

SISTEMAS DE ATERRAMENTO PARA INSTALAÇÕES COM SUBESTAÇÕES PRÓPRIAS

NBR14039/2005

N-321.0002

4.2.3 Esquemas de aterramento

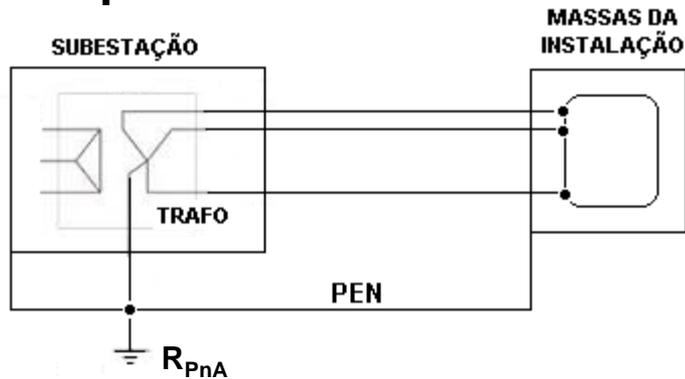
Para definir os esquemas de aterramento, deve-se observar a simbologia:

- primeira letra - situação da alimentação em relação à terra:
 - T = um ponto de alimentação (geralmente o neutro) diretamente aterrado;
 - I = isolamento de todas as partes vivas em relação à terra ou aterramento de um ponto através de uma impedância;

- segunda letra - situação das massas da instalação elétrica em relação à terra:
 - T = massas diretamente aterradas, independentemente do aterramento eventual de ponto de alimentação;
 - N = massas ligadas diretamente ao ponto de alimentação aterrado (em corrente alternada, o ponto aterrado é normalmente o neutro);

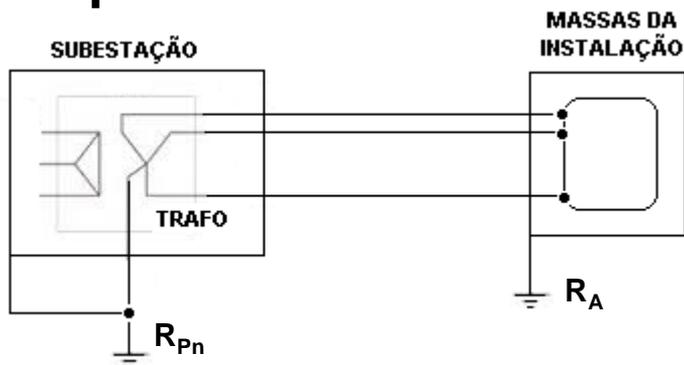
- terceira letra – situação de ligações eventuais com as massas da subestação:
 - R = as massas da subestação estão ligadas simultaneamente ao aterramento do neutro da instalação e às massas da instalação;
 - N = as massas da subestação estão ligadas diretamente ao aterramento do neutro da instalação, mas não estão ligadas às massas da instalação;
 - S = as massas da subestação estão ligadas a um aterramento eletricamente separado daquele do neutro e daquele das massas da instalação.

- Esquema TNR



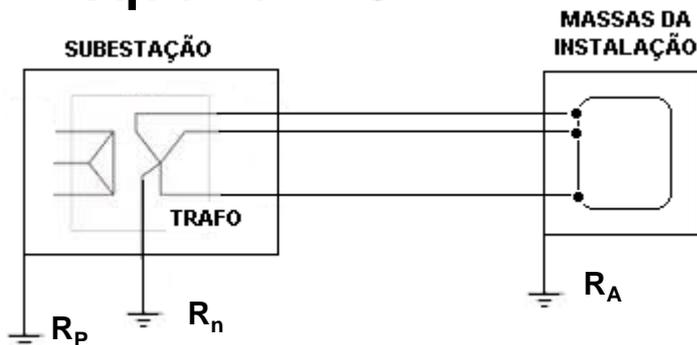
- Massa da subestação ligada ao ponto de aterramento de neutro e instalação;
- $R_{PnA} \rightarrow$ Resistência do eletrodo de aterramento comum à subestação (P), ao Neutro (n) e Instalação (A).

