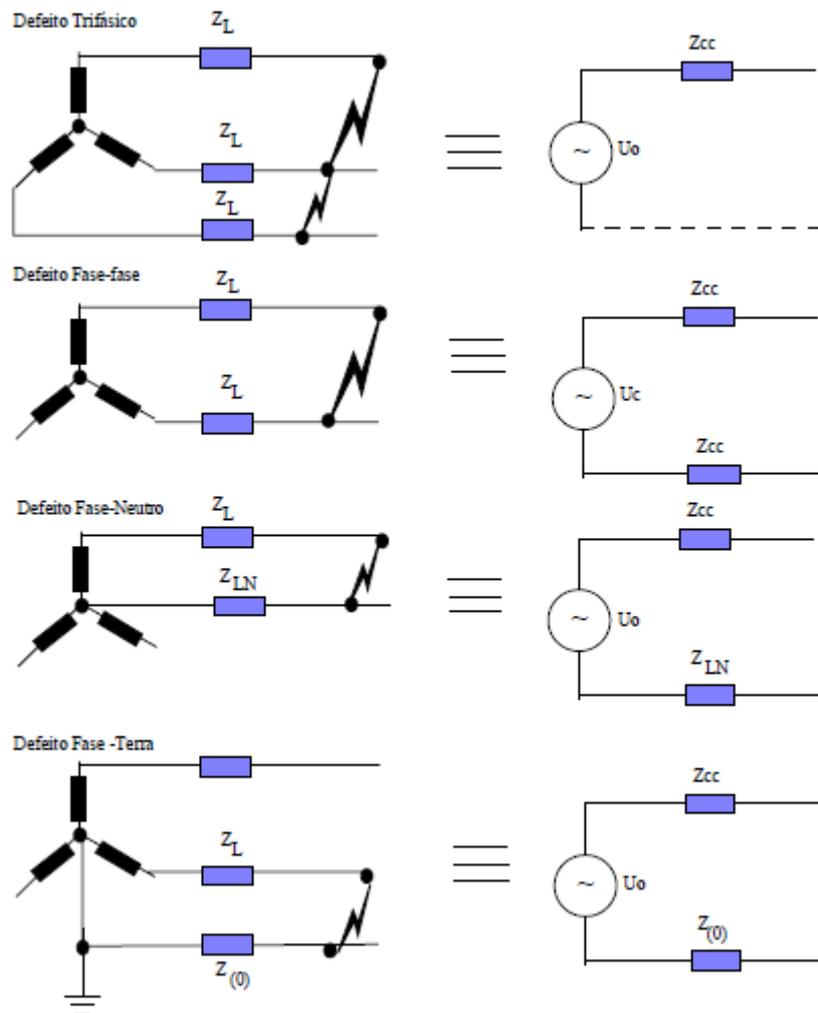


Figura 67 - Tipos de defeitos, impedâncias e tensões a se considerar na determinação da corrente de curto circuito.

## IMPORTANTE

A intenção dos itens 20.1 e 20.2 foi a de dar uma pequena demonstração da necessidade do Estudo das Correntes de Curto Circuito para Instalações Elétricas. Isto não é tudo – deve ser aprofundado para um estudo completo e cumprimento da NR 10.

A simulação numérica de curto circuito em determinados pontos da rede tem grande importância no planejamento, projeto e exploração das instalações e redes, ao permitir antecipar as consequências dos defeitos simulados. Esse conhecimento possibilita mitigar essas consequências, com a mínima perturbação possível no sistema. Isto inclui, não só a colocação e regulagem de dispositivos de proteção que possam interromper os circuitos defeituosos, mas também garantir que todos os componentes da rede percorridos pelas correntes de defeito possam suportar os seus efeitos enquanto estes persistirem.

De forma geral, calculam-se as correntes de curto circuito com os seguintes objetivos:

- Determinação do poder de corte de disjuntores e fusíveis;
- Previsão dos esforços térmicos e eletrodinâmicos provocados pela passagem da corrente;
- Regulagem dos dispositivos de proteção.

## 20.3. SELETIVIDADE E INTERVALOS DE COORDENAÇÃO

### ➔ SELETIVIDADE

#### NBR IEC 60947-2

##### **2.17.2 Seletividade Total:**

*Seletividade de sobrecorrentes onde, na presença de dois dispositivos de proteção de sobrecorrentes em série, o dispositivo de proteção no lado da carga efetua a proteção sem causar a operação do outro dispositivo.*

##### **2.17.3 Seletividade parcial:**

*Seletividade por sobrecorrentes onde, na presença de dois dispositivos de proteção de sobrecorrentes em série, o dispositivo de proteção no lado da carga efetua a proteção até um dado nível de sobrecorrente, sem causar a operação do outro dispositivo.*

O objetivo maior de um estudo de seletividade é determinar os ajustes dos dispositivos de proteção, de forma que, na ocorrência de um curto-circuito, opere apenas o dispositivo mais próximo da falta, isolando a menor porção do sistema elétrico, no menor tempo possível e ainda protegendo os equipamentos e o sistema.

Existem quatro tipos de Seletividade que podem ser adotadas:

#### **1. Seletividade Amperimétrica**

A seletividade amperimétrica é aquela que é utilizada quando existe uma impedância muito grande entre os pontos em que se está fazendo a seletividade. Neste caso, a corrente de falta vista pelo dispositivo de proteção à montante é muito maior que aquela vista pelo dispositivo de proteção instalado à jusante. Enquadram-se aqui os dispositivos instantâneos instalados no primário de transformadores.

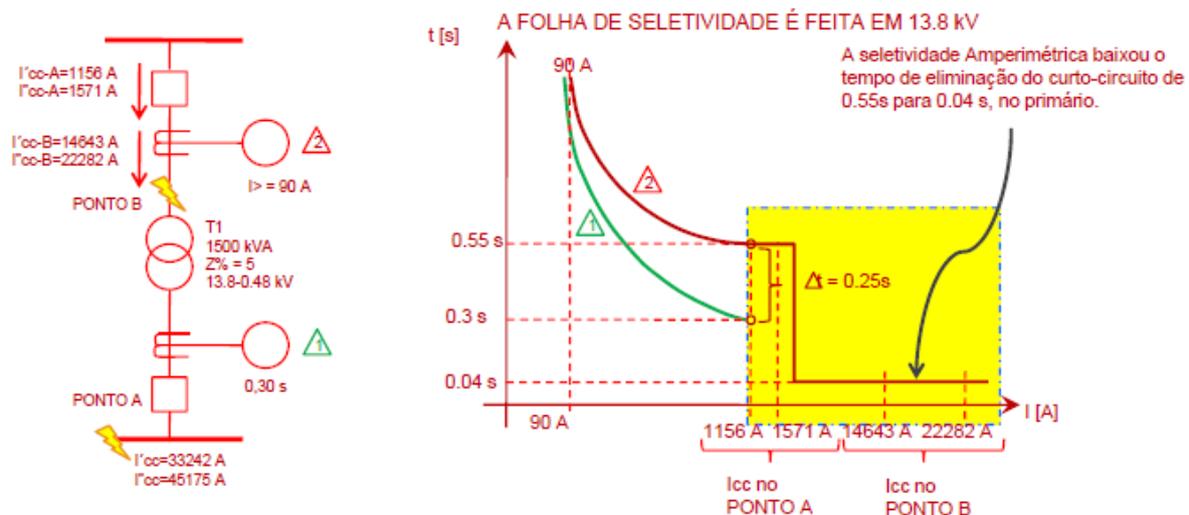


Figura 68 – Exemplo de Seletividade Amperimétrica.

## 2. Seletividade Cronológica

A seletividade cronológica é aquela realizada aplicando intervalos de tempo entre os dispositivos de proteção situados à jusante e à montante, de forma que se garanta que eles irão operar de forma seletiva e coordenada.

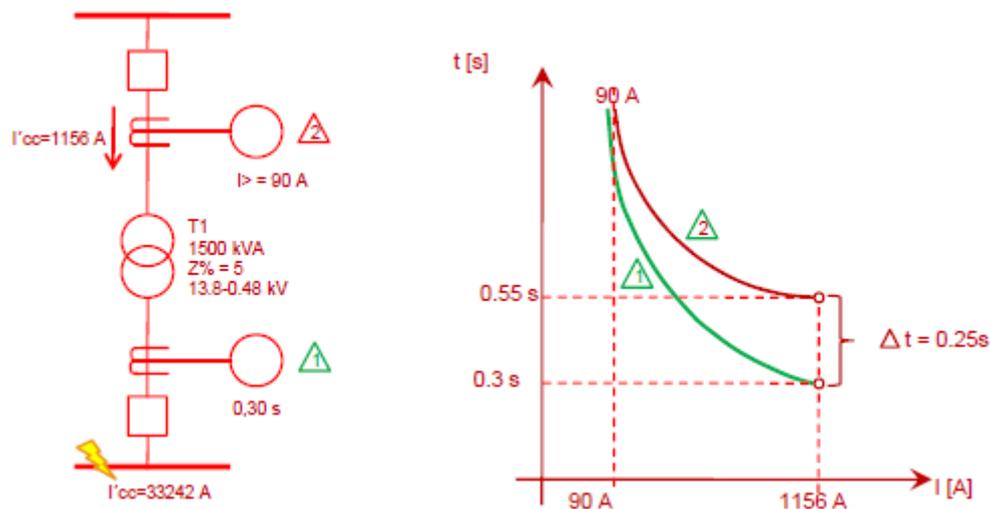


Figura 69 – Exemplo de Seletividade Cronológica.

## 3. Seletividade Lógica

A seletividade lógica é aplicada por meio de relés digitais que permitem que as unidades situadas mais próximas da “falta” possam eliminá-la em um tempo muito pequeno, normalmente entre 50 ms e 100 ms como mostra a Figura 68. Em alguns casos não é possível utilizar temporizações entre 50 ms e 100 ms, uma vez que podem existir fusíveis à jusante e, assim, deve-se permitir que eles operem antes e o tempo total para extinção do arco pode chegar até a ordem de 200 ms. Assim, quando ocorre este fato, o ajuste da unidade de sobrecorrente do relé deve ser de 250 ms. Neste caso, a temporização dos relés à montante será de 100 ms.

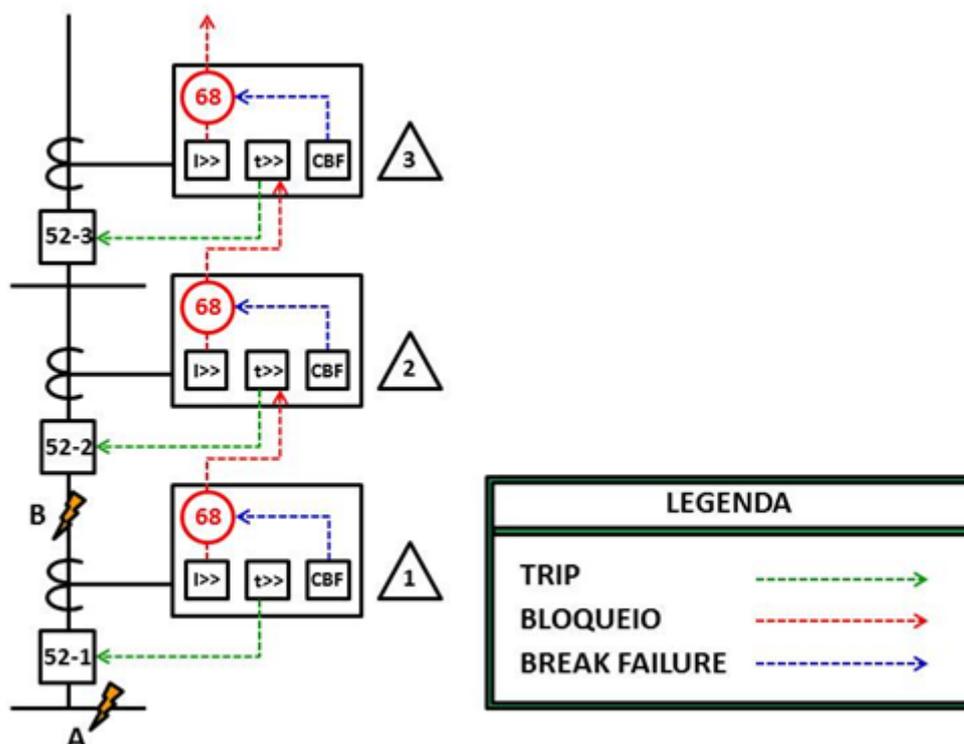


Figura 70 – Exemplo de Seletividade Lógica – atuação do relé de 1º nível.

A explicação da Figura 68 é a seguinte:

- As funções I>> são definidas para não dar Trip por Pick up;
- Para um curto-circuito no ponto A, todos os relés 1, 2 e 3 enxergam a falta;
- A unidade I>> é então ativada e envia o bloqueio (função ANSI 68) para a unidade t>> do dispositivo imediatamente à montante;
- Todos os relés 1, 2 e 3 iniciam a contagem do tempo, porém, apenas o relé 1 opera, visto que os demais estão bloqueados, embora já estejam operados;
- A função t>> do relé deve operar o disjuntor correspondente, no caso, o 52-1;
- Depois de contado o tempo ajustado em CBF (Circuit Breaker Failure – normalmente em torno de 200 ms), e o disjuntor 52-1 não abriu, o bloqueio de t>> do relé 1 é retirado, habilitando a função t>> a atuar e enviar o sinal de trip sem retardo ao disjuntor 52-2, visto que o relé já estava operado;
- Caso o disjuntor 52-2 falhe, a situação descrita em (f) se repete, agora para o disjuntor 52-3.

#### 4. Seletividade Convencional

A Seletividade Convencional consiste da aplicação dos recursos da Seletividade Cronológica e/ou da Amperimétrica.

