

*Critérios para projetos e procedimento
para execução de aterramentos nas
redes de distribuição*

ENERGISA/GTD-NRM/Nº044/2020

Norma de Distribuição Unificada

NDU - 034

Versão 0.0 - Maio / 2019



Apresentação

Nesta norma técnica apresenta os critérios básicos e as exigências técnicas mínimas que devem ser obedecidas para elaboração de projetos e execuções dos aterramentos nas linhas e redes de distribuição de energia elétrica, em classe de tensão até 46 kV e em padrões de entrada de energia elétrica, nas áreas de concessão das distribuidoras do grupo Energisa S.A.

Para tanto foram consideradas as especificações e os padrões do material em referência, definidos nas normas brasileiras registradas (ABNT NBR) da associação brasileira de normas técnicas (ABNT), ou outras normas internacionais reconhecidas, acrescidos das modificações baseadas nos resultados de desempenho destes materiais nas empresas do grupo Energisa.

As cópias e/ou impressões parciais ou em sua íntegra deste documento não são controladas.

A presente revisão desta norma técnica é a versão 0.0, datada de maio de 2019.

Cataguases - MG, maio de 2019.

GTD - Gerência Técnica de Distribuição

Esta Norma Técnica, bem como as alterações, poderá ser acessada através do código abaixo:





Equipe técnica de elaboração da NDU-034

Gustavo Machado Goulart

Grupo Energisa

Paulo Henrique Cortez

Energisa Tocantins

Leonardo Chahim Pereira

Grupo Energisa

Ricardo Miranda Santana

Energisa Sergipe

Eneas Rodrigues de Siqueira

Energisa Mato Grosso

Ricardo Campos Rios

Grupo Energisa

Patrick Pazini da Silva

Energisa Mato Grosso do Sul

Ricardo Machado de Moraes

Grupo Energisa



Aprovação técnica

Ademálio de Assis Cordeiro

Grupo Energisa

Jairo Kennedy Soares Perez

Energisa Borborema / Energisa Paraíba

Alessandro Brum

Energisa Tocantins

Juliano Ferraz de Paula

Energisa Sergipe

Amaury Antonio Damiance

Energisa Mato Grosso

Paulo Roberto dos Santos

Energisa Mato Grosso do Sul

Fernando Lima Costalonga

Energisa Minas Gerais / Energisa Nova Friburgo

Ricardo Alexandre Xavier Gomes

Energisa Acre

Fabício Sampaio Medeiros

Energisa Rondônia

Rodrigo Brandão Fraiha

Energisa Sul-Sudeste

Sumário

1	OBJETIVO	8
2	CAMPO DE APLICAÇÃO	8
3	OBRIGAÇÕES E COMPETÊNCIAS.....	8
4	REFERÊNCIAS NORMATIVAS	8
4.1	LEGISLAÇÃO	9
4.2	NORMA TÉCNICA BRASILEIRA	9
4.3	NORMA TÉCNICA INTERNACIONAL.....	10
4.4	NORMAS TÉCNICAS DO GRUPO ENERGISA.....	10
5	TERMINOLOGIA E DEFINIÇÕES.....	11
5.1	ATERRAMENTO	11
5.2	CONDUTOR DE ATERRAMENTO (RABICHO).....	11
5.3	CIRCUITO TERRA.....	11
5.4	CORRENTE DE FALTA	11
5.5	CORRENTE DE INTERFERÊNCIA (EM MEDIÇÕES DE ATERRAMENTO)	11
5.6	CORRENTE DE MALHA.....	11
5.7	ELETRODO DE ATERRAMENTO	12
5.8	ELETRODO NATURAL DE ATERRAMENTO	12
5.9	FALTA (ELÉTRICA)	12
5.10	HASTE DE ATERRAMENTO.....	12
5.11	MALHA DE ATERRAMENTO	12
5.12	POTENCIAIS PERIGOSOS	12
5.13	POTENCIAL TRANSFERIDO.....	12
5.14	REDE DE DISTRIBUIÇÃO RURAL (RDR).....	12
5.15	REDE DE DISTRIBUIÇÃO URBANA (RDU).....	13
5.16	REDE PRIMÁRIA CONVENCIONAL.....	13
5.17	REDE PRIMÁRIA PROTEGIDA.....	13
5.18	REDE SECUNDÁRIA.....	13
5.19	RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO (DE UM ELETRODO)	13
5.20	RESISTIVIDADE APARENTE DO SOLO	13
5.21	RESISTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO (RESISTIVIDADE DO SOLO)	13
5.22	SISTEMA ATERRADO	14
5.23	SISTEMA DE ATERRAMENTO.....	14
5.24	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	14
5.25	SISTEMA DIRETAMENTE ATERRADO	14
5.26	SUBESTAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO (SED)	14
5.27	TENSÃO MÁXIMA DO SISTEMA DE ATERRAMENTO	14
5.28	TENSÃO DE PASSO	14

5.29	TENSÃO DE TOQUE	15
5.30	TERRA.....	15
5.31	TERRA DE REFERÊNCIA.....	15
6	CONDIÇÕES GERAIS.....	15
7	CRITÉRIOS PARA ATERRAMENTO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO	17
7.1	REDES AÉREAS URBANAS COM CONDUTORES NUS	17
7.2	REDES AÉREAS URBANAS COM CONDUTORES PROTEGIDAS	18
7.3	REDES AÉREAS RURAIS COM CONDUTORES NUS.....	18
8	CONSTRUÇÃO E ACOMPANHAMENTO DOS ATERRAMENTOS	20
8.1	CONSTRUÇÃO	20
8.2	ACOMPANHAMENTO DAS INSTALAÇÕES	21
8.3	INSPEÇÃO DOS ATERRAMENTOS.....	22
8.3.1	Generalidades	22
8.3.2	Materiais	23
8.3.3	Estrutura do equipamento	23
9	ATERRAMENTO DE CERCAS.....	24
9.1	REDES DE DISTRIBUIÇÃO	24
9.1.1	Cercas paralelas às redes	24
9.1.2	Cercas transversais às redes (cruzamentos)	25
9.1.3	Cuidados com cercas próximas aos aterramentos de redes de distribuição	25
9.1.4	Cercas paralelas à configuração do aterramento	26
9.1.5	Cercas transversais à configuração do aterramento	26
10	ATERRAMENTO DE ESTAIS	26
11	CRITÉRIOS PARA ATERRAMENTO DAS ENTRADAS DE SERVIÇO.....	27
11.1	UNIDADES CONSUMIDORAS ATENDIDAS EM TENSÃO SECUNDÁRIA DE DISTRIBUIÇÃO	27
11.2	UNIDADES CONSUMIDORAS ATENDIDAS EM TENSÃO PRIMÁRIA DE DISTRIBUIÇÃO.....	28
11.3	CENTRO DE MEDIÇÃO EM EDIFÍCIO DE USO COLETIVO	29
12	NÍVEIS DE SEGURANÇA ACEITÁVEIS PARA OS ATERRAMENTOS.....	30
12.1	DESEMPENHO ELÉTRICO	30
12.2	DESEMPENHO MECÂNICO	30
13	MATERIAIS PADRONIZADOS.....	31
14	METODOLOGIAS PARA ELABORAÇÃO DE PROJETO DE ATERRAMENTO	31
14.1	MODELAGEM DO SOLO (ESTRATIFICAÇÃO DO SOLO)	31
14.2	PROJETO DE ATERRAMENTO DE LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO DE MÉDIA TENSÃO.....	31
15	EXECUÇÃO DA MALHA DE ATERRAMENTO.....	32
15.1	PRIMEIRA HASTE	32

15.2	HASTE PROFUNDA	33
15.3	HASTES PARALELAS	35
15.4	ATERRAMENTO REMOTO	38
16	MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO	39
16.1	PRECAUÇÕES DE SEGURANÇA.....	39
16.2	INSTALAÇÃO DO APARELHO	40
16.3	DETERMINAÇÃO DO VALOR DA RESISTÊNCIA DE TERRA	40
17	NOTAS COMPLEMENTARES.....	42
18	HISTÓRICO DE VERSÕES DESTE DOCUMENTO.....	42
19	VIGÊNCIA.....	42
20	TABELAS E GRÁFICOS	43
	TABELA 1 – Tensões primárias e secundarias	43
	TABELA 2 - Seções mínimas para o condutor de proteção	45
	GRÁFICO 1 - Tensões de passo admissíveis.....	46
	GRÁFICO 2 - Tensões de toque admissíveis	47
21	DESENHOS	48
	DESENHO 1 - Aterramento de cercas paralelas	48
	DESENHO 2 - Aterramento de cercas transversais.....	49
	DESENHO 3 - Aterramento de proteção para cerca elétrica.....	51
	DESENHO 4 - Aterramento de telas.....	52
	DESENHO 5 - Aterramento normal ou simples	53
	DESENHO 6 – Aterramento haste paralela.....	54
	DESENHO 7 - Principais elementos físicos a serem considerados em cálculos e simulações para o dimensionamento de uma malha de terra	55
	DESENHO 8 - Sistema de potência típico em condição de falta para a terra, sem cabo para-raios ou neutro	56
	DESENHO 9 - Sistema de potência típico em condição de falta para a terra, com cabo para-raios ou neutro	57

1 OBJETIVO

A presente norma estabelece os critérios básicos e as exigências técnicas mínimas que devem ser obedecidas nas elaborações de projetos e nas execuções dos aterramentos nas linhas de distribuição em baixa e média tensão e em padrões de entrada de energia elétrica na área de concessão da Energisa.

Apresenta as metodologias e procedimentos a serem aplicados na implementação das seguintes atividades:

- Medição de resistividade do solo;
- Estratificação do solo;
- Medições de potenciais de passo, toque e transferência;
- Medição de resistência de aterramento com sistema energizado e desenergizado.

2 CAMPO DE APLICAÇÃO

Esta norma aplica-se a todas as atividades que envolvam projeto e execução de aterramentos destinados a equipamentos, instalações consumidoras, redes aéreas urbanas e rurais, além de subestações de distribuição de energia elétrica.

3 OBRIGAÇÕES E COMPETÊNCIAS

Compete a áreas de planejamento, engenharia, patrimônio, suprimentos, elaboração de projetos, construção, ligação, combate a perdas, manutenção, linha viva e operação do sistema elétrico cumprir e fazer cumprir este instrumento normativo.

4 REFERÊNCIAS NORMATIVAS

Esta Norma Técnica foi baseada no seguinte documento:

- ABNT NBR 7117, Medição da resistividade do solo pelo método dos quatro pontos (Wenner)
- ABNT NBR 16527, Aterramento para sistemas de distribuição

4.1 Legislação

- Lei N.º 11.337, de 26/07/2006, determina a obrigatoriedade de as edificações possuírem sistema de aterramento e instalações elétricas compatíveis com a utilização de condutor-terra de proteção, bem como torna obrigatória a existência de condutor-terra de proteção nos aparelhos elétricos especificados
- NR 10, Segurança em instalações e serviços em eletricidade
- Resolução Normativa ANEEL N.º 414 de 09/09/2010, estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica de forma atualizada e consolidada

4.2 Norma técnica brasileira

- ABNT NBR 5370, Conectores de cobre para condutores elétricos em sistemas de potência
- ABNT NBR 5410, Instalações elétricas de baixa tensão
- ABNT NBR 5456, Eletricidade geral - Terminologia
- ABNT NBR 5460, Eletrotécnica e eletrônica - Sistemas elétricos de potência - Terminologia
- ABNT NBR 6323, Galvanização por imersão a quente de produto de aço e ferro fundido - Especificação
- ABNT NBR 8120, Fios de aço revestido de cobre, nus, para fins elétricos - Especificação

- ABNT NBR 8158, Ferragens eletrotécnicas para redes aéreas, urbanas e rurais de distribuição de energia elétrica - Especificação
- ABNT NBR 8159, Ferragens eletrotécnicas para redes aéreas, urbanas e rurais de distribuição de energia elétrica - Padronização
- ABNT NBR 13571, Hastes de aterramento aço-cobreada e acessórios - especificação
- ABNT NBR 14039, Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV
- ABNT NBR 16730, Cordoalhas de fios de aço zincados para eletrificação - requisitos

4.3 Norma técnica internacional

- IEC 60479-1, Effects of current on human beings and livestock - Part 5: Touch voltage threshold values for physiological effects
- IEEE 80, Guide for safety in ac substation grounding

4.4 Normas técnicas do grupo Energisa

- NDU-002, fornecimento de energia elétrica em tensão primária
- NDU-004.1, instalações básicas para construção de redes de distribuição MT protegida urbana
- NDU-004.3, instalações básicas para construção de redes de distribuição multiplexadas de baixa tensão
- NDU-005, instalações básicas para construção de redes de distribuição rurais
- NDU-006, critérios básicos para elaboração de projetos de redes de distribuição aéreas urbanas
- NDU-007, critérios básicos para elaboração de projetos de redes de distribuição aéreas rurais

- NDU-018, critérios básicos para elaboração de projetos de construção de redes subterrâneas em baixa e média tensão
- NDU-023, instalações básicas para equipamentos especiais em rede de distribuição

5 TERMINOLOGIA E DEFINIÇÕES

5.1 Aterramento

Ligação intencional de parte eletricamente condutiva à terra, através de um sistema de aterramento.