- Esquema TTN



- Massa da subestação ligada ao ponto de aterramento de neutro e distinto da instalação;
- $R_{Pn} \rightarrow$ Resistência do eletrodo de aterramento comum à subestação (P), ao Neutro (n)
- $R_A \rightarrow$ Resistência do eletrodo de aterramento da Instalação (A).

- Esquema TTS



- Eletrodos de aterramento distintos para subestação e neutro
- $R_n \rightarrow$ Resistência do eletrodo de aterramento do Neutro (n)

ATERRAMENTO EM SUBESTAÇÕES

- Segundo N-321.0002- CELESC

5.14. Aterramento e Equipotencialização

5.14.1. Eletrodo de Aterramento/Malha de Aterramento

- a) o eletrodo de aterramento deve constituir uma malha sob o piso da edificação, no mínimo um anel circundando o perímetro da edificação;
- b) quando for usado um anel circundando a edificação, o condutor de aterramento deverá ser conectado ou soldado a ferragem da laje do piso da subestação em dois pontos no mínimo, em local que fique acessível para inspeção no momento da vistoria;
- c) a seção transversal mínima do condutor de aterramento geral da subestação, em cabo de cobre, para fornecimento em tensão primária de distribuição deve ser 50 mm², e das partes metálicas em 25mm². Ver esquemas típicos de aterramento nos DESENHOS N° 38 e 39;
- d) o condutor de aterramento da instalação geral, do(s) neutro(s) do(s) transformador(es), bem como das interligações entre os eletrodos, formando o sistema de aterramento geral, deverá ser de cobre nu;
- e) no trecho de descida, junto à parede, o condutor de aterramento das caixas de medição e dos TCs deverá ser protegido por eletroduto de PVC rígido de tamanho interno mínimo de 25mm (1”);
- f) o condutor de aterramento deverá ser firmemente ligado aos eletrodutos e ao neutro do circuito da Celesc D, por meio de conectores adequados;
- g) a caixa de inspeção de aterramento deverá estar em todas as hastes da malha de aterramento com dimensões aproximadas de 30 x 30 x 40cm, de alvenaria ou concreto, ou de material polimérico de diâmetro mínimo 30cm (Ver DESENHO N° 40 e 40A). As caixas deverão ser preenchidas com areia após a vistoria;

- h) a malha de aterramento deverá possuir eletrodos em número suficiente, de forma a conseguir o valor admissível da resistência de aterramento. Deverão ser cravados no mínimo 05 (cinco) eletrodos;
- i) o eletrodo de terra deverá ser tipo haste de aço revestido de cobre, de diâmetro nominal 1/2" ou 5/8" mm, o revestimento da camada de cobre deverá ter espessura de 0,254mm, conforme norma NBR 13571 e especificação E-313.0007 – Acessórios e Ferragens de Distribuição;
- j) a distância mínima entre os eletrodos deverá ser de 3m (três metros);
- k) deverão ser aterradas todas as partes metálicas da subestação da unidade consumidora, tais como: a(s) chave(s) da seccionadora(s), a(s) carcaça(s) do(s) transformador(es) e do(s) disjuntor(es), telas de proteção etc., por meio de um único cabo de cobre nu, seção transversal mínima 25mm², conectados em um único ponto (BEP);
- l) o valor da resistência de aterramento, em qualquer época do ano, não deverá ultrapassar a 10 (dez) Ohms;
- m) no caso de não ser atingido esse limite, deverão ser dispostos tantos eletrodos quantos forem necessários, interligados entre si com a mesma seção transversal do condutor de aterramento principal, ou efetuado tratamento do solo por método adequado.

- NBR 14039/05

O item 6.4.2.2.3 permite utilizar as fundações das edificações como eletrodo de aterramento.

A N-321.0002, da CELESC, não trás nenhuma referência sobre esta possibilidade.

5.14.2. Equipotencialização

- a) em cada subestação deve ser instalado um barramento denominado “barramento de equipotencialização principal (BEP)”, com tamanho mínimo de 25mm de largura e 5mm de espessura e 300mm de comprimento, de cobre eletrolítico, reunindo todas as massas, neutros e condutores de proteção;
- b) a caixa do BEP poderá ser metálica de dimensões mínimas de 350 x 450 x 200mm ou 260 x 520 x 186mm (L x A x P) contendo tampa com visor e dispositivo para lacre, ou em material polimérico de dimensões equivalentes com tampa transparente lacrável, homologada pela Celesc D;
- c) em consumidores do grupo A (primários) a caixa BEP poderá ser instalada na cabine de medição ou na subestação abrigada abaixo da caixa de TC ou de medição.