#### ➔ INTERVALOS DE COORDENAÇÃO

Chama-se intervalo de coordenação o intervalo de tempo que garante que a proteção mais próxima da falta irá operar primeiro e que a proteção situada imediatamente à montante não irá operar, a menos que a proteção mais próxima falhe.

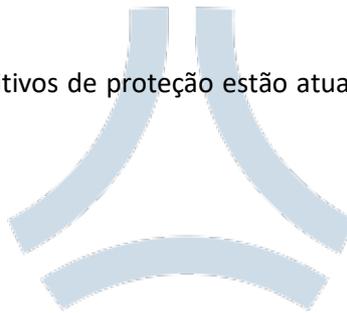
Com o advento das caixas de calibração de relés, que garantem o tempo de operação dos relés, pode-se baixar o valor do intervalo de coordenação.

## NOTA IMPORTANTE SOBRE A PARAMETRIZAÇÃO DE RELÉS

Esta parametrização tem o objetivo de inserir adequadamente os ajustes de proteção definidos com base no estudo de seletividade e de definição dos parâmetros dos relés.

Somente a parametrização dos relés não dá garantia de uma operação correta dos dispositivos de proteção. É necessária a realização de testes e calibração dos relés com uma fonte de corrente e/ou tensão nos dispositivos de proteção.

Assim é possível verificar se os dispositivos de proteção estão atuando conforme o estudo de seletividade realizado.



## 21. ESTUDO DE CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS

De acordo com a **NR 10**, o Estudo de Classificação de Áreas deve ser feito para definir as áreas (regiões) onde não poderão existir fontes de ignição (faíscas e/ou pontos com temperatura maior que a temperatura de ignição da atmosfera potencialmente explosiva), independentemente de existirem ou não.

A obrigatoriedade do Estudo de Classificação de Áreas definida pela **NR 10** está assentada nos itens **10.2.4.f**, **10.8.8.4**, **10.9.2**, os quais determinam que a instalação e equipamentos estejam adequados à Classificação de Áreas. Se não vejamos:

**10.2.4 Os estabelecimentos com carga instalada superior a 75 kW devem constituir e manter o Prontuário de Instalações Elétricas, contendo, além do disposto no subitem 10.2.3, no mínimo:**

## *f) certificações dos equipamentos e materiais elétricos em áreas classificadas;*

De acordo com o item 10.9.2 da **NR 10**, “os materiais, peças, dispositivos, equipamentos e sistemas destinados à **aplicação em instalações elétricas em ambientes com atmosferas potencialmente explosivas** devem ser avaliados quanto à sua conformidade, no âmbito do Sistema Brasileiro de Certificação”.

Também deve fazer parte do prontuário uma cópia dos certificados de conformidade emitidos por OCC – Organismo de Certificação Credenciado.

### *10.8.8.4 Os trabalhos em áreas classificadas devem ser precedidos de treinamento específico de acordo com risco envolvido.*

**Áreas Classificadas** são áreas cuja atmosfera é potencialmente explosiva, pela estocagem ou manipulação de produtos com potencial de explosão, neste caso existe um risco adicional que é a explosividade que necessita ser controlada. Este item determina que os profissionais que vão intervir em instalações elétricas nestas áreas devam receber um treinamento específico, que lhes permita identificar e controlar os riscos envolvidos nestas áreas, para que a execução dos trabalhos seja feita de forma garantir a segurança de todos os trabalhadores e das demais pessoas presentes na área.

### *10.9.2 Os materiais, peças, dispositivos, equipamentos e sistemas destinados à aplicação em instalações elétricas de ambientes com atmosferas potencialmente explosivas devem ser avaliados quanto à sua conformidade, no âmbito do Sistema Brasileiro de Certificação.*

A avaliação de conformidade no âmbito do Sistema Brasileiro de Avaliação de Conformidade (que substituiu o Sistema Brasileiro de Certificação) é regulamentada pela Portaria n.º 83, de 03 de abril de 2006 do Inmetro. Esta portaria apresenta os requisitos para que o projeto, a aquisição de materiais, a construção, **a montagem e o condicionamento das instalações e equipamentos elétricos a serem utilizados em atmosferas potencialmente explosivas**, nas condições de gases e vapores inflamáveis, sejam realizados de modo a atingir o nível de segurança adequado à preservação da vida, de bens e do meio ambiente.

## **21.1. NORMA NBR17505 – ARMAZENAMENTO DE LÍQUIDOS COMBUSTÍVEIS E INFLAMÁVEIS – PARTE6 – INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS**

A Norma NBR17505 descreve:

### **3 Requisitos Gerais**

*3.1 Qualquer equipamento elétrico a ser utilizado em atmosferas potencialmente explosivas (áreas classificadas) deve atender às Normas Brasileiras aplicáveis e não deve constituir em fontes de ignição para os vapores inflamáveis, que possam estar presentes sob condições normais de operações ou durante derrames de produtos.*

*3.2 Todos os equipamentos e instalações elétricas, bem como seus serviços de manutenção, devem estar de acordo com a Norma Regulamentadora NR 10 e com as Normas Brasileiras pertinentes.*

*Para os efeitos desta parte da ABNT NBR17505, considera-se uma fonte de ignição qualquer corrente gerada igual ou superior a 20 mA.*

*3.3 A elaboração de projetos e a montagem de instalações de armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis devem no mínimo atender às ABNT NBR5410, ABNT NBR5418, ABNT NBR 5419, ABNT NBR8602, ABNT NBR13786, ABNT NBR14639, ABNT NBR IEC 60050-826, ABNT NBR NM IEC60050-426 e ABNT NBR IEC 60079-10.*

#### *4 Classificação de Áreas*

*4.1 Para fins de definição das áreas classificadas deve-se adotar o estabelecido na tabela 1. (vide figura 69 na sequência deste item)*

*NOTA: Alternativamente, podem ser utilizados os critérios da NBR IEC 60079-10, desde que demonstrado em memória de cálculo demonstrativa.*



**Tabela 1 — Classificação de áreas elétricas**

Local	Zona	Extensão da área classificada
Equipamento de processamento de líquidos, situado no interior de edificações, instalado de acordo com a seção 4 da ABNT NBR 17505-5:2006 onde possam existir misturas inflamáveis vapor-ar, sob condições normais de operação	0	Toda a área associada ao equipamento, onde gases ou vapores inflamáveis estejam presentes continuamente ou por longos períodos de tempo
	1	Área compreendida num raio de 1,5 m (5 pés) a partir de qualquer borda do equipamento, estendendo-se em todas as direções
	2	Área compreendida entre os raios de 1,5 m e 2,5 m de qualquer borda do equipamento, estendendo-se em todas as direções; também o espaço situado até a elevação de 1,0 m acima do piso ou do nível de referência, compreendido entre os raios de 1,5 m e 7,5 m horizontalmente de qualquer borda do equipamento (ver nota 1)
Equipamento de processamento de líquidos, situado em local externo do tipo abordado na seção 4 da ABNT NBR 17505-5:2006, onde possam existir misturas inflamáveis vapor-ar sob condições de operação	0	Toda a área associada ao equipamento onde gases ou vapores inflamáveis estejam presentes continuamente ou por longos períodos de tempo
	1	Área compreendida num raio de 1,0 m a partir de qualquer borda do equipamento, estendendo-se em todas as direções
	2	Área compreendida entre os raios de 1,0 m e 2,5 m de qualquer borda de equipamento, estendendo-se em todas as direções, também o espaço situado até a elevação de 1,0 m acima do piso ou do nível de referência, compreendido entre os raios de 1,0 m e 3,0 m horizontalmente de qualquer borda do equipamento (ver nota 1)
Instalações de tanques de armazenamento no interior de edificações	1	Todos os equipamentos situados abaixo do nível do solo
	2	Qualquer equipamento situado no nível do solo ou acima deste
Tanques de superfície	0	Interior de tanque de teto fixo
	1	Área interna da bacia de contenção, circundada por diques, onde a altura do dique é maior que a distância do tanque até o dique, sendo esta maior que 50% da circunferência do tanque

Figura 71 – Representação da Tabela 1 da Norma NBR17505

## 21.2. NBR IEC 60079-10 – EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS PARA ATMOSFERAS EXPLOSIVAS – CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS

O endosso através da **NBR IEC 60079-10**:

### 2.1 - Atmosfera explosiva

*Mistura com o ar, sob condições atmosféricas, de substâncias inflamáveis na forma de gás, vapor, névoa ou poeira, na qual, após ignição, inicia-se uma combustão autossustentada através da mistura remanescente.*

### 2.3 - Área classificada

*Área na qual está presente uma atmosfera explosiva de gás, ou ainda é esperada estar presente, em quantidades tais que requeiram precauções especiais para a construção, instalação e uso de equipamentos.*

### 2.6 - Fonte de risco

*Ponto ou local no qual um gás, vapor ou líquido inflamável pode ser liberado para a atmosfera de modo a possibilitar a formação de uma atmosfera explosiva de gás.*

### 2.13 - Material inflamável (substância inflamável)

*Material que é inflamável por si mesmo ou que é capaz de produzir um gás, vapor ou névoa inflamável.*

### 2.14 - Líquido inflamável

*Líquido capaz de produzir vapor inflamável sob qualquer condição de operação previsível.*

### 2.17 - Ponto de fulgor

*Menor temperatura na qual um líquido, sob determinadas condições padronizadas, libera vapor em quantidade suficiente para formar uma mistura inflamável ar/vapor.*

### 2.20 - Temperatura de ignição de uma atmosfera explosiva de gás

*A mais baixa temperatura de uma superfície quente na qual, sob condições específicas, irá ocorrer a ignição de uma substância inflamável na forma de mistura de gás ou vapor com o ar.*

### 3.1 - Princípios de segurança

*Instalações onde os materiais inflamáveis são manuseados ou armazenados devem ser projetadas, operadas e mantidas de modo que qualquer liberação de material inflamável e, conseqüentemente, a extensão da área classificada seja a menor possível, seja em operação normal ou, por outro lado, com relação à frequência, duração e quantidade.*

## 3.2 - Objetivos da classificação de áreas

*A classificação de áreas é um método de análise e classificação do ambiente onde possa ocorrer uma atmosfera explosiva de gás, de modo a facilitar a seleção adequada e instalação de equipamentos a serem usados com segurança em tais ambientes, levando em conta os grupos de gás, assim como as respectivas classes de temperatura.*

## 21.3. NR-20 – LÍQUIDOS COMBUSTÍVEIS E INFLAMÁVEIS

A NR-20 é uma norma que regulamenta o armazenamento de Líquidos Combustíveis e Inflamáveis, a saber:

*20.2.13 O armazenamento de líquidos inflamáveis dentro do edifício só poderá ser feito com recipientes cuja capacidade máxima seja de 250 (duzentos e cinquenta) litros por recipiente.*

Este item não se refere à Classificação de Áreas e somente determina o volume máximo do recipiente utilizado para armazenar produtos combustíveis e inflamáveis.

*20.2.14 As salas de armazenamento interno deverão obedecer a:*

*c) deverá ter instalação elétrica apropriada à prova de explosão, conforme recomendações da Norma Regulamentadora - NR 10;*

Este item define que as salas de armazenamento terão que serem classificadas para armazenar produtos combustíveis e inflamáveis, classificação esta que permitirá a especificação dos equipamentos elétricos a serem utilizados na área classificada.

A **NR 10** define que os equipamentos elétricos para áreas classificadas deverão ter os Certificados de Aprovação anexados ao **PRONTUÁRIO DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS**.

## 21.4. SISTEMA DE SPRINKLERS EM SALAS TÉCNICAS

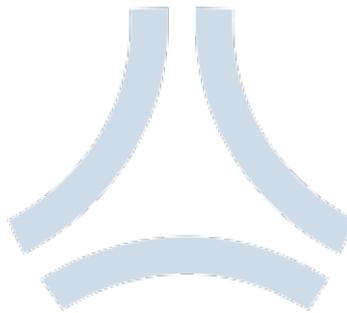
Como em uma edificação as Áreas Classificadas são salas técnicas e como tal assim o são por conterem uma atmosfera potencialmente explosiva juntamente com equipamentos elétricos, certamente não podem conter um Sistema de Sprinklers convencional, com água, que, por vazão por alarme ou por defeito, poderiam danificar objetos ou equipamentos existentes no local ou talvez provocar um dano maior.

Neste caso o sistema de combate a incêndio por gás carbônico (CO<sub>2</sub>), permite uma ação rápida e limpa por ser um método adequado de extinção de fogo com total isenção de resíduos. O gás carbônico (CO<sub>2</sub>) é também muito indicado em instalações elétricas (transformadores e geradores), em salas técnicas que contenham máquinas, galerias de arte, depósitos de inflamáveis, sala de baterias, coifas, dutos de exaustão, etc.

---

Tal sistemática pode também ser aplicada na extinção do fogo em que o risco está confinado, pela inundação total do local, além de combate a líquidos inflamáveis e graxas armazenados em recipientes abertos (tanques de tempera, coifas, etc.).

Várias NBRs abordam Sistemas de Proteção contra incêndio, mas nenhuma delas com especificidade em relação a que as salas técnicas não deveriam conter sprinklers a água. O bom senso e a experiência profissional nos levam a essa conclusão de retirada dos sprinklers a água das salas técnicas com equipamentos elétricos e aos cuidados específicos nas passagens de dutos de água junto aos eletrodutos das instalações elétricas. E isso por uma simples razão: **ELETRICIDADE NÃO COMBINA COM ÁGUA.**



## 22. DIMENSIONAMENTO DE CABOS E DUTOS

### 22.1. CABOS DE BAIXA TENSÃO

Conforme item 6.2.6.1.2 da NBR5410, o dimensionamento técnico de um circuito corresponde à aplicação dos diversos itens da Norma relativos à escolha da seção de um condutor e do seu respectivo dispositivo de proteção.