5.2 Condutor de aterramento (rabicho)

Condutor ou elemento metálico, que faz a ligação elétrica entre uma parte de uma instalação que deve ser aterrada e o eletrodo de aterramento.

5.3 Circuito terra

Circuito elétrico formado pelos componentes responsáveis pelo escoamento da corrente de falta fase-terra (ou de uma fração da mesma) para o solo.

5.4 Corrente de falta

Corrente que flui de um condutor para outro e/ou para a terra, no caso de uma falta e no local desta. No texto, a corrente de falta é a corrente de curto-circuito assimétrica fase-terra.

5.5 Corrente de interferência (em medições de aterramento)

Qualquer corrente estranha ao processo de medição capaz de influenciar seus resultados.

5.6 Corrente de malha

Parcela da corrente de falta dissipada pela malha de aterramento para o solo.

5.7 Eletrodo de aterramento

Condutor enterrado no solo, eletricamente ligado a ele, ou condutor embutido em concreto que, por sua vez, está em contato com o solo através de uma grande área.

5.8 Eletrodo natural de aterramento

Elemento condutor ligado diretamente à terra, cuja finalidade original não é de aterramento, mas que se comporta naturalmente como um eletrodo de aterramento.

5.9 Falta (elétrica)

Contato ou arco acidental entre partes sob potenciais diferentes e/ou de uma ou mais dessas partes para a terra, num sistema ou equipamento elétrico energizado.

5.10 Haste de aterramento

Eletrodo de aterramento constituído por uma haste rígida cravada no solo.

5.11 Malha de aterramento

Conjunto de condutores nus, interligados e enterrados no solo.

5.12 Potenciais perigosos

Potenciais que podem provocar danos quando aplicados ao elemento tomado como referência.

5.13 Potencial transferido

Valor do potencial transferido para um ponto remoto de um dado sistema de aterramento.

5.14 Rede de distribuição rural (RDR)

Parte do sistema de distribuição de energia elétrica implantada fora do perímetro urbano de cidades, distritos, vilas e povoados.

5.15 Rede de distribuição urbana (RDU)

Parte do sistema de distribuição de energia elétrica implantada dentro do perímetro urbano de cidades, distritos, vilas e povoados.

5.16 Rede primária convencional

Parte de uma rede de distribuição, composta por cabos de alumínio/liga de alumínio nu, que alimenta transformadores de distribuição e/ou pontos de entrega em tensão primária de distribuição.

5.17 Rede primária protegida

Parte de uma rede de distribuição, composta por cabos anti-tracking, que alimenta transformadores de distribuição e/ou pontos de entrega em tensão primária de distribuição.

5.18 Rede secundária

Componente da rede de distribuição energizada pelos secundários de transformadores de distribuição.

5.19 Resistência de aterramento (de um eletrodo)

Resistência ôhmica entre eletrodo de aterramento e o terra de referência.

5.20 Resistividade aparente do solo

Valor da resistividade resultante da avaliação das condições locais e do tratamento estatístico dos resultados de diversas medições de resistividade do solo para um dado espaçamento efetuada numa determinada área ou local e que possa ser considerado como representativo das características elétricas do solo.

5.21 Resistividade elétrica do solo (resistividade do solo)

Resistência entre faces opostas do volume de solo, consistindo em um cubo homogêneo e isotrópico cuja aresta mede uma unidade de comprimento.

5.22 Sistema aterrado

Sistema ou parte de um sistema elétrico cujo neutro é permanentemente ligado à terra.

5.23 Sistema de aterramento

Conjunto de todos os eletrodos e condutores de aterramento, interligados ou não entre si, assim como partes metálicas que atuam direta ou indiretamente com a função de aterramento, tais como: cabos para-raios, torres e pórticos; armaduras de edificações; capas metálicas de cabos, tubulações e outros.

5.24 Sistema de distribuição

Parte de um sistema de potência destinado ao transporte de energia elétrica a partir do barramento secundário de uma subestação (onde termina a transmissão ou subtransmissão) até os pontos de consumo.

5.25 Sistema diretamente aterrado

Sistema aterrado sem interposição intencional de uma impedância.


5.26 Subestação de distribuição (SED)

Parte de um sistema de potência, concentrada em um dado local, com os respectivos dispositivos de manobra, controle e proteção, incluindo as obras civis e estruturas de montagem, podendo incluir também transformadores, equipamentos conversores e/ou outros equipamentos.

5.27 Tensão máxima do sistema de aterramento

Tensão máxima que um sistema de aterramento pode atingir relativamente ao terra de referência, quando da ocorrência de injeção de corrente para o solo.

5.28 Tensão de passo



Diferença de potencial entre dois pontos da superfície do solo separados pela distância de um passo de uma pessoa, considerado igual a 1,0 m.

5.29 Tensão de toque

Diferença de potencial entre um objeto metálico aterrado ou não é um ponto da superfície do solo separado por uma distância horizontal equivalente ao alcance normal do braço de uma pessoa, considerado igual a 1,0 m.

5.30 Terra


Massa condutora do solo num dado local ou, por extensão, uma massa metálica a ele ligada permanentemente.

5.31 Terra de referência

Região do solo suficientemente afastada da zona de influência de um eletrodo ou sistema de aterramento, tal que a diferença de potencial entre dois quaisquer de seus pontos, devido à corrente que circula pelo eletrodo para a terra, seja desprezível. É uma superfície praticamente equipotencial que se considera como zero para referência de tensões elétricas.

6 CONDIÇÕES GERAIS

- a) Os critérios e procedimentos aqui estabelecidos foram elaborados observando as normas da ABNT, bem como as padronizações contidas nas normas da Energisa.
- b) O sistema de distribuição da Energisa é composto, de modo geral, por redes aéreas com neutro contínuo, multi-aterrado e isolado da malha de terra da subestação de distribuição nas áreas urbanas e, nas áreas rurais, por redes aéreas trifásicas e monofásicas, com ou sem neutro contínuo.
- c) As tensões primárias e secundárias nominais das referidas redes de distribuição estão estabelecidas na Tabela 1.


- 
- d) Os materiais utilizados nos aterramentos das redes de distribuição devem ser especificados, recebidos e instalados de acordo com a norma NDU-010 e normas da ABNT.
 - e) O condutor de aterramento deverá ser tão curto e retilíneo quando possível, sem emendas e não conter nenhum dispositivo que possa causar sua interrupção.
 - f) As características e a eficácia dos aterramentos devem satisfazer as prescrições de segurança das pessoas e funcionais da instalação.
 - g) O valor da resistência de aterramento deve satisfazer as condições de proteção e de funcionamento da instalação elétrica, de acordo com o esquema de aterramento utilizado. Entretanto, para equipamentos especiais, recomenda-se uma resistência da ordem de grandeza de 10 ohms, como forma de reduzir os gradientes de potencial no solo.
 - h) Nos aterramentos de redes de distribuição, a distância entre hastes não deve ser inferior ao comprimento das mesmas, enquanto a distância mínima da haste em relação ao poste deve ser 1,0 m.
 - i) Os aterramentos devem ser construídos em conformidade com esta norma e demais padronizações contidas em outras normas Energisa.
 - j) A concessionária poderá efetuar vistorias durante a execução dos aterramentos e, quando necessário, realizará medições dos valores da resistência de aterramento e potenciais de toque e passo para verificar se estão dentro dos máximos permitidos.
 - k) Os casos omissos e outros de características excepcionais devem ser previamente submetidos à apreciação da Energisa.
 - l) Esta norma poderá ser parcial ou totalmente alterada, por razões de ordem técnica, sem prévia comunicação, motivo pelo qual os interessados devem periodicamente consultar a Energisa quanto a eventuais modificações.

m) As normas da Energisa encontram-se disponíveis na internet, através do site.

7 CRITÉRIOS PARA ATERRAMENTO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO

7.1 Redes aéreas urbanas com condutores nus

- a) Devem ser aterrados todos os para-raios, tanques dos transformadores, religadores, reguladores de tensão, capacitores e chaves.
- b) O condutor neutro deve ser aterrado aproximadamente a cada 300 metros e não ser interrompido.
- c) Não deve haver ponto de circuito secundário afastado mais de 200 m com relação a um aterramento.
- d) O neutro deverá ser aterrado sempre no final do circuito primário, secundário ou em ambas as estruturas.
- e) A ligação à terra dos equipamentos deve ser comum ao aterramento dos para-raios e interligado ao neutro da rede.
- f) Nas redes com condutor neutro multi-aterrado, os aterramentos devem ser feitos de acordo com os seguintes critérios:
 - Condutor neutro ao longo e em finais de rede: três hastes circular de aço cobreado, dimensões 14,3 x 2.400 mm; utilizando como condutor de aterramento cordoalha de aço cobreado 3 fios com seção de 16 mm²;
 - Para-raios e transformadores: três hastes circular de aço cobreado diâmetro 14,3 x 2.400 mm de comprimento e condutor de aterramento em aço cobreado 7 fios com seção de 25 mm²;
 - Equipamentos especiais (religadores, capacitores, chaves e reguladores de tensão) em redes primárias com neutro contínuo: seis hastes circular de



ação cobreado diâmetro 14,3 x 2.400 mm de comprimento e condutor de aterramento em aço cobreado 7 fios com seção de 35 mm²;

- Equipamentos especiais (religadores, capacitores, chaves e reguladores de tensão) em redes primárias sem neutro disponível: elaborar o projeto de aterramento específico para cada caso.


7.2 Redes aéreas urbanas com condutores protegidas

- a) O mensageiro da rede protegida deve ser interligado ao condutor neutro da secundária nas estruturas onde houver aterramento.
- b) Mensageiro deve ser aterrado nos seguintes pontos:
 - A cada 300 metros;
 - Nas transições entre redes protegidas e convencionais;
 - Nas estruturas com instalações de para-raios e equipamentos;
 - Final de circuito.
- c) Os para-raios e equipamentos instalados em redes aéreas protegidas devem ser aterrados de acordo com os mesmos critérios utilizados para as redes convencionais.

Devem ser previstos pontos definitivos para aterramento temporário, em locais estratégicos da rede, através de conector tipo estribo cunha, com capa protetora, ou conector estribo a compressão, espaçados no máximo 300 metros.

7.3 Redes aéreas rurais com condutores nus

- a) Devem ser aterrados todos os para-raios, tanques dos transformadores, religadores, reguladores de tensão, capacitores e chaves.
- b) O condutor neutro deve ser contínuo e aterrado alternadamente, em uma estrutura sim outra não, quando o vão for menor ou igual a 300 metros,



independentemente de ser estrutura estaiada. No caso de vãos maiores que 300 metros, devem-se aterrar todas as estruturas, tanto na rede monofásica como na rede trifásica.


- c) Todo fim de rede primária deve ter o neutro aterrado.
- d) A ligação à terra deve ser comum aos para-raios, ao tanque do equipamento a ser protegido e ao condutor neutro.
- e) Nas redes primárias com o neutro disponível os aterramentos devem obedecer às orientações abaixo descritas:
 - Condutor neutro ao longo e em finais de rede: três hastes circular de aço cobreado, dimensões 14,3 x 2.400 mm; utilizando como condutor de aterramento cordoalha de aço cobreado 3 fios com seção de 16 mm²;
 - Para-raios e transformadores: três hastes circular de aço cobreado diâmetro 14,3 x 2.400 mm de comprimento e condutor de aterramento em aço cobreado 7 fios com seção de 25 mm²;
 - Equipamentos especiais (relogadores, capacitores, chaves e reguladores de tensão) em redes primárias com neutro contínuo: seis hastes circular de aço cobreado diâmetro 14,3 x 2.400 mm de comprimento e condutor de aterramento em aço cobreado 7 fios com seção de 35 mm²;
 - Equipamentos especiais (relogadores, capacitores, chaves e reguladores de tensão) em redes primárias sem neutro disponível: necessário realizar a estratificação do solo e elaborar o projeto de aterramento para todos os equipamentos especiais;
 - Em solos agressivos utilizar hastes circulares de aço cobreado diâmetro 14,3 x 2.400 mm de comprimento, condutor de aterramento em aço cobreado 7 fios com seção de 25 mm²;

- Capacitores e reguladores de tensão: elaborar projeto que atenda às condições de toque e passo permissíveis para o tipo de solo local, independente do vínculo com o condutor neutro.