- Dimensionamento do condutor de aterramento

A seção dos condutores de aterramento principal e das interligações entre as hastes deve ser calculada conforme o item 6.4.3.1, da NBR 14.039.

O item 6.4.1.2, da NBR 5410/2004, também estabelece como calcular ou escolher a seção do condutor de aterramento.

- Método do cálculo da seção do condutor de proteção

$$S = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{k}$$

I → Valor eficaz da corrente de falta Fase-Terra (A);

t → tempo de atuação da proteção (s) (t<5s);

K → fator que depende do material, da temperatura, da isolamento, dentre outros. *Pela NBR5410, fórmula válida para cabos maiores que 10mm².*

O fator *k* está determinado pelas Tabelas 53 a 57, da NBR 5410/04, a saber:

Condutor de proteção isolado não incorporado a cabo multipolar e não enfeixado com outros cabos		
	Isolação ou Cobertura	
Material do Condutor	PVC(*)	EPR/XLPE
Cobre	143/133	176
Alumino	95/88	116
Aço	52/49	64

- Temperatura inicial de 30°C
 - Temperatura final de 160°C PVC até 300mm²
 - Temperatura final de 140°C PVC maior 300 mm²
 - Temperatura final de 250°C EPR/XLPE
 (*) Valor menor para condutores maiores de 300mm²

Condutor de proteção nu em contato com a cobertura do cabo, mas não enfeixado com outros cabos		
	Cobertura	
Material do Condutor	PVC(*)	Polietileno
Cobre	159	138
Alumino	105	91
Aço	58	50

- Temperatura inicial de 30°C
 - Temperatura final de 200°C PVC
 - Temperatura final de 150°C Polietileno

Condutor de proteção constituído por veia de cabo multipolar ou enfeixado com outros cabos ou condutores isolados		
	Isolação ou Cobertura	
Material do Condutor	PVC(*)	EPR/XLPE
Cobre	115/103	143
Alumino	76/68	94
Aço	42/37	52

- Temperatura inicial de 70°C PVC e 90°C EPR/XLPE
- Temperatura final de 160°C PVC até 300mm²
- Temperatura final de 140°C PVC maior 300 mm²
- Temperatura final de 250°C EPR/XLPE
(*) Valor menor para condutores maiores de 300mm²

Condutor de proteção constituído pela armação, capa metálica ou condutor concêntrico de um cabo		
	Isolação ou Cobertura	
Material do Condutor	PVC	EPR/XLPE
Cobre	141	128
Alumino	93	85
Chumbo	26	23
Aço	51	46

- Temperatura inicial de 60°C e 80°C EPR/XLPE
- Temperatura final de 200°C PVC, EPR e XLPE

Condutor de proteção nu onde não houver risco de que as temperaturas indicadas possam danificar qualquer material adjacente			
	Condições		
	Visível e em áreas restritas	Condições normais	Risco de incêndio
Cobre Temperatura Max. K	500°C 228	200°C 159	150°C 138
Alumino Temperatura Max. K	300°C 125	200°C 105	150°C 91
Aço Temperatura Max. K	500°C 82	200°C 58	150°C 50

- Temperatura inicial de 30°C

Alternativamente, a NBR5410 e a NBR14039, indicam que:

Fase ≤ 16mm² → PE = Fase

16 < Fase ≤ 35mm² → PE=16mm²

Fase > 35mm² → PE=Fase/2

Exemplo 1:

Cabo cobre isolado em PVC, corrente de falta Fase-Terra de 1,2kA. Tempo de atuação da proteção 0,5s.