A seção dos condutores deve ser determinada de forma a que sejam atendidos, no mínimo, todos os seguintes critérios:

- A capacidade de condução de corrente dos condutores deve ser igual ou superior à corrente de projeto do circuito, incluindo as componentes harmônicas, afetada dos fatores de correção aplicáveis (ver 6.2.5);
- A proteção contra sobrecargas, conforme 5.3.4 e 6.3.4.2;
- A proteção contra curtos-circuitos e solicitações térmicas, conforme 5.3.5 e 6.3.4.3;
- A proteção contra choques elétricos por seccionamento automático da alimentação em esquemas TN e IT, quando pertinente (5.1.2.2.4);
- Os limites de queda de tensão, conforme 6.2.7;
- As seções mínimas indicadas em 6.2.6.1.1., 6.2.6.2.6 e 6.4.3.1.3.

Para considerarmos um circuito completo e corretamente dimensionado, é necessário realizar os seis cálculos acima, cada um resultando em uma seção e considerar como seção final aquela que é a maior dentre todas as obtidas.

Especial atenção deve ser dispensada ao dimensionamento de condutores em circuitos onde haja a presença de harmônicas. Esse assunto é abordado no item 6.2.6.2 da NBR5410.

#### **SEÇÃO MÍNIMA DO NEUTRO (N)** (item 6.2.6.2.6 da NBR5410)

O condutor neutro deve possuir a mesma seção que os condutores fase nos seguintes casos:

- Circuitos monofásicos;
- Circuitos bifásicos com neutro (2 fases + neutro), quando a taxa de 3ª harmônica e seus múltiplos não for superior a 33%.
- Circuitos trifásicos com neutro, quando a taxa de 3ª harmônica e seus múltiplos não for superior a 33%.

Quando em um circuito bifásico ou trifásico com neutro possuir uma taxa de 3ª harmônica e seus múltiplos superiores a 33%, pode ser necessário um condutor neutro com seção superior à dos condutores fase.

Apenas nos circuitos trifásicos é admitida a redução do condutor neutro. Tal procedimento deve atender, simultaneamente, as três condições seguintes:

- O circuito for presumivelmente equilibrado, em serviço normal;

- ➔ A corrente das fases **não** contiver uma taxa de 3ª harmônica (Anexo F da NBR5410) e seus múltiplos superiores a 15%;
- ➔ O condutor neutro for protegido contra sobrecorrentes, conforme 5.3.2.2.

Seção dos condutores de fase mm <sup>2</sup>	Seção reduzida do condutor neutro mm <sup>2</sup>
S ≤ 25	S
35	25
50	25
70	35
95	50
120	70
150	70
185	95
240	120
300	150
400	185

<sup>1)</sup> As condições de utilização desta tabela são dadas em 6.2.6.2.6.

Tabela 16 – Seção reduzida do condutor neutro<sup>1)</sup> (Tab.48 NBR5410)

## SEÇÃO MÍNIMA DA FASE (F) (item 6.2.6.1.1 da NBR5410)

Tipo de linha		Utilização do circuito	Seção mínima do condutor mm <sup>2</sup> - material
Instalações fixas em geral	Condutores e cabos isolados	Circuitos de iluminação	1,5 Cu 16 Al
		Circuitos de força <sup>2)</sup>	2,5 Cu 16 Al
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	0,5 Cu <sup>3)</sup>
	Condutores nus	Circuitos de força	10Cu 16 Al
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	4 Cu
Linhas flexíveis com cabos isolados		Para um equipamento específico	Como especificado na norma do equipamento
		Para qualquer outra aplicação	0,75 Cu <sup>4)</sup>
		Circuitos a extra baixa tensão para aplicações especiais	0,75 Cu

<sup>1)</sup> Seções mínimas ditadas por razões mecânicas  
<sup>2)</sup> Os circuitos de tomadas de corrente são considerados circuitos de força.  
<sup>3)</sup> Em circuitos de sinalização e controle destinados a equipamentos eletrônicos é admitida uma seção mínima de 0,1 mm<sup>2</sup>.  
<sup>4)</sup> Em cabos multipolares flexíveis contendo sete ou mais veias é admitida uma seção mínima de 0,1 mm<sup>2</sup>.

Tabela 17 – Seção mínima dos condutores de cobre e alumínio<sup>1)</sup> (Tab.47 NBR5410)

## SEÇÃO MÍNIMA DO CONDUTOR DE PROTEÇÃO - PEN (item 6.4.3.1.3 da NBR5410)

Seção dos condutores de fase S mm <sup>2</sup>	Seção mínima do condutor de proteção correspondente mm <sup>2</sup>
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	S/2

Tabela 18 – Seção mínima do condutor de proteção (Tab.58 NBR5410)

## NOTAS IMPORTANTES

- A seção dos **condutores de fase**, em circuitos de corrente alternada, e dos condutores vivos, em circuitos de corrente contínua, não deve ser inferior ao valor pertinente dado na tabela 17 (Tab.47 da NBR5410).
- O **condutor neutro** não pode ser comum a mais de um circuito.  
O condutor neutro de um circuito monofásico deve ter a mesma seção do condutor de fase - tabela 16 (Tab.48 da NBR5410).
- A tabela 18 (Tab.58 da NBR5410) é válida apenas se o **condutor de proteção** for constituído do mesmo metal que os condutores de fase. Quando este não for o caso, vide IEC 60364-5-54.

A seção de qualquer condutor de proteção que não faça parte do mesmo cabo ou não esteja contido no mesmo conduto fechado que os condutores de fase não devem ser inferiores a:

- 2,5 mm<sup>2</sup> em cobre/16 mm<sup>2</sup> em alumínio, se for provida proteção contra danos mecânicos;
- 4,0 mm<sup>2</sup> em cobre/16 mm<sup>2</sup> em alumínio, se não for provida proteção contra danos mecânicos.

Um condutor de proteção pode ser comum a dois ou mais circuitos, desde que esteja instalado no mesmo conduto que os respectivos condutores de fase e sua seção seja dimensionada conforme as seguintes opções:

- Calculada de acordo com 6.4.3.1.2, para a mais severa corrente de falta presumida e o mais longo tempo de atuação do dispositivo de seccionamento automático verificado nesses circuitos;
- Selecionada conforme a tabela 18 (Tab.58 da NBR5410), com base na maior seção de condutor de fase desses circuitos.

## 22.2. QUEDA DE TENSÃO (Item 6.2.7 da NBR5410)

Em qualquer ponto de utilização da instalação, a queda de tensão verificada não deve ser superior aos seguintes valores dados em relação ao valor da tensão nominal da instalação:

- a) 7%, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT, no caso de transformador de propriedade da(s) unidade(s) consumidora(s);

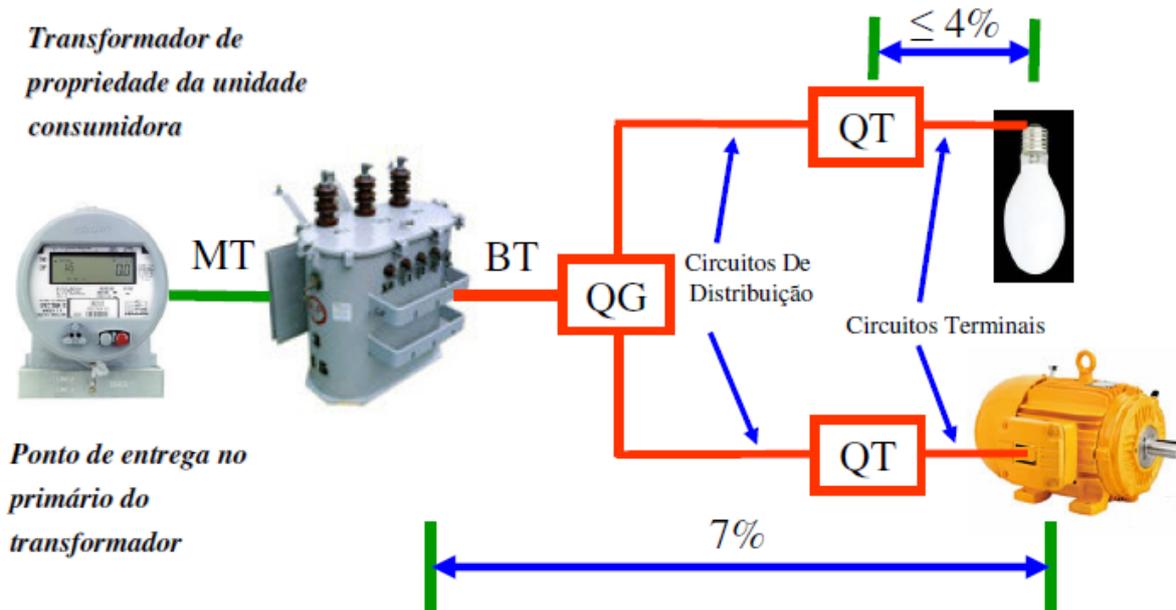


Figura 72 – Queda de tensão 7% - Transformador do consumidor

- b) 7%, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT da empresa distribuidora de eletricidade, quando o ponto de entrega for aí localizado;

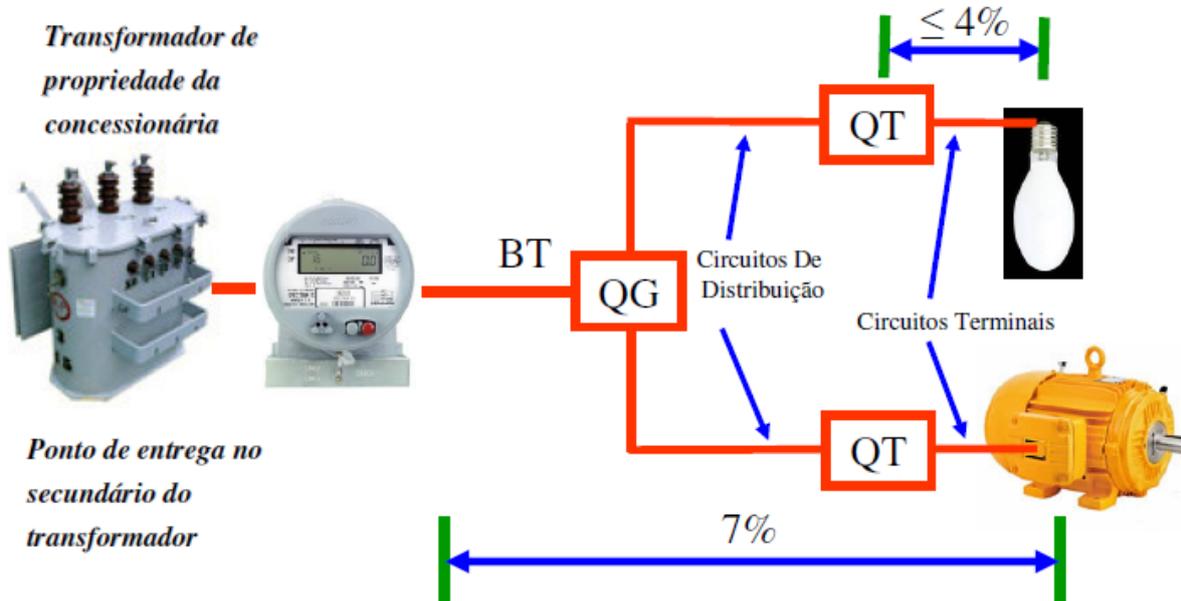


Figura 73 – Queda de tensão 7% - Transformador da concessionária

- c) 5%, calculados a partir do ponto de entrega, nos demais casos de ponto de entrega com fornecimento em tensão secundária de distribuição;

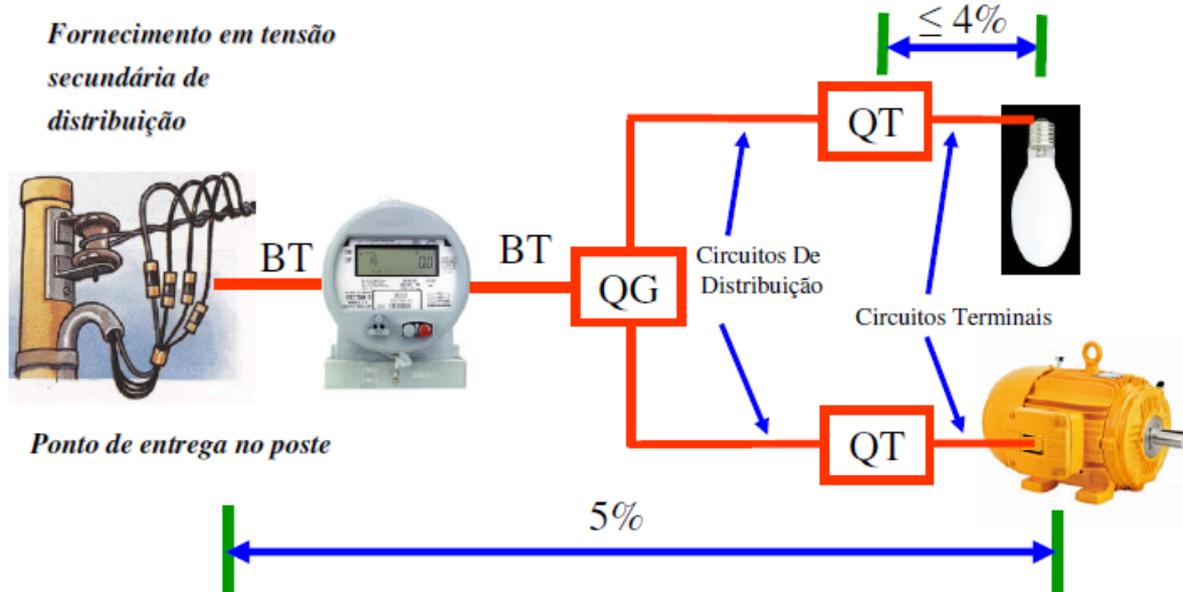


Figura 74 – Queda de tensão 5% - Fornecimento em Tensão Secundária

- d) 7%, calculados a partir dos terminais de saída do gerador, no caso de grupo gerador próprio.