8 CONSTRUÇÃO E ACOMPANHAMENTO DOS ATERRAMENTOS


8.1 Construção

- a) Os aterramentos das redes devem ser construídos obedecendo rigorosamente ao estabelecido no projeto e na norma ABNT NBR 16527.
- b) Após a construção deve ser realizada medição da resistência de aterramento e se o valor medido for superior aos máximos permitidos, o processo deve ser reavaliado.
- c) O condutor de aterramento não deve possuir emendas e; caso seja estritamente necessário está deve ser executada na conexão com o eletrodo de aterramento.
- d) De modo a garantir maior segurança e confiabilidade na manutenção da ligação do sistema à terra, o condutor de aterramento, situado na descida junto ao poste, poderá ser protegido adequadamente até a altura mínima de 3 metros, por meio de eletroduto de PVC rígido, diâmetro 32 mm.
- e) Num eventual rompimento ou desconexão do condutor de aterramento, devem ser tomadas precauções imediatas, evitando-se o contato de pessoas ou animais com a estrutura, pelo fato das partes superiores das prumadas rompidas poderem estar energizadas com tensões perigosas.
- f) Em situações de elevados potenciais de superfície na região do aterramento primário, pode ser avaliada a necessidade de colocação de uma camada com 5 cm de brita, num raio de 1 metro junto à estrutura. Necessário realizar a estratificação e o estudo de tensões potenciais.

- 
- g) Para as instalações de equipamentos em locais com solos de alta resistividade, podem ser elaborados projetos específicos que resultem em valores de resistência de aterramento superiores aos recomendados, desde que respeitados os limites adequados para os gradientes de potencial de superfície.


8.2 Acompanhamento das instalações

- a) O acompanhamento dos aterramentos tem por objetivo gerar informações que permitirão obter dados relacionados ao desempenho dos materiais utilizados e manutenções necessárias aos aterramentos em toda a área de concessão da empresa.
- b) No primeiro ano de confecção do aterramento deve-se efetuar as medições de resistência e potenciais de superfície, bem como acompanhar a evolução da carga.
- c) Sempre que uma equipe técnica da empresa se dirigir ao local da instalação deve-se realizar inspeção visual no aterramento.
- d) A corrosão verificada nos cabos condutores, hastes e conexões, caracteriza-se como um dos principais fatores que determinam a vida útil do aterramento. É fundamental, portanto, o acompanhamento desse fenômeno com o decorrer do tempo.
- e) Recomenda-se que a cada cinco anos (a norma ABNT cita que independente da constatação ou não de possíveis irregularidades, a frequência de verificações através de medições da resistência de aterramento não deve ser superior a 1/3 da durabilidade prevista para o sistema de aterramento) seja feita uma inspeção, na qual se comprove as características elétricas principais do aterramento, notadamente, a estabilidade do valor da referida resistência ao longo do tempo, a sua capacidade de condução das correntes de regime e falta, além de seu desempenho frente às sobretensões originárias de surtos atmosféricos que o atingiram.

- 
- f) Do ponto de vista mecânico, as inspeções devem avaliar o comportamento do material do aterramento face à corrosão imposta pelas características do solo, possíveis rompimentos do cabo de descida, dobramento ou flambagem das hastes e deterioração das conexões durante sua vida útil.
- g) Como a resistividade do solo varia diretamente com a umidade nele existente, as medições devem ser realizadas preferencialmente em período seco, ou após, pelo menos, três dias consecutivos sem chuva.
- h) Para redes de distribuição, o número mínimo de pontos de aterramentos a ser inspecionado deve ser 10% do universo em estudo.
- i) O critério de avaliação do resultado das medições recomendado pela norma ABNT é:
- Caso 60% ou mais das leituras apresentem valores superiores a 150% dos de referência, efetuar medições em cada aterramento do universo considerado e renovar os que se apresentarem com valores superiores ao limite fixado;
 - Caso 21 a 59% apresentem valores superiores a 150% dos de referência, proceder a nova amostragem aleatória; persistindo acima de 30% das novas medições um valor superior ao exigido, executá-las em todos os outros pontos, procedendo à necessária renovação;
 - Caso 20% ou menos apresentem valores superiores a 150% do exigido, nenhuma providência se fará necessária.
 - É importante frisar que há necessidade de se vincular qualquer tipo de inspeção nos aterramentos, à abertura prévia da conexão com a rede primária.

8.3 Inspeção dos aterramentos

8.3.1 Generalidades



O inspetor deve possuir conhecimentos relacionados ao projeto de aterramento, tais como:

- Estratificação do solo;
- Configuração;
- Melhorias efetuadas;
- Valores esperados etc.;


Observar se existem cercas próximas à estrutura do equipamento e/ou aterramento, existindo, verificar se estão seccionadas e/ou aterradas corretamente.

8.3.2 Materiais

Verificar os utilizados nos aterramentos novos ou existentes e se atendem, no mínimo, às seguintes condições:

- Conformidade com os padronizados (aterramentos existentes) /especificados no projeto (aterramentos novos);
- São adequados ao tipo de solo (aterramentos existentes);
- As conexões são apropriadas a cada material (para os aterramentos existentes);
- As conexões foram corretamente executadas (aterramentos novos);
- Existe a possibilidade de ocorrência de corrosão em quaisquer dos materiais (aterramentos novos);
- Existe indício de corrosão (aterramentos existentes);
- Existe massa calafetadora nas conexões de aperto (aterramentos novos e existentes).

8.3.3 Estrutura do equipamento



Vistoriar as condições de montagem e execução dos aterramentos nas estruturas de redes e subestações, observando, no mínimo, se:

- Os terminais de aterramento dos equipamentos estão conectados ao condutor de aterramento;
- O neutro da rede está conectado ou isolado do condutor de aterramento do equipamento;
- O condutor de aterramento está devidamente protegido;
- O condutor de aterramento está convenientemente conectado ao sistema de aterramento.

9 ATERRAMENTO DE CERCAS

9.1 Redes de distribuição

Cercas constituídas de material condutor (em geral arame de aço zincado), localizadas até 30 metros das redes de distribuição, podem vir a ser energizadas, tanto por contatos físicos acidentais, resultantes de eventuais rompimentos de condutores, como por acoplamento eletrostático e/ou eletromagnético nos casos das paralelas à rede. Como solução, essas cercas devem ser seccionadas e aterradas conforme procedimentos descritos nos itens 9.1.1 ao item 9.1.3, a seguir.

9.1.1 Cercas paralelas às redes

- a) Neste caso devem ser seccionadas a cada 250 metros, ao longo de todo o trecho, enquanto houver paralelismo situado a até 30 metros do eixo da rede.
- b) Os trechos encontrados dentro da faixa estabelecida devem ser aterrados com uma haste em cada extremidade. Os aterramentos devem ser eletricamente independentes.
- c) No desenho 1 é mostrado esquema de seccionamento e aterramento para este caso específico.

9.1.2 Cercas transversais às redes (cruzamentos)

- a) Devem ser seccionadas a uma distância mínima de 50 metros, de cada lado, em relação ao eixo das referidas redes. O seccionamento deve ser feito mediante o uso de seccionadores pré-formados com características conforme NDU-010.
- b) No trecho situado dentro da faixa estabelecida deve ser executado aterramento, com uma haste, no seu ponto central. Este não deve ser conectado ao sistema de aterramento da rede de distribuição. No Desenho 2 é apresentado esquema de seccionamento e aterramento para este tipo de situação.
- c) Para as situadas em locais onde seja evidente a presença de animais e/ou pessoas, recomenda-se que sejam realizados estudos de aterramentos e seccionamentos que considerem as análises dos valores de tensões de toque e passo permissíveis.

9.1.3 Cuidados com cercas próximas aos aterramentos de redes de distribuição

Adicionalmente, cuidados especiais devem ser tomados com relação às cercas localizadas dentro das zonas de influência dos aterramentos em redes primárias, tendo em vista prevenir que:

- Elevações de potencial no solo, ao redor do aterramento primário, sejam transferidas para pontos remotos, através dos aterramentos das cercas;
- Pessoas localizadas dentro das referidas zonas de influência (também sujeitas a eventuais elevações de potencial), possam ser submetidas a diferenças de potencial elevadas, através de contato com trechos de cercas remotamente aterrados.

Não sendo viável a execução de estudos específicos para cada caso, a observância das seguintes diretrizes minimizará a probabilidade de condições inseguras.

9.1.4 Cercas paralelas à configuração do aterramento

Seccionar o trecho com comprimento correspondente ao dobro da dimensão do aterramento, simetricamente à sua configuração, conforme Desenho 1.

Não existindo possibilidade de contato acidental dos condutores fase com o trecho resultante deste seccionamento, este deve ser mantido isolado da terra. Caso contrário, esta parte da cerca deve ser provida de um aterramento composto de uma haste, em seu ponto central.

9.1.5 Cercas transversais à configuração do aterramento


Seccionar o trecho de comprimento correspondente ao quádruplo da maior dimensão do aterramento simetricamente à sua configuração, conforme Desenho 2.

Não havendo possibilidade de contato acidental dos condutores fase com o trecho resultante deste seccionamento, este deve ser mantido isolado da terra, caso contrário, a parte seccionada deve ser aterrada:

- Em ambas as extremidades, se o aterramento do primário a cruzar;
- Apenas em seu ponto central, caso não haja esse cruzamento.

10 ATERRAMENTO DE ESTAIS

- a) Como medida de segurança, os estais devem ser aterrados para minimizar as consequências de eventual contato simultâneo, por uma pessoa ou animal, no estai e no aterramento adjacente, quando da ocorrência de um contato acidental de um condutor energizado com o mesmo.
- b) Quando a rede possuir o condutor neutro, este deve ser conectado aos estais.
- c) Caso o neutro não seja disponível, os estais devem ser efetivamente aterrados ou isolados.
- d) Quando necessário os aterramentos dos estais devem ser feitos da mesma maneira que os de rede.

- 
- e) A isolação do estai deve ser feita seccionando a cordoalha de aço com isolador tipo castanha, com características adequadas ao sistema, instalado a uma altura que represente um compromisso entre um eventual contato da fase com o estai e o contato de pessoa ou animal com a porção aterrada do estai.


11 CRITÉRIOS PARA ATERRAMENTO DAS ENTRADAS DE SERVIÇO

É de fundamental importância que todos os pontos de utilização de energia sejam providos de um adequado e confiável aterramento, a fim de viabilizar o escoamento de eventuais sobretensões, garantindo a segurança pessoal dos consumidores.

A seguir, são apresentadas as recomendações pertinentes ao aterramento dos diversos tipos de instalações consumidoras.

11.1 Unidades consumidoras atendidas em tensão secundária de distribuição

- a) Para uma unidade consumidora, o neutro da entrada de serviço deve ser aterrado num único ponto partindo da caixa de medição;
- b) Para duas ou três unidades consumidoras, o neutro deverá ser aterrado a partir do seu barramento dentro da caixa de derivação;
- c) O valor da resistência de aterramento, em qualquer época do ano, não deverá ultrapassar a 20 ohms. Esse procedimento deve ser confiável e executado de acordo com os critérios da NDU-001, Tabelas 13 a 19.
- d) Para mais de três unidades consumidoras, o neutro deverá ser aterrado em seu respectivo barramento dentro do centro de medições, devendo conter, no mínimo, três hastes de aterramento.
- e) Como regra geral, as unidades consumidoras atendidas por transformadores instalados em redes aéreas primárias com o neutro secundário contínuo e



multiaterrado, devem ser orientados para executar suas instalações internas, em consonância com as recomendações da ABNT NBR 5410.

- f) Nos casos em que o aterramento do sistema de distribuição não viabilize a limitação dos potenciais passíveis de serem transferidos às unidades consumidoras de BT a valores adequados, como nos casos de sistemas primários com o neutro do secundário descontínuo, recomenda-se a utilização do esquema TT, previsto na ABNT NBR 5410, além da necessidade de instalação de dispositivo de proteção diferencial residual.
- g) Para as unidades consumidoras atendidas por redes com cabos isolados pode ser recomendada a adoção do esquema TN, devido à impossibilidade de contato eventual dos condutores fase com o neutro.


11.2 Unidades consumidoras atendidas em tensão primária de distribuição

Juntamente com o projeto elétrico da subestação deve ser apresentado o projeto do sistema de aterramento, desenvolvido em função da corrente de curto-circuito e das características do solo, contendo:

- Memorial de cálculo contemplando os critérios estabelecidos nas normas brasileiras pertinentes e obedecendo às exigências da NDU-002;
- Estratificação do solo;
- Desenhos com configuração da malha de terra;
- Detalhes construtivos e especificações dos materiais.

O projeto do aterramento deve prever autossuficiência, de modo a garantir as condições operacionais e de segurança, independente da sua interligação ao eventual condutor neutro do sistema supridor.

Nos cálculos dos valores dos potenciais de toque e passo permissíveis deve ser levado em consideração o tempo total para as atuações das proteções.



Para as demandas superiores a 300 kVA, as recomendações abaixo devem ser atendidas:

- a) Para edifícios atendidos com algum posto de transformação dentro da propriedade particular (onde o transformador será particular para atendimento a alguma unidade com carga superior a 75 kW), a malha de aterramento deverá conter, no mínimo, 03 (três) hastes;
- b) Para edifícios atendidos através de subestação abrigada, deverá seguir os mesmos critérios descritos no item 10.2 desta norma;
- c) O condutor de aterramento dos para-raios, equipamentos e todas as partes metálicas condutoras sem tensão, tais como portas, janelas de ventilação, carcaças dos equipamentos, grades etc., deverão ser aterradas e interligadas à malha de aterramento com condutor de cobre nu de seção mínima de 50 mm².
- d) O condutor de aterramento deve ser interligado ao sistema de aterramento por processo de solda exotérmica ou conector tipo terminal cabo-barras (GTDU) cobreado ou conector cunha cabo/haste cobreado, sendo obrigatório o uso de massa calafetadora em todas as conexões do aterramento. A construção do sistema de aterramento deve obedecer rigorosamente ao estabelecido no projeto.
- e) As blindagens metálicas dos cabos de média tensão, quando a alimentação do posto de transformação for subterrânea, devem ser interligadas ao sistema de aterramento da subestação, somente em um dos lados do cabo.