Condutor de proteção isolado não incorporado a cabo multipolar e não enfeixado com outros cabos		
	Isolação ou Cobertura	
Material do Condutor	PVC(*)	EPR/XLPE
Cobre	143/133	178
Alumino	95/88	116
Aço	52/49	64

- Temperatura inicial de 30°C
- Temperatura final de 160°C PVC até 300mm²
- Temperatura final de 140°C PVC maior 300 mm²
- Temperatura final de 250°C EPR/XLPE
(*) Valor menor para condutores maiores de 300mm²

$$S = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{k}$$

$$S = \frac{\sqrt{(1200)^2 \cdot 0,5}}{143}$$

$$S = 5,9 \text{mm}^2$$

$$S = 6,0 \text{mm}^2$$

Exemplo 2:

Cabo cobre isolado em PVC, corrente de falta Fase-Terra de 1,2kA. Tempo de atuação da proteção 0,5s.

Condutor de proteção constituído por veia de cabo multipolar ou enfeixado com outros cabos ou condutores isolados		
	Isolação ou Cobertura	
Material do Condutor	PVC(*)	EPR/XLPE
Cobre	115 / 103	143
Alumino	76/68	94
Aço	42/37	52

- Temperatura inicial de 70°C PVC e 90°C EPR/XLPE
- Temperatura final de 160°C PVC até 300mm²
- Temperatura final de 140°C PVC maior 300 mm²
- Temperatura final de 250°C EPR/XLPE
(*) Valor menor para condutores maiores de 300mm²

$$S = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{k}$$

$$S = \frac{\sqrt{(1200)^2 \cdot 0,5}}{115}$$

$$S = 7,4 \text{ mm}^2$$

$$S = 10,0 \text{ mm}^2$$

Exemplo 3:

Cabo cobre nu 50mm², Tempo de atuação da proteção 1 s e 5s.

	Condições		
	Visível e em áreas restritas	Condições normais	Risco de incêndio
Cobre Temperatura Max. K	500°C 228	200°C 159	150°C 138
Alumino Temperatura Max. K	300°C 125	200°C 105	150°C 91
Aço Temperatura Max. K	500°C 82	200°C 58	150°C 50

- Temperatura inicial de 30°C

$$S = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{k}$$

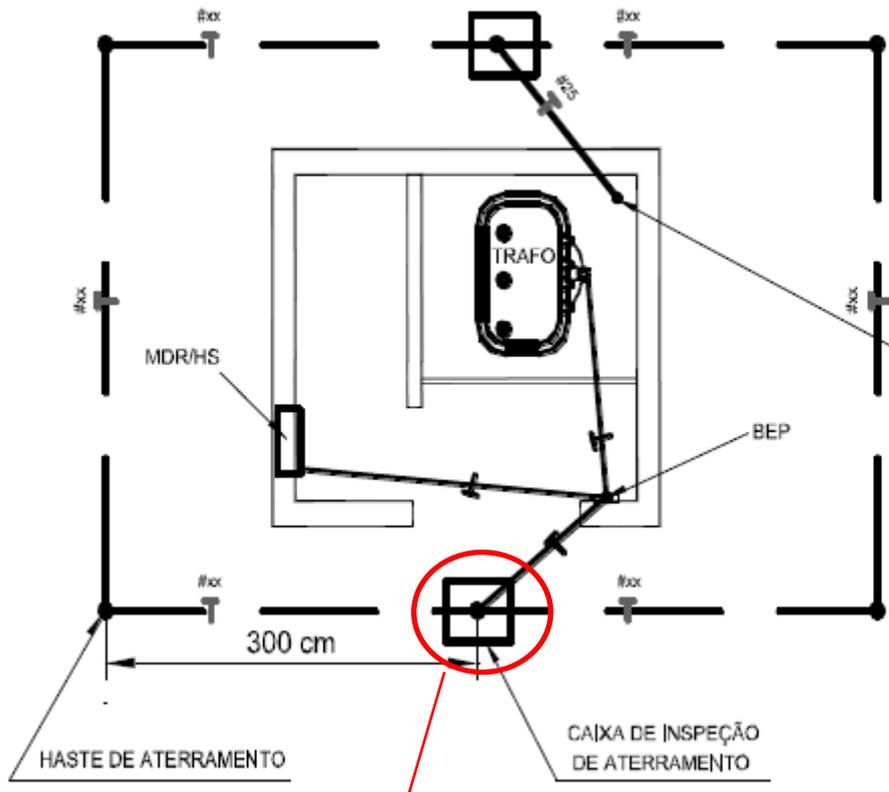
$$I = \sqrt{\frac{(S \cdot k)^2}{t}}$$

$$t = 1s \Rightarrow I = \sqrt{\frac{(50 \times 159)^2}{1}} \Rightarrow I = 7,95kA$$

$$t = 5s \Rightarrow I = \sqrt{\frac{(50 \times 159)^2}{5}} \Rightarrow I = 3,55kA$$