### Grupo Gerador Próprio

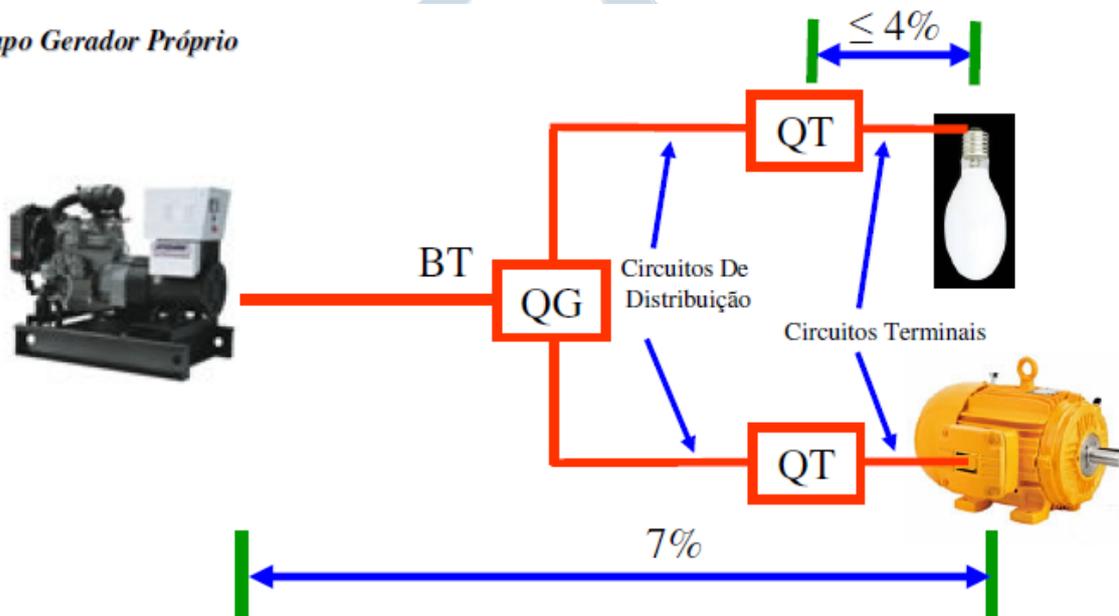


Figura 75 – Queda de tensão 7% - Grupo gerador próprio

### NOTAS

- i. Estes limites de queda de tensão são válidos quando a tensão nominal dos equipamentos de utilização previstos for coincidente com a tensão nominal da instalação;

- ii. Ver definição de “ponto de entrega” (item 3.4.3 da NBR5410);
- iii. Nos casos das alíneas a), b) e d), quando as linhas principais da instalação tiverem um comprimento superior a 100 m, as quedas de tensão podem ser aumentadas de 0,005% por metro de linha superior a 100 m, sem que, no entanto, essa suplementação seja superior a 0,5%;
- iv. Para circuitos de motores, ver também itens 6.5.1.2.1, 6.5.1.3.2 e 6.5.1.3.3 da NBR5410.

## NOTAS IMPORTANTES

- ➔ Em nenhum caso a queda de tensão nos circuitos terminais pode ser superior a 4%.
- ➔ Quedas de tensão maiores que as indicadas nos itens anteriores (a, b, c e d) são permitidas para equipamentos com corrente de partida elevada, durante o período de partida, desde que dentro dos limites permitidos em suas normas respectivas.
- ➔ Para o cálculo da queda de tensão num circuito deve ser utilizada a corrente de projeto do circuito.

## 22.3. CABOS DE MÉDIA TENSÃO

O dimensionamento de uma instalação elétrica alimentada sob tensão igual ou inferior a 36,2kV deve cumprir com as prescrições da norma NBR 14039 - Instalações Elétricas de Média Tensão de 1,0kV a 36,2kV.

## CABOS UNIPOLARES E MULTIPOLARES

- ➔ Os cabos utilizados nas linhas elétricas devem atender às prescrições da NBR6251;
- ➔ Nos locais AD8 (vide Tabela 3 da NBR14039), independentemente do tipo de cabo, é obrigatório o emprego de condutores com construção bloqueada, conforme NBR6251;
- ➔ Nas instalações com tensão nominal superior a 3,6/6,0kV os cabos unipolares e as veias dos cabos multipolares devem ser do tipo a campo elétrico radial (providos de blindagens do condutor e da isolação), conforme a NBR6251.
- ➔ Os cabos multipolares só devem conter os condutores de um e apenas um circuito e, se for o caso, o condutor de proteção respectivo.
- ➔ Os eletrodutos fechados podem conter condutores de mais de um circuito, quando as três condições seguintes forem simultaneamente atendidas:
  - Os circuitos pertencerem à mesma instalação, isto é, se originarem do mesmo dispositivo geral de manobra e proteção, sem a interposição de equipamentos que transformem a corrente elétrica;
  - As seções nominais dos condutores fase estiverem contidas dentro de um intervalo de três valores normalizados sucessivos;
  - Os cabos tiverem a mesma temperatura máxima para serviço contínuo.

- ➔ Os cabos unipolares pertencentes a um mesmo circuito devem ser instalados na proximidade imediata uns dos outros. Essa regra aplica-se igualmente ao condutor de proteção correspondente;
- ➔ Não é permitida a instalação de um único cabo unipolar no interior de um eletroduto fechado de material condutor;
- ➔ Quando vários cabos forem reunidos em paralelo, eles devem ser reunidos em tantos grupos quantos forem os cabos em paralelo, com cada grupo contendo um cabo de cada fase ou polaridade. Os cabos de cada grupo devem estar instalados na proximidade imediata uns dos outros.

**NOTA** - Em particular, no caso de eletrodutos fechados de material condutor, todos os condutores vivos de um mesmo circuito devem estar contidos em um mesmo eletroduto.

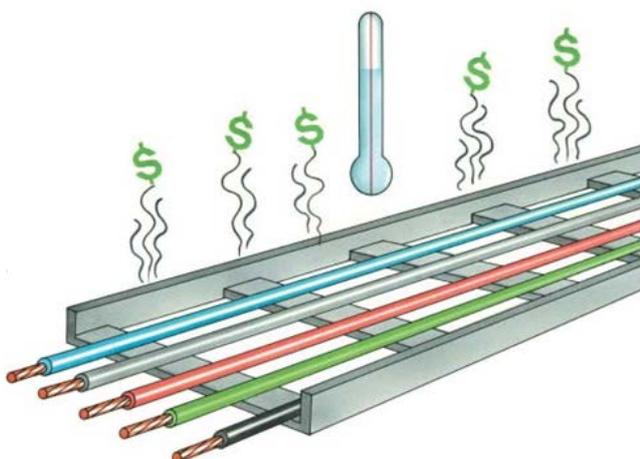
- ➔ Devem ser ligadas a terra as blindagens e/ou capas metálicas dos cabos em uma das extremidades. A segunda extremidade pode ser aterrada.

**NOTA** - A segunda extremidade pode ser aterrada, desde que a transferência de potencial e a corrente que circula pela blindagem estejam dentro de limites aceitáveis. São exemplos de situações onde isto ocorre:

- Em alimentadores longos, onde a força eletromotriz induzida na blindagem ou capa metálica, quando aterrada em uma só extremidade, pode atingir um valor perigoso para as pessoas ou mesmo causar centelhamento;
- Quando se pretende utilizar as blindagens como caminho de retorno da corrente de falta para a fonte.

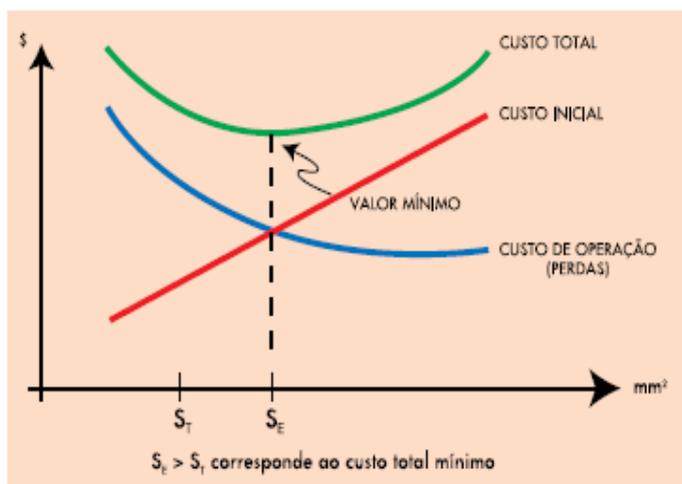
## 22.4. DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DE CONDUTORES

Para a determinação da seção econômica de um condutor para um dado circuito, seja ele em baixa ou média tensão, devemos utilizar as recomendações da **IEC 287-3-2** - Economic Optimization of Power Cable Size - Part3 (ainda não há norma NBR sobre o assunto).



Quanto menor a seção de um condutor, maior sua resistência, e conseqüentemente maior a perda de energia ao longo do circuito.

Figura 76 – Seção econômica do condutor



Observa-se que, quanto menor a seção do cabo, menor seu custo inicial de aquisição e instalação e maior seu custo operacional. Este último é calculado considerando-se a resistência elétrica do condutor, a corrente do circuito e o tempo que ela circula.

Figura 77 – Custo inicial e custo operacional dos cabos em função da seção nominal

É importante lembrar que o dimensionamento pelo critério técnico conduz à menor seção possível de condutor, que não compromete a segurança, a qualidade e a durabilidade da instalação elétrica.

No entanto, quanto menor a seção do condutor, maior a sua resistência elétrica e, conseqüentemente, maior a perda de energia ao longo do circuito. É dentro deste contexto que surge o critério de dimensionamento econômico.

Uma das boas vantagens em se dimensionar um condutor pelo critério econômico é que haverá um aumento de sua vida útil pelo fato de que o condutor irá trabalhar em menores temperaturas. Além disto, o condutor terá um melhor comportamento em relação às correntes de sobrecarga e curto circuito.



Para visualizar todos os cálculos que demonstram o dimensionamento econômico de condutores, consulte a apostila da PROCOPRE encontrada em: [www.procoprebrasil.org](http://www.procoprebrasil.org)

## 22.5. DIMENSIONAMENTO DE ELETRODUTOS

A **NBR5410** define uma série de regras básicas para o dimensionamento de eletrodutos (ou dutos fechados). A partir destas regras consegue-se determinar o tamanho do diâmetro mínimo do eletroduto para conter um determinado número de condutores.

Afim de não se afetar a integridade dos condutores, a NBR5410 impõe alguns limites além da ocupação do eletroduto, como por exemplo, comprimento e o número de curvas por trecho.

Os eletrodutos de seção circular são os de uso mais frequente e constituem o tipo mais comum de conduto.

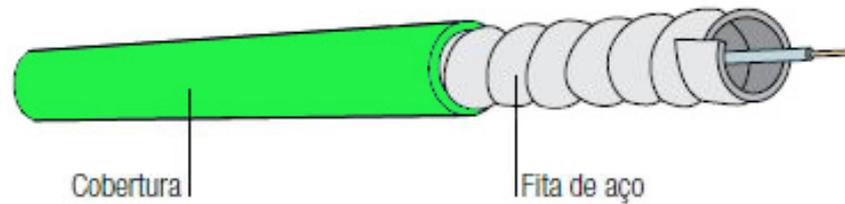
Em função do material de composição, os eletrodutos podem ser **metálicos** ou **isolantes**, e ainda **magnéticos** ou **não magnéticos**. Eles classificam-se, segundo a IEC, em **rígidos**, **curváveis**, **transversalmente elásticos** e **flexíveis**.

- **Eletrodutos metálicos** rígidos são geralmente de aço-carbono, com proteção interna e externa feita com materiais resistentes à corrosão, podendo, em certos casos, ser fabricados em aço especial ou em alumínio. No Brasil, devem obedecer às seguintes normas:
  - NBR5597 – Eletroduto de aço-carbono e acessórios, com revestimento protetor e rosca NPT – Requisitos;
  - NBR5598 – Eletroduto de aço-carbono e acessórios, com revestimento protetor e rosca BSP – Requisitos;
  - NBR5624 – Eletroduto de aço-carbono, com costura, com revestimento protetor e rosca ABNT NBR8133;
  - NBR13057 – Eletroduto rígido de aço-carbono, com costura, zincado eletroliticamente e rosca ABNT NBR8133.

Os eletrodutos de acordo as NBR5597, NBR5598 e NBR5624 têm paredes mais grossas e são destinados a instalações industriais, tanto interna como externamente.

Os eletrodutos de acordo a NBR13057 são destinados a instalações não industriais.

- **Eletrodutos isolantes rígidos ou flexíveis** são fabricados em PVC (polímeros) ou PE (polietileno), barro vitrificado (manilhas), cimento-amianto, etc. Para linhas acima do solo, aparentes ou embutidas, os de PVC são os mais utilizados e para linhas subterrâneas em envelopes de concreto os PE.  
Devem atender à NBR 15465 - Sistemas de eletrodutos plásticos para instalações elétricas de baixa tensão - Requisitos de desempenho (2008), que prevê os requisitos de desempenho para eletrodutos plásticos rígidos (até DN 110) ou flexíveis (até DN 40), de seção circular e geralmente são empregados em instalações elétricas de edificações alimentadas em baixa tensão.
- **Eletrodutos flexíveis metálicos** são constituídos por uma fita de aço enrolada em hélice com uma cobertura impermeável de plástico, ou isolantes PE ou PVC. É utilizado na conexão de equipamentos que apresentem vibrações ou pequenos movimentos durante seu funcionamento.