11.3 Centro de medição em edifício de uso coletivo

Em edifício atendido através de transformador com potência nominal até 300 kVA (inclusive) instalado na rede aérea da concessionária, o neutro deverá ser aterrado com, no mínimo, três hastes espaçadas de pelo menos seu comprimento e interligadas por cabo de cobre nu de seção de acordo com NDU-003.

12 NÍVEIS DE SEGURANÇA ACEITÁVEIS PARA OS ATERRAMENTOS

12.1 Desempenho elétrico


As malhas de aterramento devem:

- Apresentar um valor de resistência de aterramento estável ao longo do tempo; para a obtenção desta característica não se deve utilizar na confecção da malha, materiais que possam ser lixiviados ou tenham suas propriedades alteradas dentro da vida útil prevista para esta;
- Apresentar capacidade de condução de corrente compatível com os valores aos quais estará submetida, o que implica material especificado para a confecção das mesmas e do cabo de descida apresentem curvas tempo x corrente, compatíveis com os tempos de operação da proteção contra sobrecorrentes, associada;
- Garantir um valor de resistência de aterramento compatível com os requisitos de proteção de equipamentos e da rede, limitando as sobretensões originárias de surtos atmosféricos a valores suportáveis por equipamentos e estruturas;
- Evitar flutuações de tensão do neutro, garantindo que o potencial deste condutor seja sempre o mais próximo possível do potencial de terra.

A verificação do valor da resistência deve ser feita logo após a execução do projeto. Para sistemas que dispõem do condutor neutro, o número de pontos de aterramento a serem inspecionados, escolhidos aleatoriamente, não deve ser inferior a 10% em relação ao universo projetado.

12.2 Desempenho mecânico

As malhas de aterramento devem:

- 
- a) Apresentar previsão de durabilidade compatível com a vida útil do equipamento ou sistema ao qual se destinam, com materiais resistentes à corrosão dentro das características do solo onde encontram-se instaladas;
 - b) Garantir resistência mecânica suficiente, de modo a evitar danos ao material utilizado para sua confecção, tais como rompimento do cabo de descida, dobramento ou flambagem das hastes, bem como deterioração das conexões durante sua vida útil.

13 MATERIAIS PADRONIZADOS


Os materiais a serem empregados nos aterramentos devem atender aos requisitos mínimos estabelecidos na NDU-010.

14 METODOLOGIAS PARA ELABORAÇÃO DE PROJETO DE ATERRAMENTO

14.1 Modelagem do solo (estratificação do solo)

- a) A modelagem do solo do local ou de uma região onde será elaborado o projeto de aterramento deve ser realizada através de medições de curvas de resistividade aparente em diversos pontos, com o objetivo de definir as camadas verticais, suas profundidades e respectivas resistividades.
- b) A estratificação do solo deve ser feita de acordo com os métodos apresentados na norma ABNT NBR 7117 que estabelece os critérios para a determinação da modelagem.
- c) Para apresentação de projeto de instalação de transformador de distribuição particular, deverá constar o estudo de estratificação do solo.

14.2 Projeto de aterramento de linhas de distribuição de média tensão



Para elaboração do referido projeto e determinação do valor máximo da resistência de aterramento de LDMT e seus equipamentos de maneira a atender às condições de segurança, devem ser levados em consideração os seguintes fatores:

- Possibilidade da ocorrência de riscos relacionados aos gradientes de potencial na superfície do solo superiores a 12 V/m, vizinhos aos sistemas de aterramento, em regiões com criação de gado ou circulação destes ou outros animais;
- Corrente máxima permissível de 10 mA para pessoas, na situação de regime;
- Para situações de defeito, considerar a corrente de curto-circuito e o tempo de atuação do sistema de proteção.

Do exposto, verifica-se a importância do conhecimento das características do solo, visto que, dependendo da resistividade superficial, os potenciais desenvolvidos pela configuração do aterramento, aflorarão à superfície com maior ou menor intensidade.

15 EXECUÇÃO DA MALHA DE ATERRAMENTO

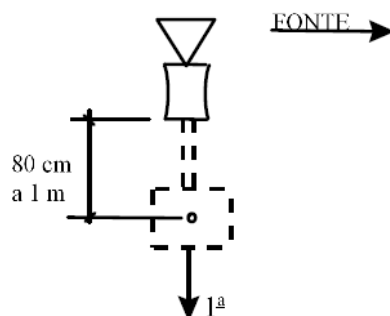
A redução da resistência de aterramento pode ser obtida através de vários métodos, como aumentar o comprimento das hastes (hastes profundas), interligar diversas hastes em paralelo (hastes em paralelo) ou tratar quimicamente o solo.

A execução da malha de aterramento deve ser desenvolvida observando-se os seguintes procedimentos:

15.1 Primeira haste

- a) Abrir uma cava de 0,60x0,60x0,60 m de largura, comprimento e profundidade, distanciada de 1,0 m da face lisa do poste, no mesmo lado da descida do condutor de aterramento.


- b) Cravar a haste de aço-cobre na cava aberta, deixando a ponta 0,40 m acima do fundo da cava, a fim de permitir a instalação do grampo alinhador (no caso de ser necessário a execução da conexão haste/haste).



- c) Medir a resistência de aterramento da haste cravada, desconectada do condutor de descida.
- d) Caso o valor de resistência obtido seja inferior ou igual ao desejado, cravar a haste mais 0,30 metros, deixando uma distância suficiente para a conexão haste/condutor.
- e) Fazer a conexão haste/condutor através do conector de cobre do tipo cunha ou tipo asa para aterramento. Após, efetuar a cobertura e o apiloamento da cava.
- f) Medir novamente a resistência de terra, agora com o condutor de descida já conectado à haste, e anotar em planilha própria o valor final da resistência de terra da instalação.

15.2 Haste profunda

Aumentando o comprimento das hastes efetivamente cravadas no solo, atinge-se camadas mais profundas que normalmente apresentam resistividade menor que as camadas superficiais. Isto se verifica na maioria dos solos, devido a maior porcentagem de umidade das camadas mais profundas.



Este método é tecnicamente ideal, pois a variação da resistividade do solo nas camadas mais profundas é desprezível, pois com as variações sazonais, apenas as camadas superficiais sofrem variação de resistividade, mantendo praticamente invariável o valor da resistência de aterramento.

A aplicação de haste profunda deve obedecer a seguinte sequência:

- a) Caso a resistência de terra medida, quando da cravação da 1ª haste, for superior ao valor desejado, faz-se a aplicação da 2ª haste profunda, desde que as condições do solo em relação a resistência de cravação permitam.
- b) As condições do terreno sendo favoráveis, procede-se a emenda da 2ª haste, com a 1ª haste já cravada ao solo.
- c) Cravar a haste emendada com auxílio do dispositivo de cravação de hastes.
- d) Medir a resistência de terra e, caso o valor obtido seja igual ou inferior ao desejado, proceder conforme descrito no item 14.1, subitens “d”, “e”, “f”.
- e) Quando da cravação da 2ª haste, o valor da resistência de terra medida for superior ao valor desejado, entretanto inferior ao medido quando da cravação da 1ª haste tenta-se a cravação da 3ª haste ou mais hastes, até atingir o valor de resistência desejado, fazendo-se a medição parcial da resistência à medida que cada haste emendada é cravada.

Salienta-se que a profundidade de cravação da haste ou das hastes emendadas (profundas) será limitada quando ocorrer uma das condições a seguir:

- a) Atingir o valor da resistência de terra desejado.
- b) Não haja redução no valor da resistência de terra em pelo menos 30%.
- c) Existência de obstáculos, rocha por exemplo, que impeçam a cravação da haste profunda.

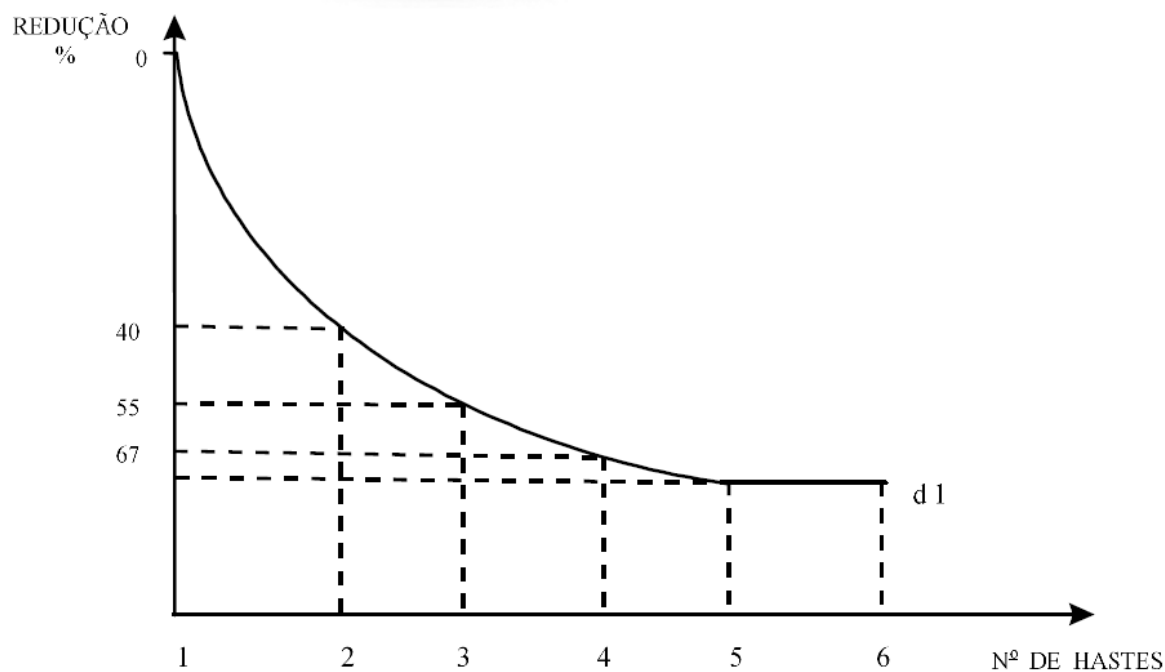
OBS.:

A quantidade de hastes emendadas (profundas), em um determinado ponto, não poderá ser superior à do ponto anterior.

15.3 Hastes paralelas

Quando o valor de resistência de terra for superior ao desejado, com haste profunda atingindo o limite de cravação, procede-se a interligação em paralelo das hastes.

O fato de aumentar o número de hastes interligadas em paralelo diminui o valor da resistência equivalente, porém a redução não segue a equação simples de associação de resistências em paralelo, apresentando uma "saturação" quando se aumenta o número de hastes em paralelo, conforme demonstrado na figura a seguir:



Redução do valor da resistência em função do número de hastes

Isto é devido ao efeito da "mútua resistência" que se verifica quando se cravam hastes no solo a uma determinada distância. Para uma separação maior entre hastes, tem-se uma redução maior, porém também existe a "saturação".

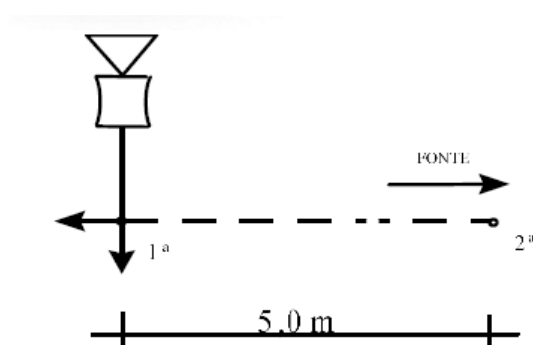
Vê-se então, que a partir de um certo número de hastes cravadas, a redução se torna desprezível e o processo de colocação de hastes verticais interligadas em paralelo torna-se antieconômico a partir desse ponto.

Basicamente, a distância entre hastes paralelas é de 5 metros e a quantidade de hastes alinhadas é de 5 unidades.

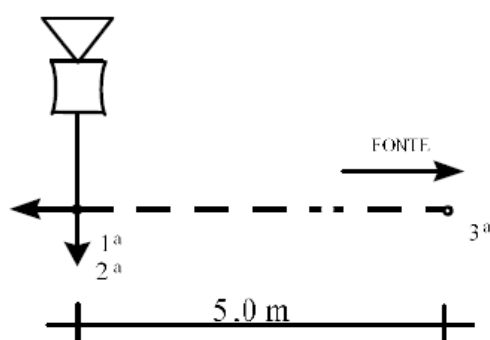
A malha de aterramento pode assumir várias configurações, porém a que apresenta menor resistência equivalente do conjunto é a de hastes paralelas alinhadas.