FIM

DESENHO Nº 39 – ESQUEMA TÍPICO DE BARRAMENTO D EQUIPOTENCIALIZAÇÃO – BEP PARA ATERRAMENTO



Item 5.14.1, alínea g, exige caixa em todas as hastes.

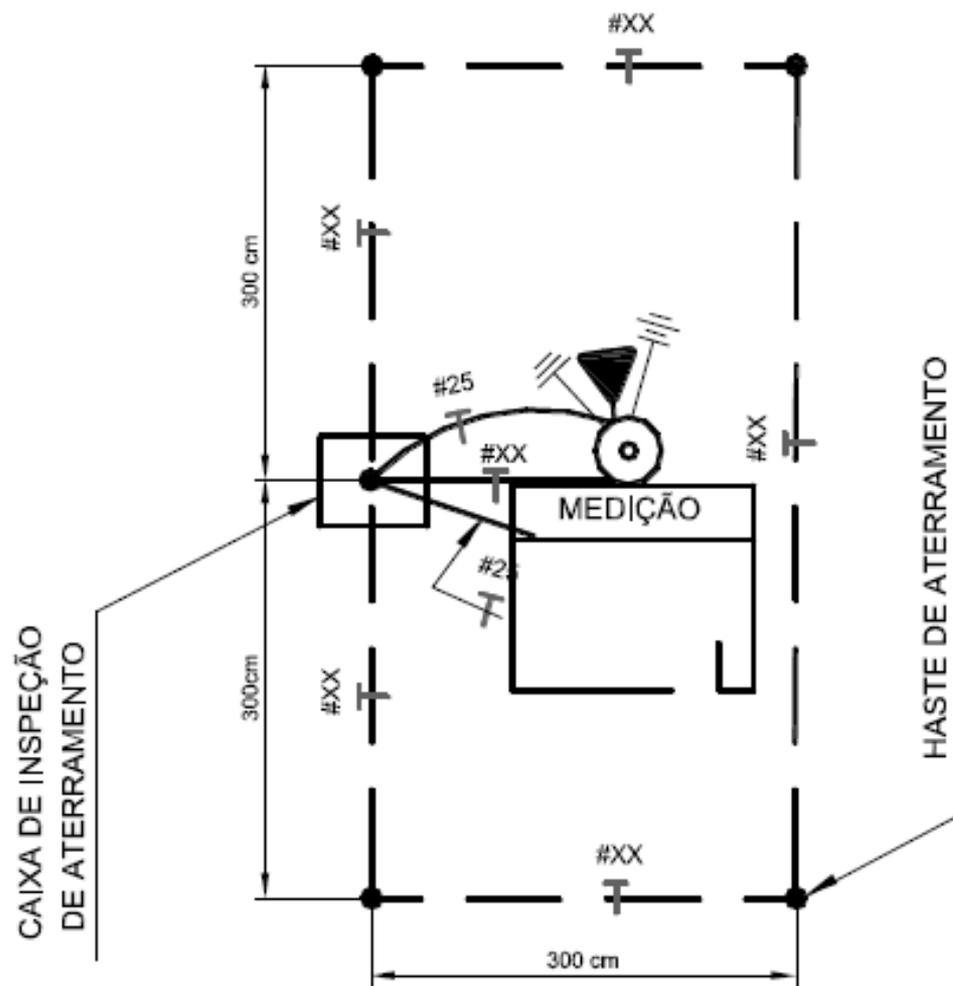
Item 5.14.1, alínea b, exige 2 pontos de aterramento.

ATERRAMENTO DA FERRAGEM DO PISO



OPÇÃO DE LOCALIZAÇÃO DO BEP EM SUBESTAÇÃO ABRIGADA

SUBESTAÇÃO EXTERNA



[RETORNO](#)