A NBR 5410 (item 6.2.11 – página 120) também define que:

6.2.11.1.1 *É vedado o uso, como eletroduto, de produtos que não sejam expressamente apresentados e comercializados como tal.*

6.2.11.1.2 *Nas instalações elétricas abrangidas por esta Norma só são admitidos eletrodutos não-propagantes de chama.*

6.2.11.1.3 *Só são admitidos em instalação embutida os eletrodutos que suportem os esforços de deformação característicos da técnica construtiva utilizada.*

6.2.11.1.4 *Em qualquer situação, os eletrodutos devem suportar as solicitações mecânicas, químicas, elétricas e térmicas a que forem submetidos nas condições da instalação.*

6.2.11.1.5 *Nos eletrodutos só devem ser instalados condutores isolados, cabos unipolares ou cabos multipolares.*

*NOTA: Isso não exclui o uso de eletrodutos para proteção mecânica, por exemplo, de condutores de aterramento.*

6.2.11.1.6 *As dimensões internas dos eletrodutos e de suas conexões devem permitir que, após montagem da linha, os condutores possam ser instalados e retirados com facilidade. Para tanto:*

*a) a taxa de ocupação do eletroduto, dada pelo quociente entre a soma das áreas das seções transversais dos condutores previstos, calculadas com base no diâmetro externo, e a área útil da seção transversal do eletroduto, não deve ser superior a:*

- 53% no caso de um condutor;
- 31% no caso de dois condutores;
- 40% no caso de três ou mais condutores

*b) os trechos contínuos de tubulação, sem interposição de caixas ou equipamentos, não devem exceder 15 m de comprimento para linhas internas às edificações e 30 m para as linhas em áreas externas às edificações, se os trechos forem retilíneos. Se os trechos incluírem curvas, o limite de 15 m e o de 30 m devem ser reduzidos em 3 m para cada curva de 90°.*

**NOTA:** Quando não for possível evitar a passagem da linha por locais que impeçam, por algum motivo, a colocação de caixa intermediária, o comprimento do trecho contínuo pode ser aumentado, desde que seja utilizado um eletroduto de tamanho nominal imediatamente superior para cada 6 m, ou fração, de aumento da distância máxima calculada segundo os critérios da alínea b). Assim, um aumento, por exemplo, de 9 m implica um eletroduto com tamanho dois degraus acima do inicialmente definido, com base na taxa de ocupação máxima indicada na alínea a).

6.2.11.1.7 Em cada trecho de tubulação delimitado, de um lado e de outro, por caixa ou extremidade de linha, qualquer que seja essa combinação (caixa-caixa, caixa-extremidade ou extremidade-extremidade), podem ser instaladas no máximo três curvas de 90° ou seu equivalente até no máximo 270°. Em nenhuma hipótese devem ser instaladas curvas com deflexão superior a 90°.

6.2.11.1.8 As curvas, quando originadas do dobramento do eletroduto, sem o uso de acessório específico, não devem resultar em redução das dimensões internas do eletroduto.

6.2.11.1.9 Devem ser empregadas caixas:

- a) em todos os pontos da tubulação onde houver entrada ou saída de condutores, exceto nos pontos de transição de uma linha aberta para a linha em eletrodutos, os quais, nestes casos, devem ser rematados com buchas;
- b) em todos os pontos de emenda ou de derivação de condutores;
- c) sempre que for necessário segmentar a tubulação, para atendimento do disposto em 6.2.11.1.6-b).

6.2.11.1.10 A localização das caixas deve ser de modo a garantir que elas sejam facilmente acessíveis. Elas devem ser providas de tampas ou, caso alojem interruptores, tomadas de corrente e congêneres fechadas com os espelhos que completam a instalação desses dispositivos. As caixas de saída para alimentação de equipamentos podem ser fechadas com as placas destinadas à fixação desses equipamentos.

**NOTA:** Admite-se a ausência de tampa em caixas de derivação ou de passagem instaladas em forros ou pisos falsos, desde que essas caixas efetivamente só se tornem acessíveis com a remoção das placas do forro ou do piso falso e que se destinem exclusivamente a emenda e/ou derivação de condutores, sem acomodar nenhum dispositivo ou equipamento.

6.2.11.1.11 Os condutores devem formar trechos contínuos entre as caixas, não se admitindo emendas e derivações senão no interior das caixas. Condutores emendados ou cuja isolação tenha sido danificada e recomposta com fita isolante ou outro material não devem ser enfiados em eletrodutos.

6.2.11.1.12 Na montagem das linhas a serem embutidas em concreto armado, os eletrodutos devem ser dispostos de modo a evitar sua deformação durante a concretagem. As caixas, bem como as bocas dos eletrodutos, devem ser

*fechadas com vedações apropriadas que impeçam a entrada de argamassas ou nata de concreto durante a concretagem.*

*6.2.11.1.13 As junções dos eletrodutos embutidos devem ser efetuadas com auxílio de acessórios estanques aos materiais de construção.*

*6.2.11.1.14 Os eletrodutos só devem ser cortados perpendicularmente a seu eixo. Deve ser retirada toda rebarba suscetível de danificar a isolação dos condutores.*

*6.2.11.1.15 Nas juntas de dilatação, os eletrodutos rígidos devem ser seccionados, o que pode exigir certas medidas compensatórias, como, por exemplo, o uso de luvas flexíveis ou cordoalhas destinadas a garantir a continuidade elétrica de um eletroduto metálico.*

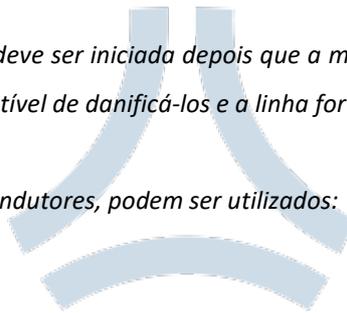
*6.2.11.1.16 Quando necessário, os eletrodutos rígidos isolantes devem ser providos de juntas de expansão para compensar as variações térmicas.*

*6.2.11.1.17 A enfição dos condutores só deve ser iniciada depois que a montagem dos eletrodutos for concluída, não restar nenhum serviço de construção suscetível de danificá-los e a linha for submetida a uma limpeza completa.*

*6.2.11.1.18 Para facilitar a enfição dos condutores, podem ser utilizados:*

*a) guias de puxamento; e/ou*

*b) talco, parafina ou outros lubrificantes que não prejudiquem a isolação dos condutores.*



## 22.6. EXEMPLO DE CÁLCULO DE ELETRODUTO

O exemplo de cálculo de eletroduto está em sequência às tabelas abaixo, as quais são necessárias para consulta.

### DIMENSÕES PRINCIPAIS DOS ELETRODUTOS RÍGIDOS DE AÇO-CARBONO

Tamanho Nominal	Diâmetro Externo (mm)	Espessura de Parede (mm)
<b>ABNT NBR 5597</b>		
10	17,1 ± 0,38	2,00
15	21,3 ± 0,38	2,25
20	26,7 ± 0,38	2,25
25	33,4 ± 0,38	2,65
32	42,2 ± 0,38	3,00
40	48,3 ± 0,38	3,00
50	60,3 ± 0,38	3,35
65	73,0 ± 0,64	3,75
80	88,9 ± 0,64	3,75
90	101,6 ± 0,64	4,25
100	114,3 ± 0,64	4,25
125	141,3 ± 1%	5,00
130	168,3 ± 1%	5,30
<b>ABNT NBR 5598</b>		
10	17,1 ± 0,40	2,00
15	21,3 ± 0,40	2,25
20	26,9 ± 0,40	2,25
25	33,7 ± 0,40	2,65
32	42,4 ± 1%	2,65
40	48,3 ± 1%	3,00
50	60,3 ± 1%	3,00
65	76,1 ± 1%	3,35
80	88,9 ± 1%	3,35
90	101,6 ± 1%	3,35
100	114,3 ± 1%	3,75
125	139,7 ± 1%	4,75
130	161,1 ± 1%	5,00
<b>ABNT NBR 13057</b>		
10	16,5	1,50
15	20,4	1,50
20	25,6	1,50
25	31,9	1,50
32	41,0	2,00
40	47,1	2,25
50	59,0	2,25
65	74,9	2,65
80	87,6	2,65
90	100,0	2,65
100	112,7	2,65

### DIMENSÕES PRINCIPAIS DOS ELETRODUTOS RÍGIDOS DE PVC (ABNT NBR 15465)

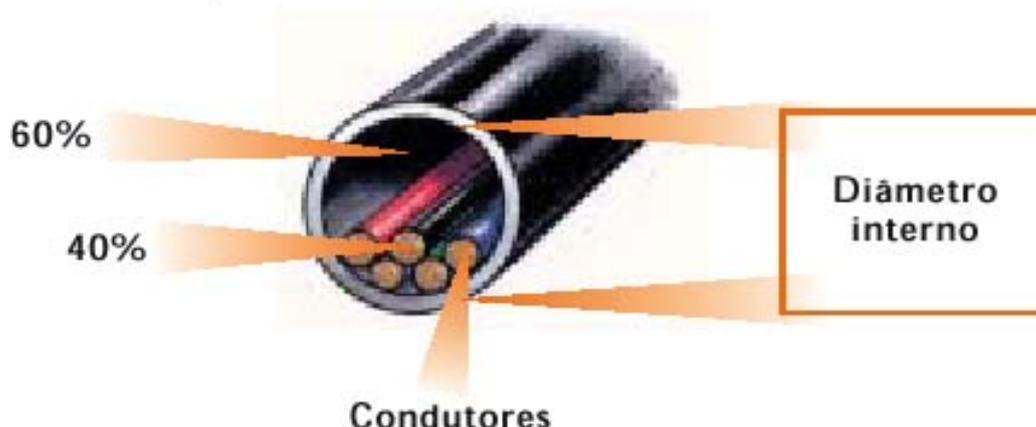
Tamanho Nominal	Diâmetro Externo (mm)	Espessura de Parede (mm)
<b>Tipo Soldável</b>		
16	16,0 ± 0,3	1,0
20	20,0 ± 0,3	1,0
25	25,0 ± 0,3	1,0
32	32,0 ± 0,3	1,0
40	40,0 ± 0,4	1,0
50	50,0 ± 0,4	1,1
60	60,0 ± 0,4	1,3
75	75,0 ± 0,4	1,5
85	85,0 ± 0,4	1,8
<b>Tipo Roscável</b>		
16	16,7 ± 0,3	1,8
20	21,1 ± 0,3	1,8
25	26,2 ± 0,3	2,3
32	33,2 ± 0,3	2,7
40	42,2 ± 0,3	2,9
50	47,8 ± 0,4	3,0
60	59,4 ± 0,4	3,1
75	75,1 ± 0,4	3,8
85	88,0 ± 0,4	4,0
110	113,1 ± 0,4	4,0
<b>Notas:</b>		
1. Para ambos os tipos são admitidas as seguintes variações na espessura de parede:		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• para tamanhos de 16 a 32 - + 0,4, - 0</li> <li>• para tamanhos de 40 a 75 - + 0,5, - 0</li> <li>• para o tamanho de 85 - + 0,6, - 0</li> </ul>		
2. Os eletrodutos devem ser fabricados em varas de 3,00 m, com variações de +1% e -0,5%.		

#### Notas:

- Para os eletrodutos fabricados de acordo com as normas ABNT NBR 5597 e ABNT NBR 5598 são admitidas variações na espessura da parede que não excedam 12,5% para menos, ficando em aberto as variações para mais.
- Os eletrodutos rígidos devem ser fabricados em varas de 3.000 ± 20 mm.

Figura 78 – Tabelas de dimensões de eletrodutos rígidos de aço-carbono e PVC de acordo às normas NBR.

Fonte: Manual Prysmian de Instalações Elétricas 2010 – página 29 do Capítulo III



A ocupação máxima de um eletroduto pode ser calculada conhecendo-se a sua área útil = área interna do eletroduto ( $A_{Eint}$ ) e as áreas dos condutores ( $A_c$ ) que estarão nele contidos.

Para o caso mais frequente, ou seja, eletrodutos circulares, temos:

$$A_{Eint} = \frac{\pi(d_{Eext} - 2e)^2}{4} \text{ e } A_c = \pi d_c^2$$

Onde:

$A_{Eint}$  → Área do Eletroduto

$A_c$  → Área do Condutor

$d_{Eext}$  → Diâmetro Externo do Eletroduto

$d_c$  → Diâmetro Externo do Condutor

$e$  → Espessura do Condutor

Portanto, levando-se em conta a alínea a) do item 6.2.11.1.6 da NBR5410, tem-se:

$$\sum A_c = k \cdot A_{Eint}$$

Onde:

$k = 0,53$  para um condutor;

$k = 0,31$  para dois condutores;

$k = 0,40$  para três ou mais condutores

Quando a espessura do eletroduto é subtraída do diâmetro externo no cálculo de área do eletroduto, iremos obter na verdade a área interna do conduto e consequentemente nessa primeira operação tem-se o diâmetro interno do eletroduto ( $d_{Eint}$ ). Logicamente a espessura tem grande importância para um eletroduto e deve, certamente, respeitarem-se os seus limites máximos (+1,0%) e mínimos (-0,5%).

Contudo, aqui estamos procurando a obtenção da sua taxa máxima de ocupação, o cumprimento às normas, a integridade dos condutores e, principalmente, a segurança das pessoas e da edificação.

## EXEMPLO NUMÉRICO:

Determinar o diâmetro mínimo do eletroduto flexível corrugado de uma linha interna de comprimento de 10 m contendo uma curva 90°, capaz de conter os condutores (fios sólidos BWF 750 V da CORFIO) de três circuitos monofásicos com condutores de 1,5 mm<sup>2</sup> (circuito 1), 2,5 mm<sup>2</sup> (circuito 2) e 4 mm<sup>2</sup> (circuito 3) de uma mesma instalação. O condutor de proteção destes circuitos é de 4 mm<sup>2</sup>:

## SOLUÇÃO

### I. Diâmetro externo dos condutores, (Fio sólido BWF 750 V-Dados Construtivos deste produto - Diâmetro externo nominal (mm)).

