



**XINGU RIO**  
TRANSMISSORA DE ENERGIA S.A.

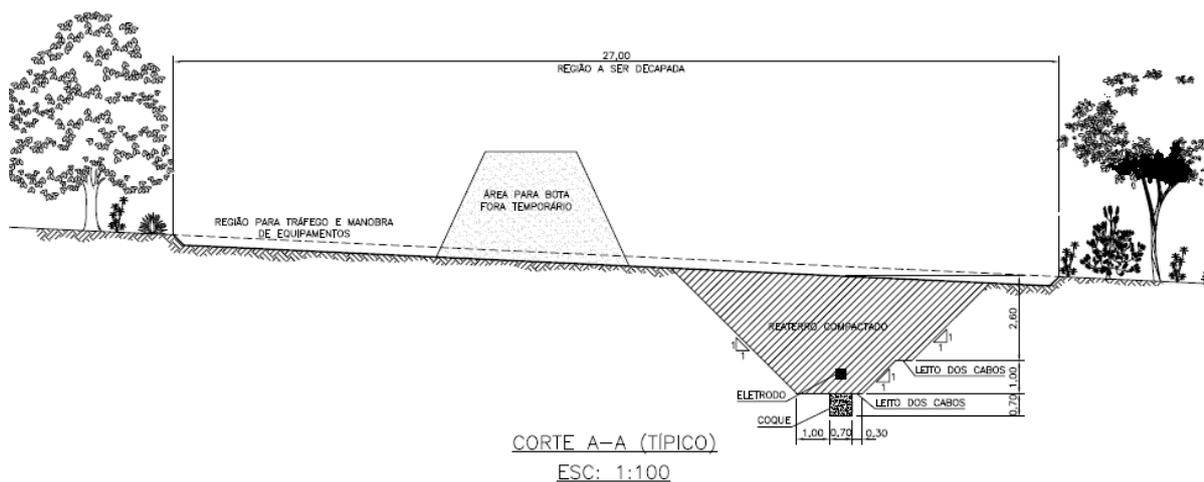
**CARACTERIZAÇÃO DO ELETRODO DE TERRA**  
**SISTEMA DE TRANSMISSÃO XINGU – TERMINAL RIO**

Novembro – 2016

## 1 OPERAÇÃO DO ELETRODO DE TERRA

O sistema de aterramento das Estações Conversoras do Bipolo 2 será composto por dois Eletrodos de Terra conectados a duas linhas de eletrodo, associadas à SE Xingu e à SE Terminal Rio, respectivamente. A função dos eletrodos de terra é manter as pontes conversoras CA/CC no referencial de terra e também realizar a conexão da transmissão de potência do polo no modo de operação monopolar com retorno pela terra, na eventualidade de perda de um dos dois polos da LT ou da Conversora.

Para tanto, o sistema é composto de uma linha de eletrodo e pelos eletrodos de terra. O desenho esquemático de um eletrodo de terra e sua respectiva área para bota fora temporário é apresentado na Figura 1. Mais adiante, são apresentados detalhes das características e funções desses componentes do sistema.



**Figura 1: Desenho esquemático do eletrodo de terra.**

Os eletrodos de terra possuem dois tipos de funcionamento: monopolar e bipolar. Na operação Monopolar há o retorno pela linha (retorno metálico), quando o eletrodo é utilizado apenas como referência de terra, em geral no sistema transmissor de potência e o fluxo de corrente é mínimo; e o retorno por terra, quando num dos pólos há uma interrupção de operação e metade da capacidade de energia é transmitida numa operação monopolar. Supondo a interrupção do pólo negativo a corrente sai do pólo positivo da estação retificadora para o pólo positivo da estação inversora, daí para o eletrodo de aterramento, segue pela terra até o eletrodo da retificadora, completando o circuito.