Os desenhos a seguir ilustram a sequência de cravação das hastes em paralelo alinhadas, até a obtenção do valor de resistência de terra desejado:

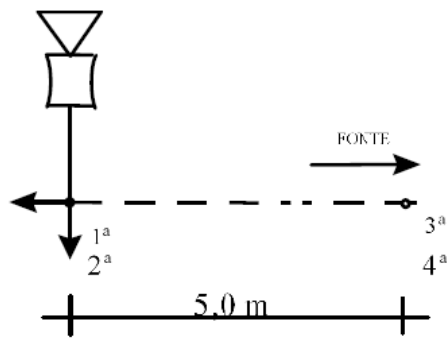
- a) Em dois pontos, com hastes interligadas.



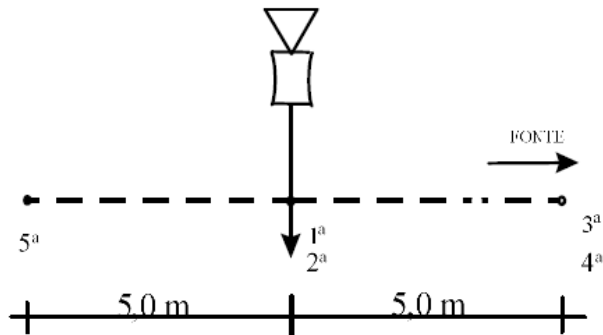
- b) Em dois pontos, com três hastes, sendo duas profundas e outra interligada.



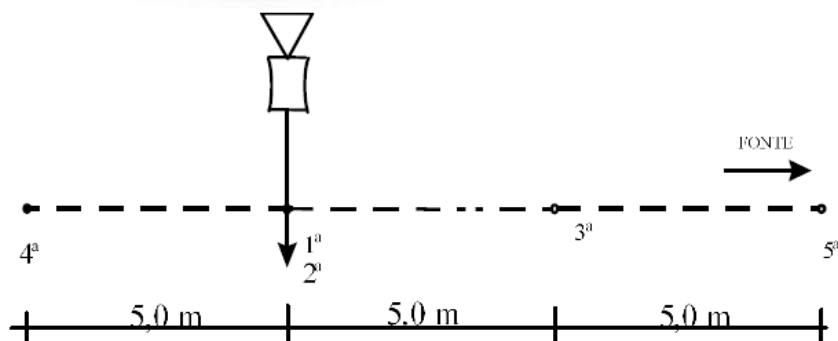
- c) Em dois pontos, com quatro hastes, sendo duas profundas interligadas.



- d) Em três pontos, com cinco hastes, sendo duas profundas junto ao poste onde está instalado o equipamento, duas profundas para o lado da fonte e uma para o lado oposto da fonte e interligadas.



- e) Em quatro pontos, com cinco hastes, sendo duas profundas junto ao poste onde está instalado o equipamento, duas para o lado da fonte e uma para o lado oposto da fonte e interligadas.



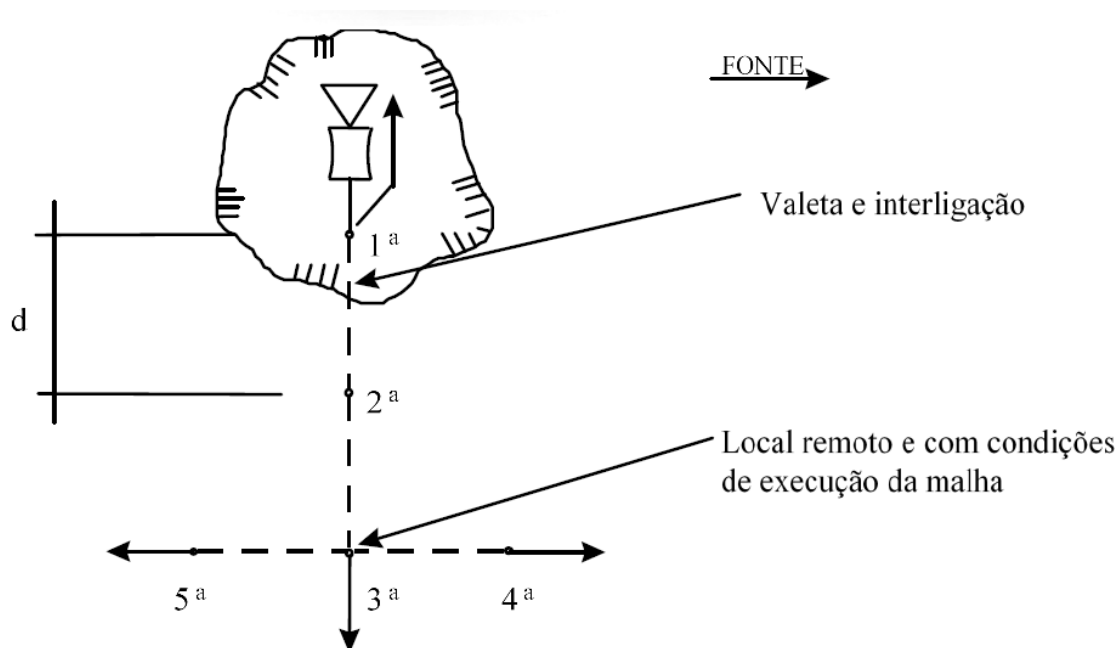
OBS.:

a extensão total da malha de aterramento com hastes em paralelo, não deverá ultrapassar a 50 metros, observando-se que a partir da 5ª haste a redução da resistência de terra se torna desprezível.

15.4 Aterramento remoto

Em locais com laje afiorada ou a pequena profundidade, a malha de aterramento deve ser executada num ponto remoto a uma distância “d” do poste. Neste caso procede-se da seguinte forma:

- A 1ª haste deve ser cravada na própria cava do poste, a qual deve ser fechada com terra.
- A profundidade da valeta no trecho da rocha, não afiorada, para interligar a 1ª haste com a haste do ponto remoto, pode ser entre 0,30 metros e 0,60 m.
- No trecho da rocha afiorada, a interligação com o ponto remoto pode ser realizada através de condutor aéreo, fixado em poste da rede.
- O local do ponto remoto, onde será construída a malha, deve ser o de menor distância “d” até o poste onde está instalado o equipamento.



16 MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO

Para efetuar uma medição de resistência de aterramento, é necessário que se tenha um ponto onde se injeta uma corrente e um ponto onde se retira esta corrente.

A corrente é injetada através do sistema de aterramento a ser medido e retirado através de um aterramento ou terra auxiliar que poderá ser composto de uma ou mais hastes interligadas.

Pela lei de ohms, a corrente injetada circulará pela terra e provocará na superfície da mesma uma tensão resultante do produto desta corrente pela resistência da terra até o ponto a ser medido.

Existem vários métodos para se efetuar uma medida de resistência de terra, porém o mais prático e mais utilizado é o da medida através do aparelho "Megger" ou similar.

As conexões do aparelho e eletrodos devem estar firmes e limpas, de modo a não produzirem resistências nos contatos dos bornes.

16.1 Precauções de segurança

A fim de se evitar acidentes durante a execução do aterramento, os seguintes procedimentos devem ser adotados:

- a) As pessoas envolvidas na execução do aterramento, devem utilizar equipamentos de proteção individual (EPIs), como luva e bota de couro isolada.
- b) A chave corta-circuito do equipamento ou da rede de alta tensão, deve estar desligada (aberta).
- c) Durante a medida de resistência do aterramento, o condutor de descida do poste, deve estar desconectado da haste ou malha de terra a ser medida.
- d) Não realizar a medição quando o solo estiver úmido e/ou chovendo, bem como, quando estiver muito seco.

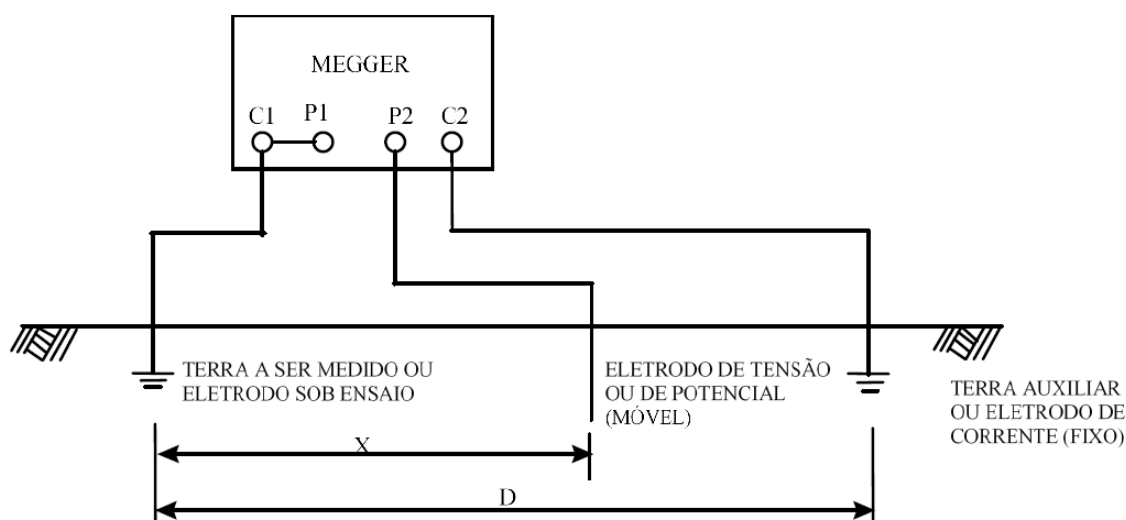
e) Não tocar nos eletrodos e/ou na fiação durante a medição.

f) Evitar que pessoas estranhas e/ou animais se aproximem da área.

16.2 Instalação do aparelho

O aparelho poderá ser de 3 ou 4 terminais.

Quando for de 4 terminais, C1 e P1 deverão ser interligados, conforme figura a seguir:




Para que se tenha resultados confiáveis, é necessário que o aparelho utilizado seja de corrente alternada e que possua filtro para eliminação de interferências.

A localização do eletrodo de tensão com relação ao terra auxiliar é muito importante na determinação do valor real da resistência a ser medida. A resistência real do aterramento se dará quando a distância entre o terra a ser medido e o eletrodo de tensão for de aproximadamente 60% da distância entre o terra a ser medido e o terra auxiliar, ou seja:

$$X = 60\% d$$

16.3 Determinação do valor da resistência de terra

O valor da resistência de terra será obtido através dos seguintes procedimentos:

- 
- a) Cravar os eletrodos de tensão e corrente a 24 metros (dist. X) e 40 m (dist. D) respectivamente, do terra a ser medido.
 - b) Escolher a escala apropriada, ou seja, aquela que corresponda a indicação mais próxima do final da escala do aparelho.
 - c) Operar a chave do aparelho e anotar a 1ª leitura.
 - d) A 2ª leitura será obtida com o eletrodo de tensão deslocado de 3 metros em relação a posição da 1ª leitura e no sentido do eletrodo sob ensaio (21 metros do terra a ser medido).
 - e) A 3ª leitura deverá ser obtida com o eletrodo de tensão deslocado 3 metros em relação a posição da 1ª leitura e no sentido do eletrodo de corrente (27 metros do terra a ser medido).
 - f) Se a diferença entre as duas últimas leituras for inferior ou igual a 10% da 1ª leitura, o valor da resistência de terra é a média aritmética das três leituras.

Exemplo:

1ª leitura: 125 Ω

2ª leitura: 90 Ω

3ª leitura: 80 Ω

$$(90 - 80) / 125 = 0,08 = 8 \% < 10 \%$$

$$\text{Valor da resistência} = (125 + 90 + 80) / 3 = 98 \Omega$$

- g) Se a diferença entre as duas últimas leituras for superior a 10% da 1ª leitura, será necessário deslocar os eletrodos de potencial e de corrente, afastando-os aproximadamente 3 metros do eletrodo sob ensaio, efetuando novas leituras.

O eletrodo de potencial deverá ficar sempre a 40% da distância do eletrodo de corrente.

O valor da resistência de terra será sempre a média aritmética das três leituras.

17 NOTAS COMPLEMENTARES

- a) Em qualquer tempo e sem necessidade de aviso prévio, esta norma poderá sofrer alterações, no seu todo ou em parte, por motivo de ordem técnica e/ou devido a modificações na legislação vigente, de forma a que os interessados deverão, periodicamente, consultar a concessionária e/ou o site da concessionária.

[http://www.energisa.com.br/paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas-tecnicas.aspx](http://www.energisa.com.br/paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/normas-tecnicas.aspx)

- b) A Energisa deve possuir livre acesso as instalações das subestações. Para os casos de impedimento no acesso, a Energisa pode suspender o fornecimento após a notificação do consumidor.
- c) Os casos não previstos nesta norma, ou aqueles que pelas características exijam tratamento à parte, deverão ser previamente encaminhados à concessionária, através de seus escritórios locais, para apreciação conjunta a área de projetos / área de estudos / área de grandes clientes.