Condutor de 1,5 mm<sup>2</sup> – d<sub>c</sub> = 2,76 mm;

Condutor de 2,5 mm<sup>2</sup> – d<sub>c</sub> = 3,35 mm;

Condutor de 4,0 mm<sup>2</sup> – d<sub>c</sub> = 3,83 mm;

### II. Área total dos condutores em mm<sup>2</sup>

$$A_{TC} = \Sigma(N_C \times A_C) = \Sigma(N_C \times \pi d_C^2 / 4)$$

Dois condutores de 1,5 mm<sup>2</sup> - A<sub>C1</sub> = 2 × (π × 2,76<sup>2</sup> / 4) = 11,97 mm<sup>2</sup>;

Dois condutores de 2,5 mm<sup>2</sup> - A<sub>C2</sub> = 2 × (π × 3,35<sup>2</sup> / 4) = 17,63 mm<sup>2</sup>;

Três condutores de 4,0 mm<sup>2</sup> - A<sub>C3</sub> = 3 × (π × 3,83<sup>2</sup> / 4) = 34,56 mm<sup>2</sup>;

Total dos condutores no eletroduto: A<sub>TC</sub> = 64,16 mm<sup>2</sup>

### III. Critério da taxa de ocupação máxima do eletroduto

3 ou mais condutores: **k = 40% ou 0,40** (Taxa de ocupação máxima)

### IV. Seção interna mínima do eletroduto

$$\Sigma A_C = k \cdot A_{Eint}$$

$$A_{TC} = k \cdot A_{Eint} \rightarrow A_{Eint} = A_{TC} / k = 64,16 / 0,40 = 160,4 \text{ mm}^2$$

### V. Diâmetro interno mínimo do eletroduto.

$$A_{Eint} = \pi d_{EintMin}^2 / 4$$

$$d_{EintMin} = \sqrt{4 \times A_{Eint} / \pi} = \sqrt{4 \times 160,4 / \pi} = 14,29 \text{ mm}$$

## VI. Diâmetro nominal do eletroduto

$$d_{Eint} \geq d_{EintMin}$$

O valor do diâmetro interno deve ser buscado na tabela do produto que está sendo utilizado. Neste caso está se utilizando o produto Tigreflex reforçado, onde encontramos o Eletroduto DN20 com:

$$d_{Eint} = 15,4 \text{ mm}$$

Como:

15,4 > 14,29 mm – este é o eletroduto a ser utilizado

## VII. Critério da distância máxima de trechos contínuos da tubulação

Linha interna, trecho contínuo -  $dist_{max} = 15 \text{ m}$  (NBR 5410, item 6.12.11.6, p.120);

Redução por curva de 90° = 3m (NBR 5410, item 6.12.11.6, p.120);

Distância máxima permitida:  $dist_{perm} = dist_{max} - N_{curvas} \times 3 = 15 - 1 \times 3 = 12 \text{ m}$

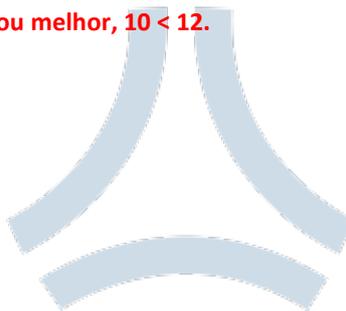
**Critério atendido, pois  $dist_{trecho} \leq dist_{perm}$ , ou melhor,  $10 < 12$ .**

## VIII. Taxa real de ocupação do eletroduto

$$A_{Eint} = \pi \times d_{Eint}^2 / 4$$

$$A_{Eint} = \pi \times 15,4^2 / 4 = 186,27 \text{ mm}^2$$

$$A_{TC} = 64,16 \text{ mm}^2$$



Portanto:

$$\text{Taxa real de ocupação (\%)} = (A_{TC} / A_{Eint}) \times 100 = (64,16 / 186,27) \times 100 = 34,4\%$$

## 23. COMISSIONAMENTO

### DEFINIÇÃO:

**Comissionamento** é um conjunto de técnicas e procedimentos que visa assegurar que as sistemáticas e componentes físicos (equipamentos, cabos, quadros elétricos, transformadores, etc.) da edificação comercial, residencial ou industrial tenham sido projetados, instalados, testados, operados e mantidos de acordo com as necessidades e requisitos operacionais do proprietário.

O comissionamento pode ser aplicado tanto a novos empreendimentos quanto a unidades e sistemas existentes em processo de expansão, modernização ou ajuste.

*As atividades de comissionamento são aplicáveis a todas as fases do empreendimento, desde o projeto até a entrega deste ao cliente final podendo até ter uma fase de operação assistida pós entrega, se assim o cliente o desejar.*

### 23.1. COMISSIONAMENTO ELÉTRICO

#### NR 10

*10.4.6 Os ensaios e testes elétricos laboratoriais e de campo ou comissionamento de instalações elétricas devem atender à regulamentação estabelecida nos itens 10.6 e 10.7, e somente podem ser realizados por trabalhadores que atendam às condições de qualificação, habilitação, capacitação e autorização estabelecidas nesta NR (item 10.8).*

*10.6 - SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS ENERGIZADAS.*

*10.7 - TRABALHOS ENVOLVENDO ALTA TENSÃO (AT).*

*10.8 - HABILITAÇÃO, QUALIFICAÇÃO, CAPACITAÇÃO E AUTORIZAÇÃO DOS TRABALHADORES.*

O capítulo 7 da norma NBR14039 tem a função de orientação aos profissionais na validação das instalações elétricas realizadas nos empreendimentos. Validar uma instalação elétrica significa afirmar que a instalação está em condições de ser energizada e colocada em serviço com **segurança**.

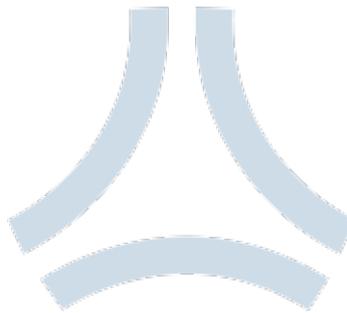
Esse processo de verificação final é encontrado também nas **normas de instalações de baixa tensão** e é de fundamental importância para a conclusão e entrega dos trabalhos realizados.

No item 7.1.1 é previsto que toda “instalação, extensão ou alteração de uma instalação existente deve ser visualmente inspecionada e ensaiada, durante e/ou quando concluída a instalação, antes de ser posta em serviço pelo usuário”. Isso significa que, aliada à NR 10, nada poderá ser colocado em serviço ou energizado sem as garantias de segurança necessárias.

A NBR14039 prevê que devem existir registros com no mínimo os seguintes ensaios:

- Continuidade elétrica dos condutores de proteção e das ligações equipotenciais principais e suplementares;
- Resistência de isolamento da instalação elétrica;
- Ensaio de tensão aplicada;
- Ensaio para determinação da resistência de aterramento;
- Ensaios recomendados pelos fabricantes dos equipamentos;
- Ensaios de funcionamento.

No item 7.1.5 a NBR14039 registra a necessidade de se elaborar um documento de garantia de conformidade da instalação elétrica, sempre por profissional devidamente habilitado e qualificado.



## 24. PROJETO ELÉTRICO - CONTEÚDO

### NR 10

*10.3.7 O projeto das instalações elétricas deve ficar à disposição dos trabalhadores autorizados, das autoridades competentes e de outras pessoas autorizadas pela empresa e deve ser mantido atualizado.*

O termo projeto tem o sentido de documentação de projeto, e como o item 10.1.2 determina que a **NR 10** se aplica observando as normas técnicas, a documentação de projeto segundo as normas técnicas brasileiras de instalações elétricas deve conter, no mínimo:

- a) Plantas demonstrando como o Projeto Elétrico estará se relacionando com o Projeto Arquitetônico – vistas e detalhes;
- b) Esquemas Unifilares e outros, quando aplicáveis;
- c) Detalhes de montagem, quando necessários;
- d) Memorial descritivo da instalação;
- e) Especificação dos componentes (descrição, características nominais e normas que devem atender);
- f) Parâmetros de projeto (correntes de curto-circuito, queda de tensão, fatores de demanda considerados, temperatura ambiente, etc.).

Este item complementa o item 10.2.3 que determina que a obrigação das empresas de manterem os esquemas Unifilares atualizados, mostrando a importância da atualização de toda a documentação, inclusive os diagramas de comando.

### 24.1. SUBESTAÇÕES

Pode-se dizer que não existem mais instalações elétricas prediais em edificações. Todos os empreendimentos atualmente têm em seu interior instalações elétricas industriais, pois fazem parte destas instalações vários equipamentos que até há pouco tempo eram somente utilizados na indústria: transformadores, geradores, cogeneradores, etc.

O que se segue é a demonstração do cuidado necessário que se deve ter na construção de um dos itens mais delicados e também mais complexos dentro de uma edificação – a Subestação Elétrica.

De acordo às Normas Técnicas, baseadas nas Normas Técnicas Brasileiras (NBRs) da ABNT e às várias Companhias Energéticas brasileiras, o Projeto Elétrico para subestações deve contemplar os seguintes elementos:

- a) Planta de situação da subestação, com a localização do ponto de entrega de energia, mostrando o traçado previsto para a entrada do alimentador;

- b) Plantas e cortes transversais e longitudinais da subestação, edificações e cubículos destinados à proteção, medição e transformação na subestação receptora, incluindo os cubículos de proteção dos alimentadores em tensão secundária, sempre que este for maior que 1kV. A escala adotada deve ser claramente indicada. As distâncias entre as partes vivas e a terra deverão ser cotadas;
- c) Diagrama Unifilar e Trifilar geral com indicação esquemática da proteção, intertravamento, inclusive a atuação dos mesmos, bem como da medição. O diagrama Unifilar deverá abranger a instalação desde o ponto e entrada de energia até a transformação para baixa tensão. Quando houver interligação entre os secundários destes transformadores, esta deverá figurar no diagrama;
- d) Diagrama funcional da proteção, controle, sinalização e alarme da instalação de alta tensão, incluindo os disjuntores de transferência automática e/ou paralelismo automático momentâneo, se for o caso;
- e) Memorial descritivo, contendo de forma sucinta o sistema básico de operação da instalação, sua filosofia e equipamentos de proteção incluindo características dos relés de proteção empregados, detalhes do intertravamento dos equipamentos e demais esclarecimentos necessários à boa interpretação do projeto;
- f) Especificação dos equipamentos e materiais conectados à alta tensão, acompanhados de catálogos contendo as características técnicas dos mesmos;
- g) Localização dos painéis de distribuição e quadros elétricos gerais, bem como dos elementos contidos nos mesmos;
- h) Características básicas dos transformadores de força com apresentação do relatório de ensaios de rotina e desenho da placa de identificação dos mesmos;
- i) Levantamento da curva de saturação dos TCs de proteção geral de entrada e de medição de faturamento, quando for o caso;
- j) Banco de Capacitores;
- k) Desenho da malha de terra, especificando resistividade do solo e resistência máxima de aterramento prevista. Indicar também o tipo de acabamento superficial do solo (grama, brita, etc.). Cálculo de malha de terra, indicando os valores máximos de potencial de passo e de toque suportáveis e produzidos pela malha em pontos internos e externos, cálculo da resistência de aterramento, conforme a norma IEEE Std. 80-2000 e dimensionamento dos condutores;
- l) Localização proposta para conjunto de medidores;
- m) Detalhamento do cubículo destinado à instalação do conjunto de medidores e equipamentos acessórios, com o objetivo de impedir acesso de elementos não credenciados aos equipamentos de medição. Deverão ser claramente indicados os dispositivos destinados à colocação do lacre (conforme o caso especificar a medição padrão ONS descrita nos procedimentos de rede módulo 12);
- n) Cálculo de curto-circuito trifásico e fase-terra no(s) primário(s) do(s) transformador (es) e barramento do(s) secundário(s);
- o) Estudo de coordenação e seletividade das proteções (no caso de equipamentos digitais, disponibilizar o arquivo de parametrização);

- p) Dimensionamento dos alimentadores - A memória de cálculo relativa ao dimensionamento dos ramais internos nos trechos compreendidos até os quadros de distribuição de BT;
- q) Partida de Motores - Quando utilizado motores de indução com potência em CV igual ou superior a 5% da potência em kVA instalado em transformação nas SE's do consumidor, deverá ser apresentado a memória de cálculo de queda de tensão resultante no ponto de entrega;
- r) Anotação de Responsabilidade Técnica – ART do CREA referente ao projeto elétrico, devidamente preenchida e autenticada mecanicamente.

Relacionar a carga instalada e a demandada, por grupos, indicando somente os totais de cada um dos grupos a seguir:

- Iluminação;
- Cargas Resistivas;
- Motores Síncronos – se houver;
- Motores Assíncronos – se houver;
- Discriminar cada máquina com as características elétricas principais;
- Discriminar os motores com potência igual ou superior a 5% da potência de transformação da SE principal, indicando: potência, número de polos, tipo de rotor, sistema e condições de partida;
- Discriminar cargas especiais (fornos a arcos e de indução, laminadores, retificadores estáticos comandados ou não, etc.).

## 24.2. SUBESTAÇÃO ABRIGADA

Entende-se por Subestação Abrigada como a instalação elétrica do consumidor destinada a receber o fornecimento de energia em tensão primária de distribuição, com uma ou mais funções de manobra, proteção, medição e transformação, montada em compartimento ou edificação em alvenaria ou concreto armado.

Poderá ser interna ou externa, isolada do prédio principal. Sendo externa poderá ser abrigada em edificação com este fim específico, ao nível do solo, semi-enterrada ou subterrânea.

A subestação abrigada, independentemente de sua localização, deve ser inteiramente construída com materiais não combustíveis, isto é, paredes em alvenaria, teto e piso de concreto, conforme NBR13231.