Já na operação bipolar, a energia recebida do sistema de Corrente Alternada na estação retificadora é convertida em Corrente Contínua, saindo pelo pólo positivo e sendo transmitida até a estação inversora, onde entra no pólo positivo. Na estação inversora a energia é transmitida pelos conversores ao sistema de Corrente Alternada e então a Corrente Contínua retorna pelo pólo negativo para a estação retificadora, fechando o ciclo da operação bipolar.

A Figura 2, a seguir, apresenta um diagrama esquemático onde são mostradas as trajetórias das correntes no modo monopolar e bipolar de um Eletrodo de Terra.

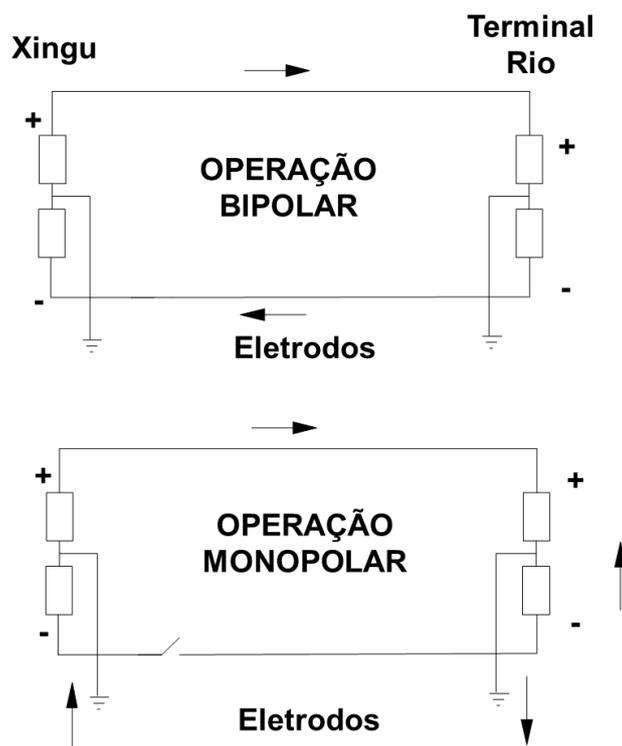


Figura 2: Fluxo de corrente nas operações monopolar e bipolar.

## 2 REQUISITOS BÁSICOS

Os critérios para instalação dos eletrodos de terra que compõem o sistema de aterramento das Estações Conversoras, segundo especificado no Anexo 6 do Edital do Leilão da ANEEL nº 007/2015, são:

- Distância mínima entre a locação do eletrodo de terra e a Subestação é de 15km;
- Ausência de circulação de corrente contínua no neutro dos transformadores conversores, ou em transformadores de subestações vizinhas, capaz de provocar a saturação do mesmo;

- Resistência de aterramento do eletrodo de terra igual ou inferior a  $0,35\Omega$ ;
- Dimensionamento do eletrodo de terra que possibilite sua operação em regime anódico ou catódico;
- Dimensionamento do eletrodo de terra para garantir a segurança de seres vivos.
- Previsão de compartilhamento do uso do eletrodo, na SE Xingu, pelo Bipolo 1 (SE Xingu – SE Estreito). O eletrodo de terra do Bipolo 2 (SE Xingu – SE Terminal Rio) deve ser dimensionado para que possa escoar tanto as correntes próprias quanto as do Bipolo 1, que compartilhará a mesma subestação, de acordo com os seguintes valores limite:
  - Operação Bipolar do Bipolo 2: 40 A contínuo por todo o ano;
  - Operação Bipolar compartilhada pelos bipolos 1 e 2: 80 A por 2 meses ao longo de 1 ano;
  - Operação Monopolar com retorno pela terra do Bipolo 2: 2540 A por 250 horas por ano, sendo:
    - o 220 horas para uso próprio, consideradas cumulativamente para todo o período de concessão e devidamente garantidas no dimensionamento;
    - o 30 horas anuais a serem cedidas para compartilhamento, caso necessário, com o Bipolo 1.
  - Operação Monopolar com retorno pela terra com sobrecarga de um dos bipolos com o outro Bipolo em operação bipolar: 3365 A por 300 minutos por ano.
- Adoção de providências para mitigar todos os efeitos de interferência (corrosão de dutos e estruturas metálicas de linhas de transmissão e seus aterramentos, saturação de transformadores CA, entre outros) que o retorno da corrente CC no solo poderá provocar;
- Máxima densidade de corrente superficial menor que aquela que provoque migração de água por eletro-osmose;
- Nas condições ambientais e do solo mais desfavoráveis e na circulação de corrente máxima pela linha do eletrodo (no modo de operação monopolar), a elevação de temperatura dos eletrodos em relação ao ambiente não pode exceder a  $60^{\circ}\text{C}$ , desde que a temperatura final não seja superior a  $100^{\circ}\text{C}$ ;
- Conexão das linhas do eletrodo aos eletrodos, bem como providenciar os dispositivos de equalização da distribuição de corrente nas várias secções do eletrodo e dispositivos para monitoramento adequado da temperatura na superfície do eletrodo e da umidade do solo.