18 HISTÓRICO DE VERSÕES DESTE DOCUMENTO

Data	Versão	Descrição das alterações realizadas
26/04/2019	0.0	<ul style="list-style-type: none">Elaboração inicial

19 VIGÊNCIA

Esta norma entra em vigor na data de 02/09/2019.

20 TABELAS E GRÁFICOS

TABELA 1 - Tensões primárias e secundárias

Tensão primária nominal		Empresa do grupo Energisa										
(kV)												
34,5 / 19,919		EAC	-	-	EMS	EMT	-	-	ERO	-	ESS	ETO
22,0 / 12,702		-	-	EMG	EMS	-	-	-	-	-	-	-
13,8 / 7,967		EAC	EBO	-	EMS	EMT	-	EPB	ERO	ESE	ESS	ETO
11,4 / 6,582		-	-	EMG	-	-	ENF	-	-	-	ESS	-

Tensão secundária nominal		Empresas do Grupo Energisa										
(V)												
Rede Trifásica	380 / 220	-	EBO	-	-	EMT ¹	ENF	EPB	ESE ¹	-	-	ETO
	220 / 127	EAC	-	EMG	EMS	EMT	-	-	ESE	ERO	ESS	-
Rede Monofásica	440 / 220	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ETO
	254 / 127	-	-	-	EMS	EMT	-	-	-	-	ESS	-
	240 / 120	EAC	-	-	-	-	-	-	-	ERO	-	-
	230 / 115	-	-	EMG	-	-	ENF ¹	-	ESE	-	-	-
	230	-	EBO	-	-	-	ENF	EPB	-	-	-	-

Legenda:

EAC - Energisa Acre

EPB - Energisa Paraíba

EBO - Energisa Borborema

ERO - Energisa Rondônia

EMG - Energisa Minas Gerais

ESE - Energisa Sergipe

EMS - Energisa Mato Grosso do Sul

ESS - Energisa Sul-Sudeste

EMT - Energisa Mato Grosso

ETO - Energisa Tocantins

ENF - Energisa Nova Friburgo

NOTA:

- I. A tensão de 380/220 V está disponível em algumas áreas da concessão da EMT e ESE, sendo que sua utilização deverá ser submetida à aprovação prévia da Concessionária;
- II. A tensão de 230/115 V está disponível em algumas áreas da concessão da ENF, sendo que sua utilização deverá ser submetida à aprovação prévia da Concessionária.

TABELA 2 - Seções mínimas para o condutor de proteção

Seção dos condutores fase - s	Seção mínima do condutor de proteção
(mm ²)	
$S \leq 16$	S
$16 < s \leq 35$	16
$S > 35$	S/2

Fonte:

ABNT NBR 5410.

GRÁFICO 1 - Tensões de passo admissíveis

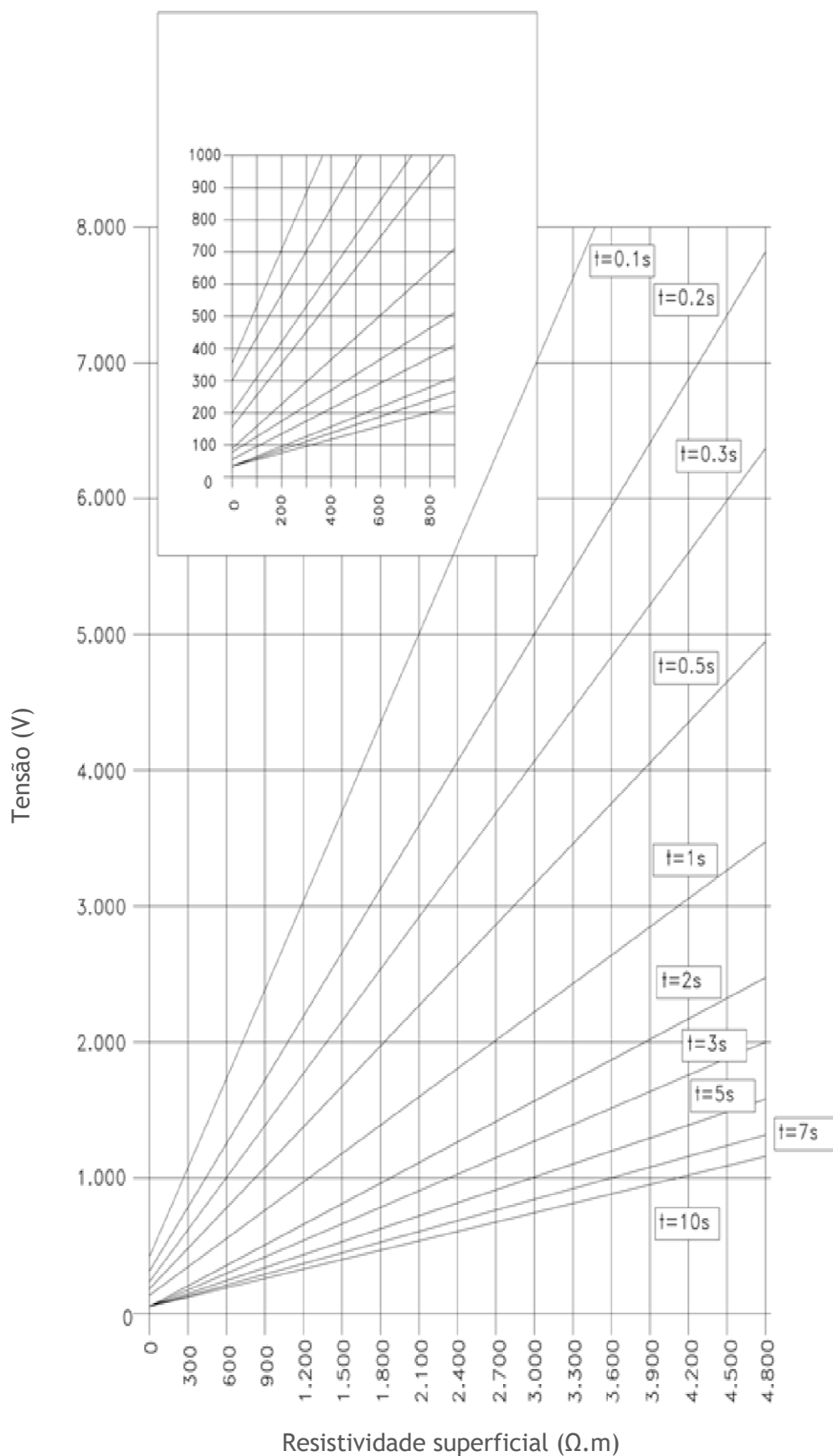
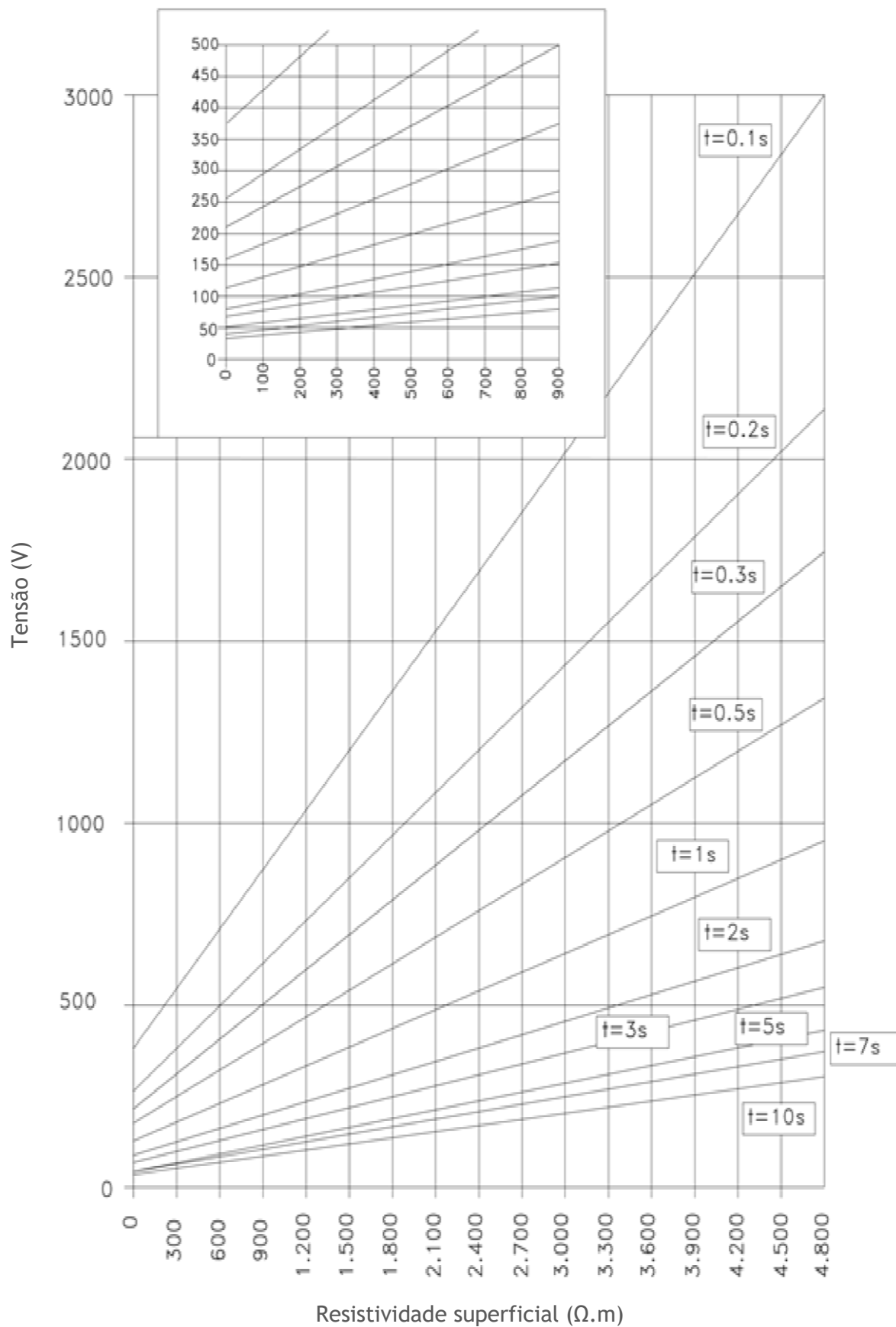
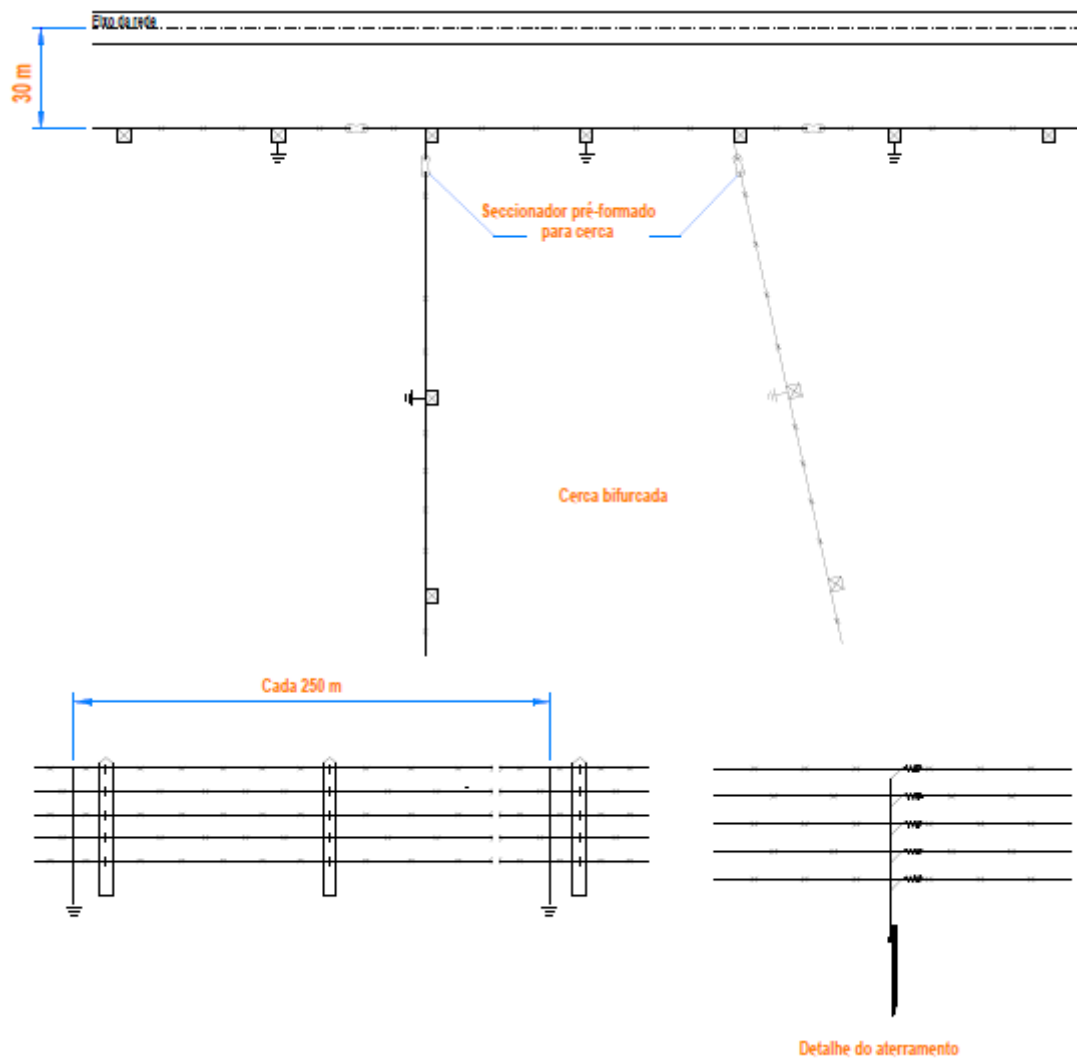