As áreas dos compartimentos internos das subestações abrigadas devem ser suficientemente adequadas para instalação dos equipamentos e sua eventual remoção, bem como para a livre circulação dos operadores e execução de manobras. Os locais para circulação de operadores e para operação de manobras devem possuir larguras mínimas adequadas conforme NBR14039.

A tela para proteção em subestações abrigadas deve possuir dispositivo para trinco ou cadeado de forma a impedir o livre acesso às instalações, e estar conectada ao aterramento da subestação.

A localização da subestação simplificada deverá atender aos afastamentos mínimos estabelecidos na NBR15688.



Figura 79 – Subestação Abrigada de Itaipu (interna) blindada em gás Hexafluoreto de Enxofre (SF6)

Fonte: <http://eletricaesusduvidas.blogspot.com.br>



Figura 80 – Subestação Abrigada Eletropaulo (externa)

As subestações deverão ser construídas conforme projetos específicos, considerando-se as seguintes características mínimas:

- a) Quando a subestação for isolada do prédio, externa, semi-enterrada ou subterrânea as paredes poderão ser de alvenaria com espessura mínima de um tijolo maciço, exigindo-se, porém, revestimento de material incombustível e contenção de penetração de umidade;
- b) O pé direito mínimo das subestações deve ser de 5,50m, se a entrada for aérea, ou 2,70m se subterrânea. Quando existir viga será permitida altura mínima de 2,50m, medida da face inferior da viga;
- c) A subestação deverá ter área de circulação e operação em seu interior com largura mínima de 1,50m com as portas do QGBT fechadas ou 0,80m com as portas abertas;
- d) As portas deverão ser metálicas, abrirem para fora, através de barras antipânico, e permitirem a passagem folgada do maior equipamento da subestação (mínimo de 1,20 x 2,10m);
- e) Deverá ser provida de aberturas para claridade e circulação de ar, segundo os seguintes critérios:
  - Deverão ser protegidas por dentro com tela de arame zincado 12 BWG, com malha de 2 x 2 cm;
  - A abertura destinada a entrada de ar deverá se localizar a 50 cm do piso e a saída o mais próximo do teto, ambas com acesso direto para o ar livre e diagonalmente opostas;
  - Quando houver dificuldade de circulação de ar, deverá ser colocado sistema automático de exaustão controlado por termostato de modo a manter a temperatura interna não superior a 30º;
  - Os compartimentos da subestação deverão ser isolados com tela de arame galvanizado 12 BWG, com malha de no máximo 2 cm;
  - A grade do cubículo de medição deverá ser equipada com dispositivo para selagem.
- f) Para subestações isoladas do prédio, com alimentação através de linha aérea, a cobertura deverá ser de laje e ter inclinação suficiente para não permitir escoamento de água sobre a linha de alta tensão e acessórios;
- g) Quando a **subestação for parte integrante do prédio**, as paredes, piso, teto e portas deverão ser construídos de forma a resistir ao fogo interno por no mínimo 3h – **detalhamento no item 24.3**;
- h) Quando semi-enterrada ou subterrânea, deverá ter um acesso que permita a passagem de no mínimo um transformador de 500kVA;
- i) A área ocupada pela subestação não poderá ser passível de inundação e deverá conter dreno para escoamento de óleo e água, independente do sistema de drenagem pluvial;
- j) É obrigatória a colocação de extintor de CO<sub>2</sub> (6 kg) do lado de fora da subestação, junto à porta, para proteção contra incêndio;
- k) Não é permitida a colocação de sprinklers para combate ao incêndio internamente à subestação. De acordo ao item 4.2 da norma NBR13231 tem-se:

***4.2 Sistemas fixos automáticos de CO<sub>2</sub> pelo método de inundação total, para proteção de transformadores e reatores de potência (projeto, instalação, manutenção e ensaios). Para demais condições e requisitos, ver NBR12232.***
- l) Será obrigatória a fixação, em local visível, tanto no lado externo da porta, quanto na grade de proteção dos transformadores, de placa de advertência com os dizeres: “PERIGO – ALTA TENSÃO”;
- m) Não será permitido nenhum tipo de tubulação **não elétrica** na subestação.

## 24.3. SUBESTAÇÃO A PROVA DE INCÊNDIO

- a) Quando a atividade da unidade consumidora for caracterizada por grande fluxo de pessoas, tais como lojas, cinemas, bancos, restaurantes, estádios, clubes, supermercados, shopping centers, edifícios de uso coletivo, etc., a subestação deverá ser construída observando-se os aspectos de segurança contra incêndio previstos na NBR14039, quando fizer parte integrante da edificação;
- b) Considera-se como parte integrante da edificação o recinto não isolado ou desprovido de paredes de alvenaria e portas corta fogo;
- c) Deverá ter paredes externas com espessura mínima de 20 cm de alvenaria de tijolo maciço ou 15 cm de concreto. O piso deverá ter resistência mecânica compatível com o transformador a ser utilizado;
- d) A porta de acesso deverá ser do tipo “corta fogo”, construída conforme prescreve a Norma ABNT NBR11742, sendo exigido o selo de conformidade emitido pela ABNT, quando tiver uma entrada para a subestação pelo interior da edificação;
- e) A porta corta fogo deverá ser de classe P-90 (resistente ao fogo por 3 (três) horas) e ter vão livre de largura mínima de 1,20 m e máxima de 2,10 m, conforme a dimensão do transformador;
- f) Quando houver acesso à subestação pelo lado externo à edificação, as portas deverão ser metálicas, abrirem para fora, através de barras antipânico, e permitirem a passagem folgada do maior equipamento da subestação (mínimo de 1,20 x 2,10m);
- g) Todas as aberturas para ventilação e iluminação natural, que se situarem viradas para dentro da edificação, deverão possuir dispositivo de fechamento automático para operar por ocasião de incêndio. Este dispositivo consiste para cada abertura, de uma chapa metálica provida de pino giratório, fixada por cordão de plástico, que se estende pelo piso a 15 cm do mesmo, circundando o transformador;
- h) Nas subestações a prova de incêndio a proteção geral de baixa tensão deverá ser instalada na parede externa;

## 24.4. ATERRAMENTO DE MASSAS METÁLICAS SUJEITAS À TENSÃO

As partes metálicas não destinadas à condução de corrente elétrica, tais como: portas, grades de proteção e ventilação, suportes de chaves e isoladores, painéis e quadros elétricos, motores e geradores, devem permanecer corretamente aterradas e dentro de um mesmo potencial elétrico em suas áreas de localização (vide item 15.1 – Sistemas de Aterramento).

Os elementos metálicos que podem permanecer sob tensão, devem ser aterrados e interligados (equalizados) à malha geral de aterramentos dos conjuntos de cabines, quadros e painéis elétricos, e principalmente, aqueles conjuntos de estruturas metálicas das próprias cabines ou subestação.

Torna-se importante prever para estas interligações o aumento de impedância entre as tomadas de terra das cabines e sistemas elétricos com relação a demais instalações, a fim de que seja obtido nestas instalações um adequado equilíbrio

---

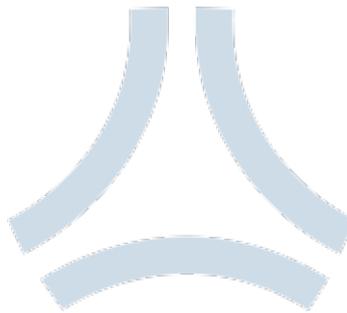
de potencial elétrico, sem que haja riscos para as diversas operações, principalmente, para aquelas localizadas em áreas classificadas (EX) da empresa.

Para o caso das subestações, deve ser verificada a adequação das malhas de aterramento no que se refere às **Tensões de Passo e Toque** (IEEE STD 80) (vide item 17 – Cálculo da Malha de Aterramento).

As medições das malhas de aterramento devem atender a NBR15749 e IEEE STD 81.

Os equipamentos utilizados para medição devem ter atestado de calibração, com rastreabilidade junto ao INMETRO.

Estudos, projetos, laudos e medições devem ser aprovados por profissional legalmente habilitado.



## 25. PRONTUÁRIO DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

O **Prontuário das Instalações Elétricas** contém uma série de documentos que devem ser apresentados pela empresa prestadora de serviços de instalações elétricas, juntamente com os Certificados de Aprovação das Áreas Classificadas. A documentação necessária para compor o Prontuário está relacionada no item 25.1.

A **NR 10** define esta necessidade e a NBR5410 e NBR14039 corroboram esta definição.

### **NBR 5410 – Item 7**

#### **7 Verificação final**

##### **7.1 Prescrições gerais**

**7.1.1** *Qualquer instalação nova, ampliação ou reforma de instalação existente deve ser inspecionada e ensaiada, durante a execução e/ou quando concluída, antes de ser colocada em serviço pelo usuário, de forma a se verificar a conformidade com as restrições desta Norma.*

**7.1.2** *A documentação da instalação requerida em 6.1.8 deve ser fornecida ao pessoal encarregado da verificação. Essa documentação, como especificado em 6.1.8.2, deve refletir a instalação “como construída” (as built).*

**7.1.3** *Durante a realização da inspeção e dos ensaios devem ser tomadas precauções que garantam a segurança das pessoas e evitem danos à propriedade e aos equipamentos instalados.*

**7.1.4** *Em caso de ampliação ou reforma, deve ser verificado também se ela não compromete a segurança da instalação existente.*

**7.1.5** *As verificações devem ser realizadas por profissionais qualificados, com experiência e competência em inspeções. As verificações e seus resultados devem ser documentados em um relatório.*

### **NBR 14039 – Item 7**

#### **7 Verificação final**

##### **7.1 Prescrições gerais**

**7.1.1** *Toda instalação, extensão ou alteração de instalação existente deve ser visualmente inspecionada e ensaiada, durante e/ou quando concluída a instalação, antes de ser colocada em serviço pelo usuário, de forma a se verificar, tanto quanto possível, a conformidade com as prescrições desta Norma.*

**7.1.5 A partir desta verificação deve ser elaborado um Laudo que certifique a conformidade da instalação com esta Norma, por profissional devidamente habilitado e/ou credenciado.**

## 25.1. DOCUMENTOS QUE COMPÕEM O PRONTUÁRIO DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

**a) Conjunto de procedimentos e instruções técnicas e administrativas de segurança e saúde relacionadas à NR10 e descrição das medidas de controle existentes (item 10.2.4 a).**

- Formulário para Ordem de Serviço.
- Listagem de atividades de risco.
- Análise de Risco: Procedimento / formulário utilizado para Análise de riscos pelo Deptº de Segurança.
- Instruções aos trabalhadores não advertidos (Integração de segurança).
- Ações de emergência pertinentes às instalações ou serviços com eletricidade.

**b) Documentação das inspeções e medições do sistema de proteção contra descargas atmosféricas e aterramentos elétricos (item 10.2.4 b) e Medições de Nível de Iluminamento.**

- Planta da malha de aterramento.
- Outras plantas de aterramento existentes.
- Memoriais de Cálculo: Aterramento (contemplando Tensões de Passo e Toque) e SPDA
- Plantas de SPDA.
- Relatório de Inspeções e Medições.
- Relatório de Medições de Nível de Iluminamento

**c) Especificações dos equipamentos de proteção coletiva e individual e o ferramental, aplicáveis conforme determina a NR10 (item 10.2.4 c).**

- Estudo de curto-circuito e seletividade.
- Estudo de Arco Incidente para determinação das Áreas Controladas, Distância Segura e especificação da vestimenta.
- Dados dos equipamentos de segurança existentes com CA (Certificado de Aprovação) que devem ser arquivados no Prontuário.

**d) Documentação comprobatória da qualificação, habilitação, capacitação, autorização dos trabalhadores e dos treinamentos realizados (item 10.2.4 d).**

- Organograma da empresa com enfoque nos profissionais envolvidos com as Instalações Elétricas, inclusive a subordinação dos Empreiteiros.
- Ficha de Registro dos Funcionários que atuam com Eletricidade.
- Descrição de Cargo: limites de atuação e autorização.
- Atestado de saúde compatível conforme 10.8.7.

- Certificados de Conclusão de Cursos que qualifique o funcionário às atividades da Descrição de Cargo.
  - Responsável Técnico das Instalações Elétricas: Engenheiro Eletricista - Modalidade Eletrotécnica com CREA e ART recolhida.
- e) Resultados dos testes de isolamento elétrica realizados em equipamentos de proteção individual e coletiva (item 10.2.4 e) e/ou certificados de ensaios / conformidade dos mesmos.**
- Luvas de borracha isolamento 1000V e 20kV, luva industrial cano longo, bastão isolado, kit de aterramento, ferramentas utilizadas em instalações energizadas.
- f) Certificações dos equipamentos e materiais elétricos em áreas classificadas (item 10.2.4 f).**
- Memoriais de Classificação de Áreas.
  - Plantas de Classificação de Áreas.
  - Lista e Certificados dos Equipamentos instalados em Áreas Classificadas.
- g) Relatório técnico de inspeção das instalações (10.2.4.g).**
- Relatório e verificação das instalações elétricas conforme NR 10.
  - Conforme estabelecido nas NBR5410 e NBR 14039 para se energizar uma Instalação de Energia Elétrica é necessário assegurar-se de que todas as condições nominais do sistema estejam funcionais e corretamente.
  - O recebimento da Instalação Elétrica deve estar vinculado ao atendimento das prescrições das Normas, conforme apresentado abaixo:
- h) Diagrama Unifilar Elétrico (as-built) (item 10.2.3).**
- Diagramas Unifilares de Média e Baixa Tensão.
  - Planta Geral com locação das Salas Elétricas.
- i) Dimensionamento das Instalações Elétricas**
- Dimensionamento dos Equipamentos.
  - Dimensionamento dos Ramais alimentadores principais.
  - Relatório de Comissionamento.