### 3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Basicamente, cada eletrodo de terra consiste em um determinado número de hastes metálicas que ficam enterradas no solo e conectadas a cabos distribuidores de corrente, instalados no centro de um leito de carvão coque mineral, de seção transversal adequada.

A corrente contínua proveniente do ponto comum do conjunto de Válvulas Conversoras de cada polo, através da linha do eletrodo, é distribuída através dos cabos distribuidores para as hastes metálicas e dessas para o carvão coque, sendo então distribuída para o solo. O leito de carvão coque com as hastes metálicas, bem como os cabos distribuidores, serão colocados a uma profundidade aproximada de 3,0 m da superfície do solo (podendo ser aprofundado nas imediações de corpos hídricos), ao longo da periferia de uma área, com um comprimento total suficiente para manter a densidade de corrente na interface carvão coque/solo suficientemente baixa, de forma a evitar:

- Temperaturas elevadas ao redor do eletrodo;
- Ressecamento do solo por eletro-osmose.

Os formatos circular, elíptico ou misto são adotados para construção do eletrodo porque são os que melhor se adequa para distribuição de corrente uniformemente, proporcionando, assim, uma melhor utilização de material, por menor desgaste ao longo da vida útil da instalação.

Embora o eletrodo de terra seja contínuo em todo o seu comprimento, a distribuição de corrente para as hastes metálicas é feita por diversos cabos distribuidores, cada cabo alimentando um setor de eletrodo por ambas as extremidades. Isso elimina a possibilidade da perda de alimentação de um setor por defeito em uma conexão entre cabos ou o seu rompimento, causando desequilíbrio na distribuição de corrente e, portanto, diminuindo a eficiência da transmissão de energia.

Para o Sistema de Aterramento previsto, serão utilizados 36 subgrupos de eletrodos, constituídos de hastes fabricadas em liga metálica fundida, material que tem bom desempenho elétrico (baixíssima resistência) e corrosivo (baixíssima corrosividade).

Na Tabela 1 são apresentadas as características técnicas do sistema de eletrodos.



**Tabela 1: Características técnicas dos eletrodos de terra**

Número de eletrodos do sistema	A ser determinado no Projeto Executivo
Material constituinte	Liga metálica fundida
Dimensões dos eletrodos de terra	Perímetro de 5030m
Resistência de aterramento	(igual ou inferior a $0,35\Omega$ ) A ser confirmada após a construção.
Regime de operação	Anódico ou catódico
Carga horária de operação contínua dos eletrodos de terra	250 horas por ano (máxima)
Densidade máxima de corrente superficial	A ser determinado no Projeto Executivo
Temperatura dos eletrodos (no modo de operação monopolar)	(não pode exceder $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) A ser determinado no projeto executivo
Valor máximo de desbalanço (em regime de operação monopolar)	40 A, em regime contínuo