GRÁFICO 2 - Tensões de toque admissíveis

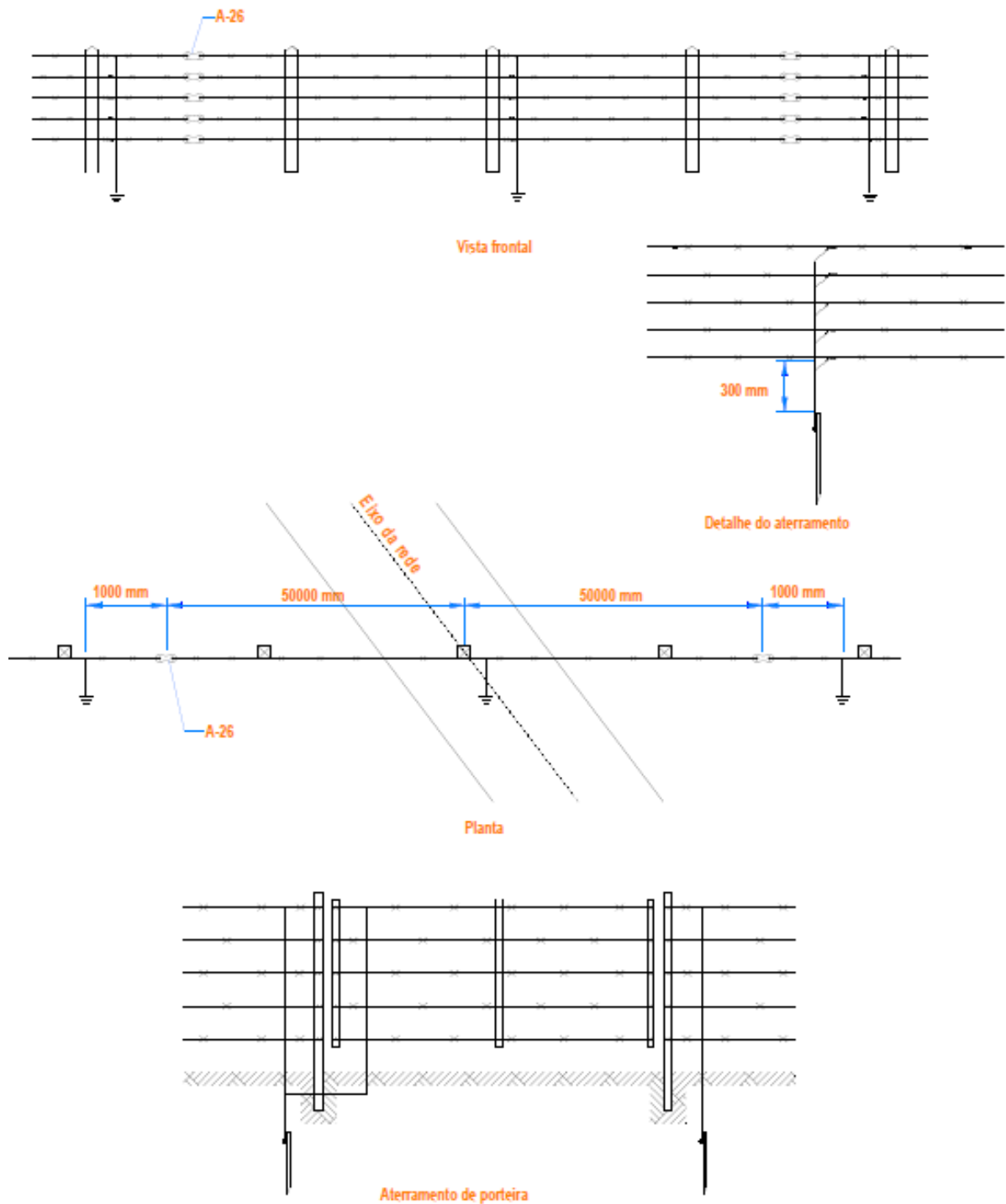


21 DESENHOS

DESENHO 1 - Aterramento de cercas paralelas

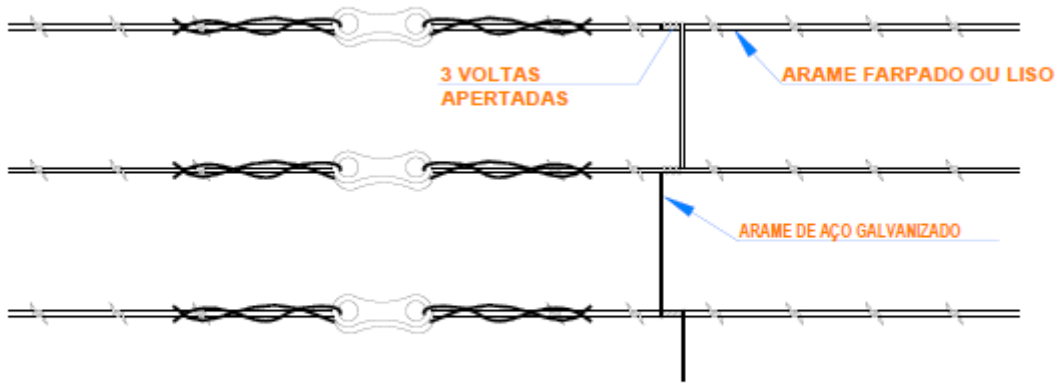


DESENHO 2 - Aterramento de cercas transversais





DETALHE 01



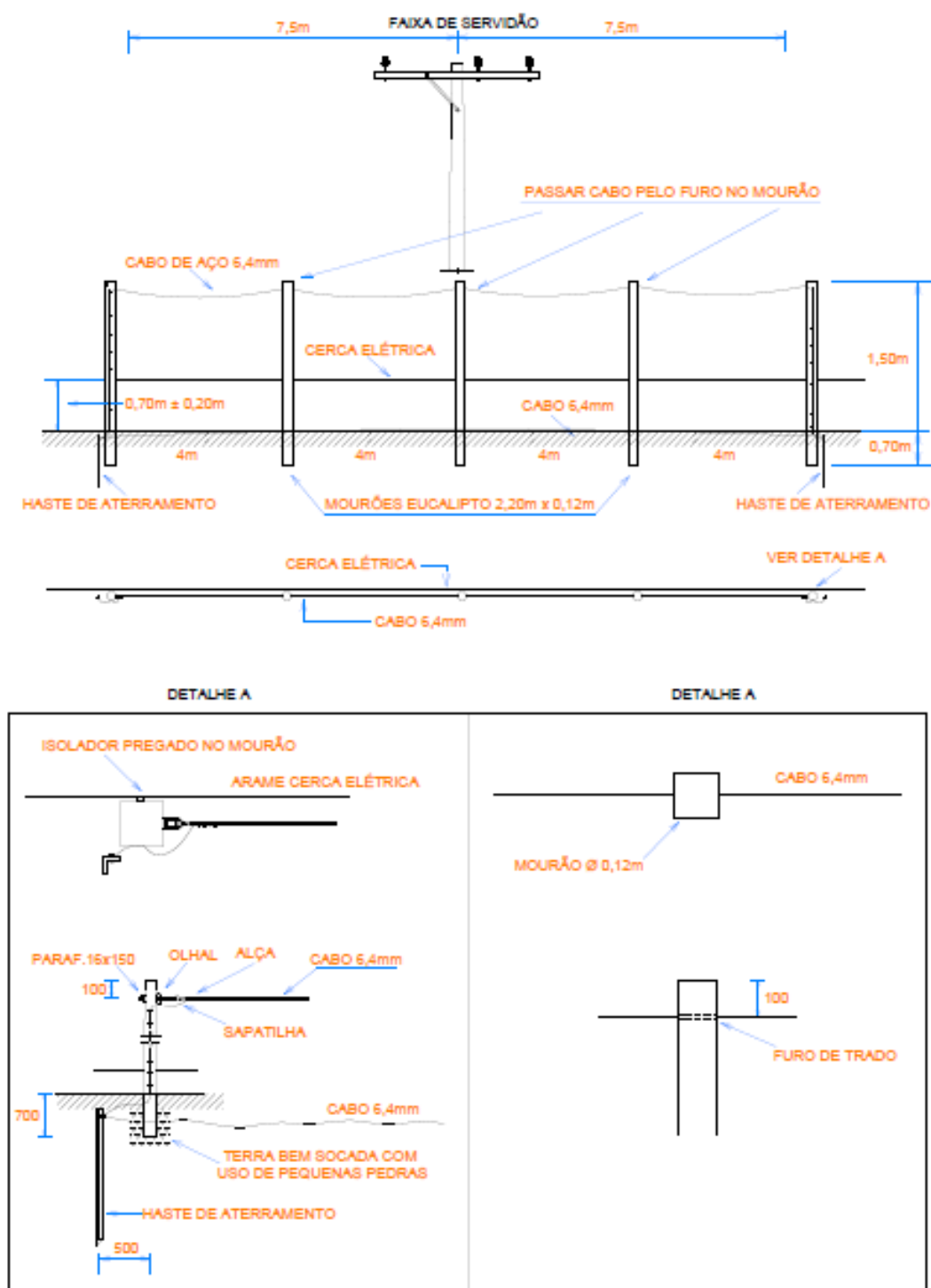
DETALHE 02



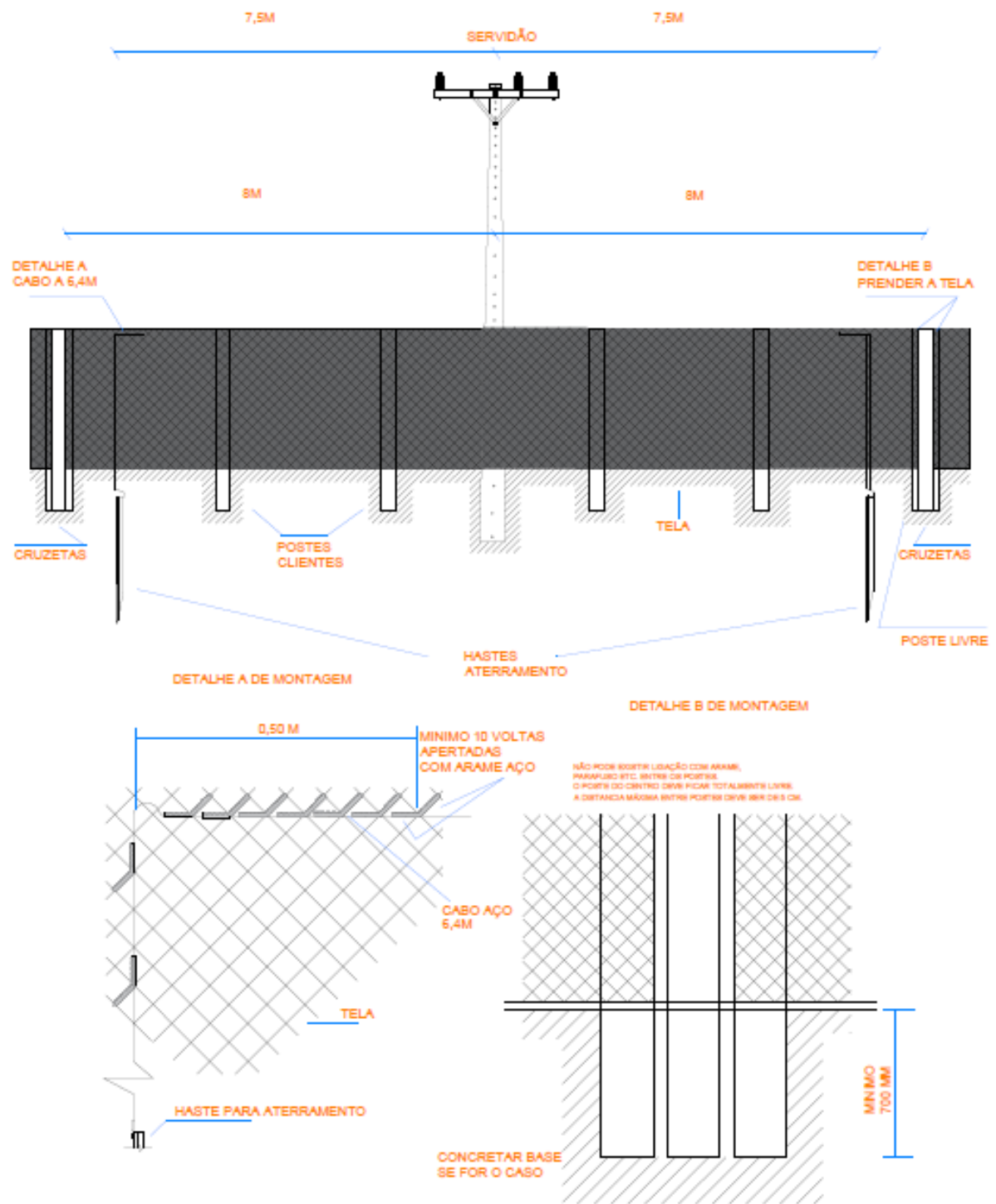
DETALHE 03



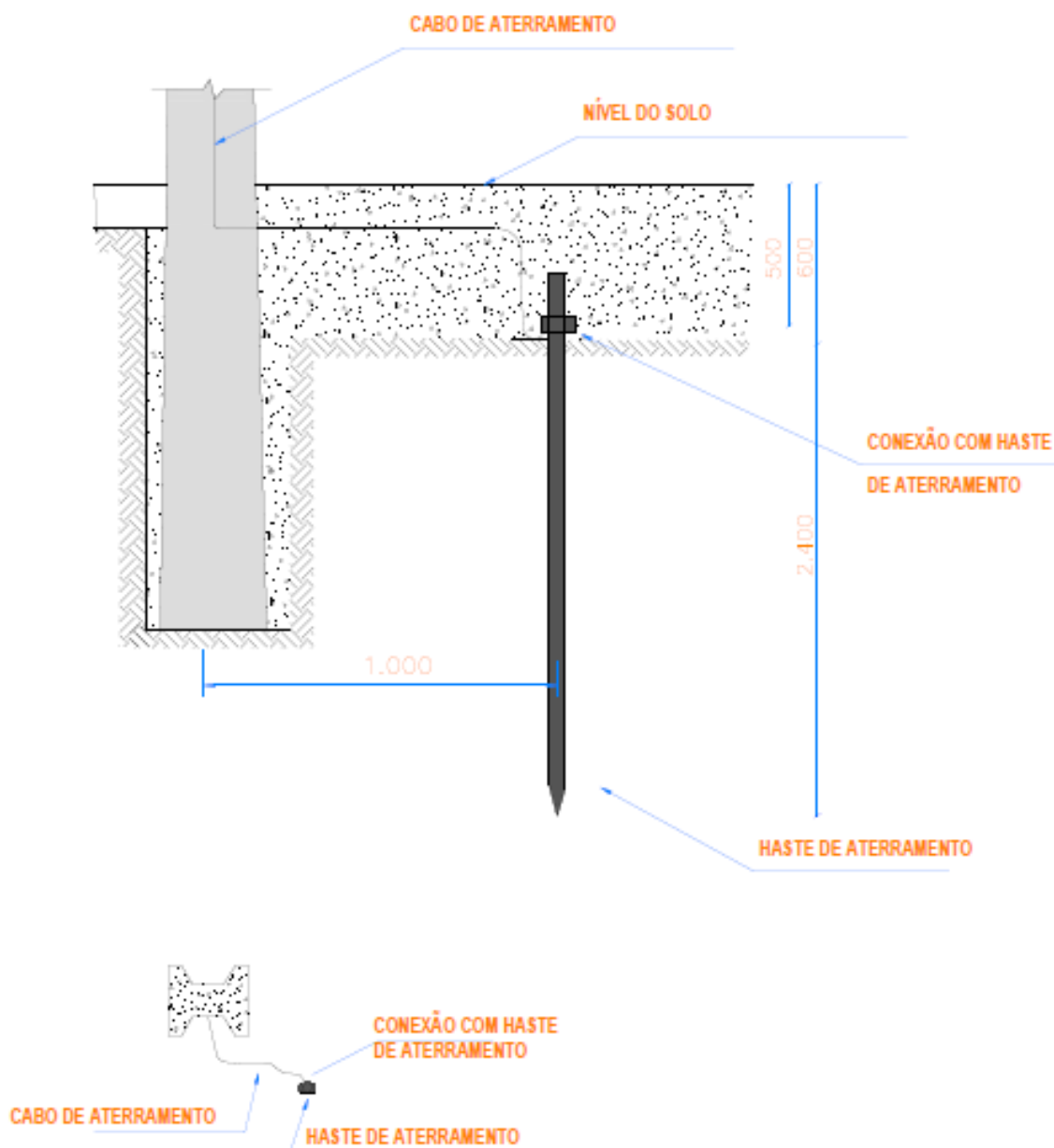
DESENHO 3 - Aterramento de proteção para cerca elétrica



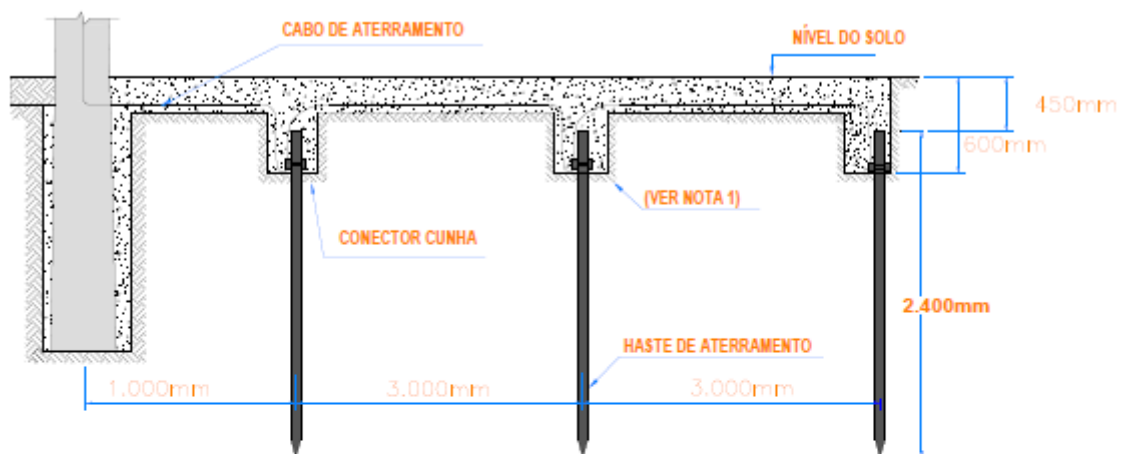
DESENHO 4 - Aterramento de telas