## 26. AS BUILT

É imprescindível que os projetos tenham documentos fiéis em relação ao produto, para que possibilitem a realização de trabalhos de manutenção corretiva e preventiva após a ocupação da obra. Isto implica numa sistematização de procedimentos, durante a execução da obra, como identificação das alterações ocorridas e fiel registro nos projetos correspondentes.

### 26.1. DEFINIÇÃO DE PROJETO “AS BUILT”

Projeto “*As Built*” é o conjunto de informações elaboradas na fase de supervisão e fiscalização das obras com o objetivo de registrar as condições físicas e econômicas da execução da obra, fornecendo elementos considerados relevantes para subsidiarem futuras intervenções na obra, como: reformas, ampliação e/ou restauração.

Ao término da produção e após a entrega da obra, o Projeto “*As Built*” deve representar fielmente o objeto construído, com registros das alterações verificadas durante a execução.

As alterações dos projetos que implicam em novos dimensionamentos serão tratadas, exclusivamente, pelos respectivos projetistas, devendo o Projeto “*As Built*” ser elaborado a partir destes projetos alterados. O custo dessas alterações não incide sobre o Projeto “*As Built*”, devendo integrar o custo do projeto executivo.

O Projeto “*As Built*” é executado a partir do projeto executivo (inclusive os projetos alterados), incluindo-se os ajustes necessários quando da execução do projeto.

### 26.2. OBJETIVO

Definir e padronizar os procedimentos para a elaboração de Projeto “*As Built*” a serem consolidados imediatamente após a conclusão das obras gerenciadas, registrando as características efetivamente implantadas em comparação às inicialmente projetadas.

#### 26.2.1. ETAPAS DO SERVIÇO

A identificação e documentação das alterações observadas visam à atualização do projeto executivo, compatibilizando-o com a obra executada e servindo como apoio às futuras obras complementares ou modificações que se fizerem necessárias.

Em função de dados e informações da situação do Projeto “*As Built*”, será possível estimar a vida útil futura de vários componentes da infraestrutura, a partir do desenvolvimento de novos modelos de previsão de desempenho ou calibração dos modelos existentes.

A elaboração do Projeto “*As Built*” compõe-se de duas fases:

- Fase de execução;
- Fase de conclusão.

## 26.2.2. FASE DE EXECUÇÃO

Desenvolve-se paralelamente à execução da obra, quando se devem constatar eventuais desvios em relação ao projeto executivo e registrar de imediato a ocorrência de alterações, por meio de desenhos e relatórios preliminares a serem emitidos mensalmente.

Todos os registros realizados devem ser arquivados pela incorporadora-construtora da obra em meio digital para disponibilização, quando necessário ou solicitado, pelo proprietário da obra ou empresa gerenciadora.

O Projeto “*As Built*” elaborado durante esse período de execução da obra deverá ser entregue quando do Recebimento Definitivo da Obra.

## 26.2.3. FASE DE CONCLUSÃO

Os desenhos e relatórios preliminares e documentos produzidos durante a execução devem ser compilados, gerando um relatório de “*As Built*” que complementa o projeto executivo considerando as modificações efetivamente implantadas na obra.

Quando ocorrerem as alterações, as mesmas integrarão o Projeto “*As Built*”. Quando não ocorrerem alterações, o Projeto “*As Built*” será o Projeto Executivo, constando no selo a denominação de Projeto “*As Built*” e a data atualizada.

**NOTA:** As pranchas de desenho e demais peças deverão possuir identificação contendo:

- Denominação e local da obra;
- Nome da empresa executora;
- Tipo de projeto (arquitetônico, estrutural, elétrico, hidro-sanitário, de drenagem, etc.);
- Indicador da área ou extensão e/ou capacidade do empreendimento – caso de reforma ou ampliação, indicar a área ou extensão da reforma ou ampliação e a área total ou extensão;
- Data;
- Nome do responsável técnico, número de registro no CREA e sua assinatura;

O relatório deve ser constituído, no mínimo, pelos itens abaixo relacionados, respeitando esta sequência de apresentação dos capítulos:

### a. Informações gerais do empreendimento

Neste item, devem ser apresentadas informações básicas do empreendimento, como localização, divisão em lotes de projeto, construção e supervisão, acompanhada dos nomes das empresas responsáveis pelas atividades, das datas de implantação e principais marcos. Deve constar ainda o número da ART de execução e de fiscalização.

## **b. Projeto de Arquitetura**

Representação gráfica, constando todas as alterações processadas, em relação à geometria projetada, durante a obra nos projetos de arquitetura e engenharia, no formato A3 ou formato mais adequado – Pranchas e Memorial Descritivo.

As Pranchas a serem apresentadas devem consistir na representação gráfica do objeto executado, elaboradas de modo a permitir sua visualização em escala adequada, demonstrando formas, dimensões, funcionamento e especificações, perfeitamente definida em plantas, cortes, elevações, esquemas e detalhes, obedecendo às normas técnicas pertinentes.

Os Memoriais Descritos implicam em descrição detalhada do histórico do objeto executado, na forma de texto, onde deverão estar apresentadas as soluções técnicas adotadas, bem como suas justificativas necessárias ao pleno entendimento do projeto, complementando as informações contidas nos desenhos.

Quando um Projeto de Arquitetura tiver previsão para futura ampliação de uma unidade construtiva, o Projeto de Instalações da unidade a ser ampliada deverá prever todos os detalhes de ligação da unidade existente com a futura ampliação, de maneira a permitir continuidade das instalações. Em tais casos, todo o sistema deverá ser dimensionado para as condições de maior ampliação prevista.

## **c. Projeto de Instalações**

Todos os projetos de instalações devem ter o seu Prontuário específico, que conterá todos os documentos pertinentes baseados nas Normas Técnicas de cada especialidade abaixo citada, como segue:

- Projeto de Instalações Elétricas – de acordo com a NR10;
- Projeto de Instalações Hidráulicas;
- Projeto de Instalações de Ar Condicionado;
- Projeto de Instalações de Proteção Contra Incêndio;
- Projeto de Instalações de Operação Contra Incêndio;
- Projeto de Instalações de Iluminação (Luminotécnica);
- Projeto de Instalações de Comunicações;
- Projeto de Instalações de Acústica;
- Projeto de Instalações de Sistemas de Gestão e Controle (Automação Predial / Segurança).

## **d. Especificações técnicas e equipamentos instalados;**

Disponibilização da identificação (especificações técnicas) de todos os equipamentos instalados e Salas Elétricas em conjunto com todos os layouts e plantas atualizados, para possibilitar manutenção preventiva, preditiva e corretiva.

## **e. Obras especiais**

As obras executadas devem ser caracterizadas por desenhos que contemplem todas as alterações em relação ao projeto executivo.

Devem ser apresentadas todas as características das fundações executadas, inclusive cotas, dimensões, desaprumo etc., tanto para fundação direta quanto fundação profunda, isto é, tubulões, estacas metálicas, estacas pré-moldadas, estacas moldadas *in loco* etc.

Devem-se indicar os traços de concreto apresentados e aprovados, bem como quadro-resumo dos ensaios para controle tecnológico do concreto, ensaios de aço utilizados na obra, ensaios de cordoalhas, boletins de protensão e métodos executivos utilizados.

## **f. Obras complementares**

Caso outras obras tenham sido projetadas e executadas, também deve ser feita verificação e apresentação de seus registros.

## **g. Conclusões**

No item de conclusões, devem constar: análise dos relatórios de controles tecnológicos e topográficos das obras, comentários gerais sobre a execução das obras e quadro-resumo que apresente os quantitativos previstos em projeto e aqueles efetivamente executados.

## **h. Anexos**

Todos quantos forem necessários para melhor verificação do objeto executado

## **26.3. ELABORAÇÃO DO PROJETO “AS BUILT”**

### **26.3.1. CONHECIMENTO DOS PROJETOS EXECUTIVOS**

O início das atividades do Projeto “As Built” pressupõe que toda a documentação relativa ao projeto executivo esteja disponibilizada na obra. O projeto executivo é indispensável para as atividades de supervisão e diversos tipos de controle da obra, e serve como embasamento da comparação das características previstas no projeto às efetivamente implementadas.

Toda a documentação deve estar disponível em meio digital, no formato “.dwg”, permitindo a execução das correções sem necessidade de elaboração de novo desenho.

Além do projeto propriamente dito, devem-se verificar quais as normas técnicas a serem observadas, relacionando-as.

Salienta-se que as alterações e desvios constatados ao longo do desenvolvimento dos trabalhos, em relação aos inicialmente projetados, constituirão, juntamente com o projeto original, a base para elaboração do Projeto “As Built”.

A elaboração do Projeto “As Built” não exime a supervisora da responsabilidade de verificação e inclusão de obras que, apesar de não fazerem parte do projeto executivo, interferem, integram ou foram executadas simultaneamente, mesmo que por outrem.

## 26.3.2. REGISTRO DAS ALTERAÇÕES

Todas as alterações implementadas pelos projetistas e equipes de execução devem ser documentadas e compiladas nos relatórios preliminares da obra.

Deve-se atentar às causas das modificações, buscando avaliar se decorreram de incidentes aleatórios ou de deficiências do projeto inicial, podendo servir de embasamento aos próximos projetos.

Em casos específicos, e dependendo da natureza das alterações, estas devem ser caracterizadas através da realização de levantamentos topográficos, preferencialmente a cargo da empresa responsável pela supervisão das obras.

Ressalta-se que até mesmo a adoção de especificações diferentes das recomendadas no projeto executivo, deve ser registrada, apresentando-se as justificativas cabíveis.

Além disso, no período de obras, todas as interferências e remanejamentos definitivos devem ser documentados, independentemente de constarem dos projetos executivos.

## 26.3.3. FASE DE CONCLUSÃO

A fase final constitui-se pela compilação dos dados coletados nos relatórios preliminares da fase executiva.

Devem ser elaborados os documentos que representem a última versão emitida do projeto e que sejam condizentes e coerentes com a real implantação da obra.

O relatório e os desenhos do Projeto “As Built” devem contemplar, no mínimo, as informações relacionadas no item 26.2.3, dentro da mesma sequência. Nos casos em que não haja alterações, devem-se registrar as informações correspondentes ao projeto original. Ressalta-se que o roteiro dado anteriormente é referencial, e quaisquer outras alterações que ocorram também devem ser destacadas pela empresa responsável pela elaboração do Projeto “As Built”.

## 27. REFERÊNCIAS

- Adélio José de Moraes e Sérgio Ferreira de Paula Silva – Palestras: Dimensionamento de Condutores e Dimensionamento de Condutos;
- Aguinaldo Bizzo de Almeida – Desenvolvimento e Planejamento em Segurança do Trabalho - [www.dpst.com.br](http://www.dpst.com.br);
- Alan Rômulo Silva Queiroz, Eduardo César Senger e Cícero Couto de Moraes – artigo do site O Setor Elétrico – [www.osetoreletrico.com.br](http://www.osetoreletrico.com.br);
- Carlos Martins – Schneider Electric;
- César Cassiolato – Artigo: Dicas de blindagem e aterramento em automação industrial – 2011;
- Cláudio S. Mardegan – [www.engepower.com](http://www.engepower.com), artigo do site O Setor Elétrico – [www.osetoreletrico.com.br](http://www.osetoreletrico.com.br);
- CPNSP - Manual de treinamento - curso básico segurança em instalações e serviços com eletricidade – NR 10;
- C.T. nº 158 – Cálculo das correntes de curto-circuito – Schneider Electric
- Curso de Proteção Contra Descargas Atmosféricas - Eng. Roberto R. Simões de Freire. M.Sc;
- Galeno Lemos Gomes – Artigo: Sistema de aterramento e proteção contra raios utilizando ferragens do concreto armado - Trabalho apresentado no Enie 2006 – XI Encontro Nacional de Instalações Elétricas (Junho de 2006, São Paulo, SP);
- George Schoenfelder e Sérgio Cabral – Artigo: Medições de continuidade elétrica em descidas estruturais de para-raios – 2011 - [www.osetoreletrico.com.br](http://www.osetoreletrico.com.br);
- Guia EM da NBR5410 – Revista Eletricidade Moderna
- Hilton Moreno – Artigo: Dimensionamento Econômico de Condutores Elétricos - Procobre
- IEEE Std 1584™ - IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations, 2002;
- IEEE Std 1584a™ - IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations – Amendment 1, 2004;
- IEEE Std 80-2000 - Guide for Safety in AC Substation Grounding;
- Jobson Modena e Hélio Sueta – Medição da Resistividade do Solo - artigo do site O Setor Elétrico – [www.osetoreletrico.com.br](http://www.osetoreletrico.com.br);
- Manual de orientação para manutenção de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas – FDE – Fundação para Desenvolvimento da Educação – [www.fde.sp.gov.br](http://www.fde.sp.gov.br);
- Manual Prysmian de Instalações Elétricas 2010
- Marcus Possi – Artigo: Verificação Final I e II - [www.osetoreletrico.com.br](http://www.osetoreletrico.com.br);
- Victor L. Merlin – Engenheiros Associados - [www.engenheirosassociados.com.br/curto\\_circuito.asp](http://www.engenheirosassociados.com.br/curto_circuito.asp)
- NBR5410 – Instalações elétricas de baixa tensão;
- NBR5419 – Proteção contra descargas atmosféricas;
- NBR14039 - Instalações elétricas de média tensão (de 1.0kV a 36.2kV)
- NFPA 70E®: Standard for Electrical Safety in the Workplace®, 2009 Edition;
- Proteção contra choques – João Gilberto Cunha – 2003;
- Schneider Electric - Electrical installation guide 2010;
- [under-linux.org/b342-para-raios](http://under-linux.org/b342-para-raios);

- [www.openelectrical.org/wiki/index.php?title=Earthing\\_Calculation;](http://www.openelectrical.org/wiki/index.php?title=Earthing_Calculation;)
- [www.seniorengenharia.com.br;](http://www.seniorengenharia.com.br;)