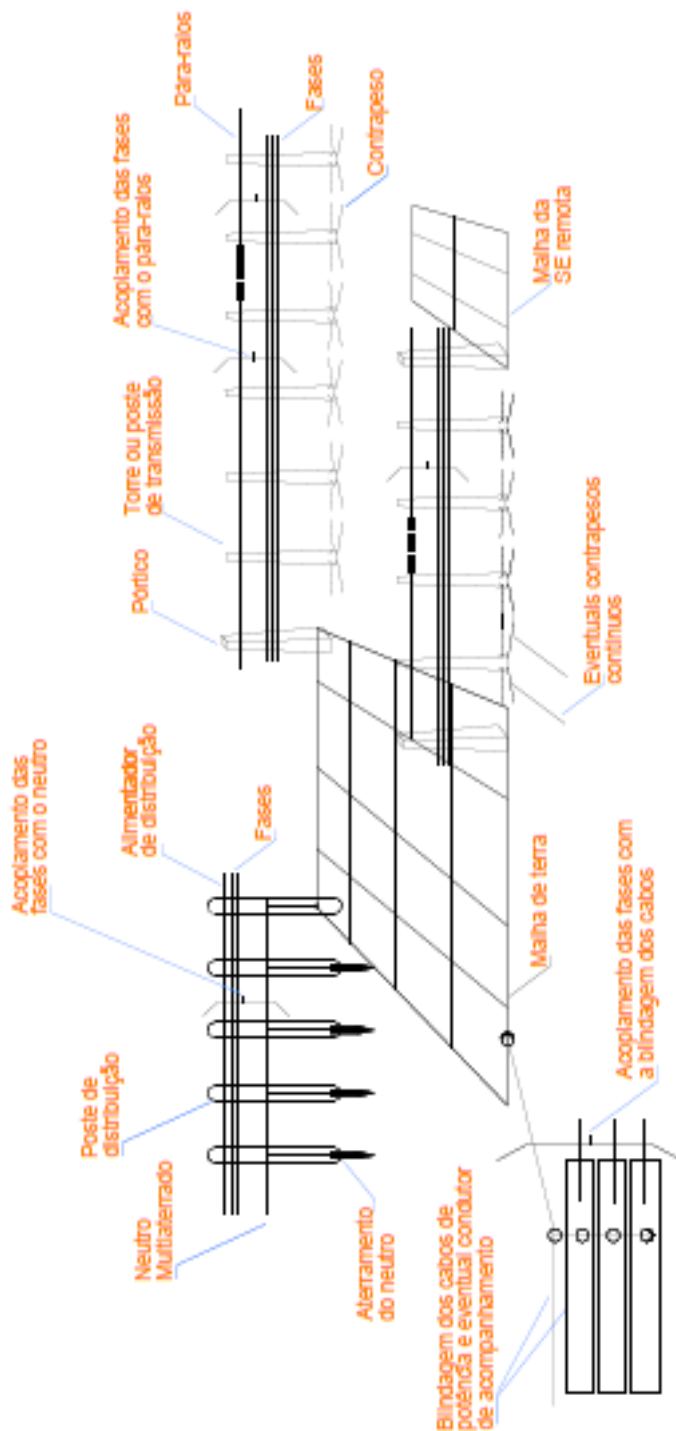
DESENHO 5 - Aterramento normal ou simples



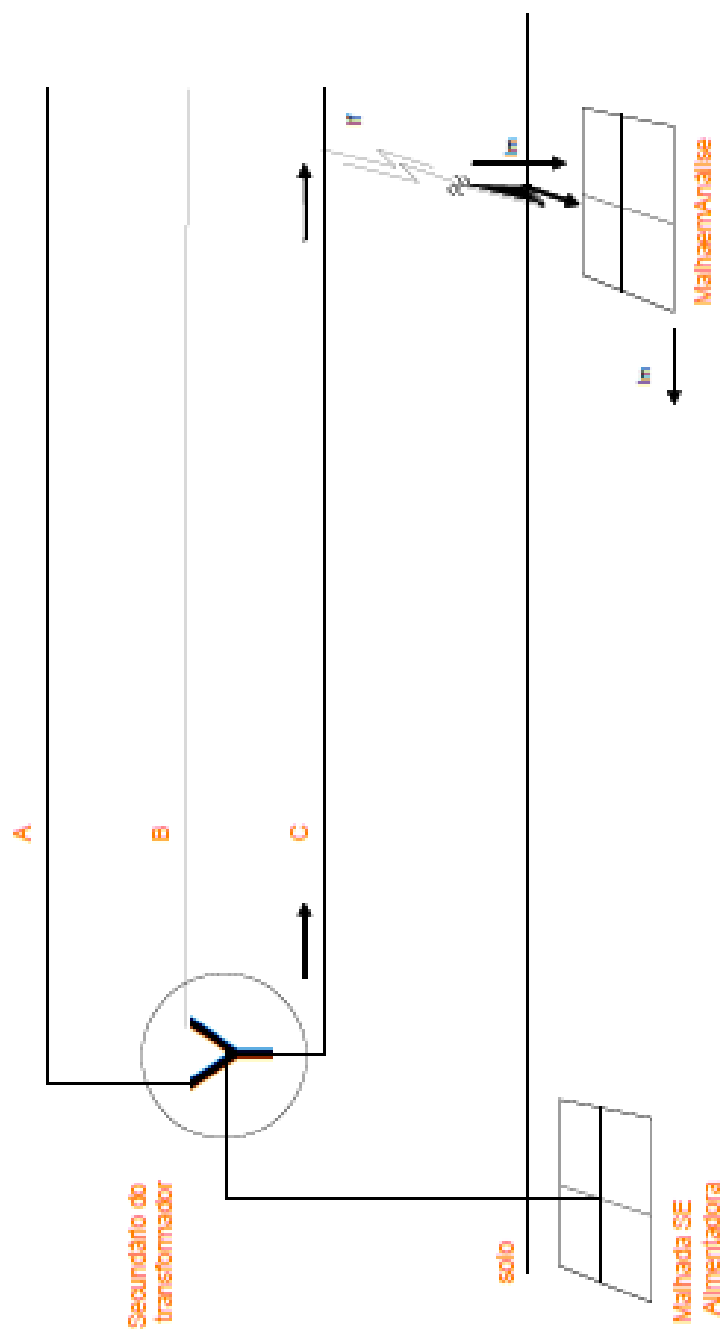
DESENHO 6 - Aterramento haste paralela



DESENHO 7 - Principais elementos físicos a serem considerados em cálculos e simulações para o dimensionamento de uma malha de terra



DESENHO 8 - Sistema de potência típico em condição de falta para a terra, sem cabo para-raios ou neutro



DESENHO 9 - Sistema de potência típico em condição de falta para a terra, com cabo para-raios ou neutro

