

# SISTEMA DE TRANSMISSÃO **XINGU-RIO**

2º RELATÓRIO DE RESPOSTAS ÀS CONDICIONANTES DA LICENÇA PRÉVIA Nº 542/2017

## **ANEXO 2.5-3**

Outubro de 2017

00	24/07/17	Revisão Geral	DPG	LZ
0D	10/10/17	Revisada área do eletrodo	NXM /LMS	PMT
0C	14/07/17	Revisada área do eletrodo	NXM /LMS	PMT
0B	29/03/17	Revisada área do eletrodo	NXM /LMS	PMT
0A	17/03/17	Emissão Inicial	NXM /LMS	PMT
Rev.	Data	Descrição	Por	Aprov.
 <b>XINGU RIO</b> TRANSMISSORA DE ENERGIA S.A.			<i>Reference</i> Projeto Xingu Rio – Bipolo 2 HVDC +/-800Kv - 500kVCA	
 <b>STATE GRID</b> CORPORATION OF CHINA CET BRAZIL TRANSMISSÃO DE ENERGIA LTDA			<i>Document Title</i> Memorial Descritivo Eletrodo de Aterramento da Estação Conversora <b>Xingu</b>	
<i>Project</i>	DP - Daniel Pardini	24/10/17	<i>Discipline</i>	Relatório e Estudos Técnicos
<i>Approved</i>	PMT	17/03/17	<i>Nº Doc.</i>	CET-ET-XIN-RE-MA-0002-00
<i>Responsible</i>	NXM	17/03/17	<i>Rev.</i>	00
<i>CREA Nº</i>	10029931988-03-04		<i>Pages</i>	1/25
			<i>Nº CET</i>	



## Sumário

1.	Introdução.....	3
2.	Objetivo .....	3
3.	Parâmetros adotados .....	4
4.	Definição do local do Eletrodo .....	4
4.1.	Caracterização Geológica .....	7
4.2.	Área de pesquisa sugerida para o Eletrodo .....	8
5.	Eletrodo Raso ou Horizontal .....	11
6.	Componentes do Eletrodo .....	12
7.	Eletrodo do Xingu.....	12
8.	Interface entre a LT e os Anodos da Vala.....	14
9.	Metodologia construtiva do Eletrodo .....	14
10.	Cronograma e Histograma – Mão de Obra Direta e Indireta .....	23
11.	Efeitos físicos do eletrodo em operação .....	24
12.	Drenagem na Área do Eletrodo .....	25
13.	Referências Bibliográficas.....	25
14.	Anexos.....	25



## 1. Introdução

A implantação do Eletrodo de Aterramento associado à Subestação de Xingu está localizada ao norte do estado do Pará. Esta instalação ficará sob a responsabilidade da XRTE – Xingu Rio Transmissora de Energia.

O Eletrodo faz parte do sistema que tem por objetivo principal possibilitar que a energia gerada na Usina Hidrelétrica de Belo Monte seja transportada em sistema monopolar para a região centro-sul do Brasil, reforçando o sistema interligado, que alimenta os principais centros consumidores do país, assim como ocorre no Bipolo 1.

A imagem abaixo apresenta a planta do traçado entre as duas estações conversoras e permite visualizar a localização de cada um dos eletrodos.

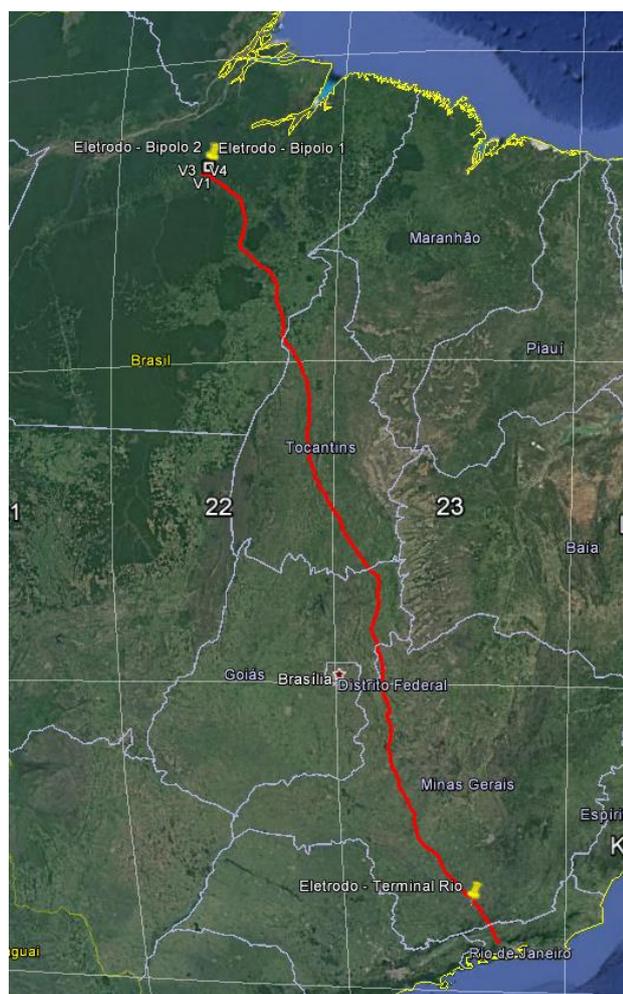


Figura 1.1 – Localização dos Eletrodos de Aterramento

## 2. Objetivo

O objetivo deste memorial descritivo é prover as informações fundamentais referentes ao projeto executivo para implantação do Eletrodo de Aterramento da Estação Conversora Xingu do Bipolo 2, localizado no município de Anapú, estado do Pará. Maiores informações sobre a localização do Eletrodo, bem como seu acesso estão detalhados no **Relatório de Planejamento de Mobilização e de Canteiro**, que será **Anexo 01** deste memorial descritivo.



### 3. Parâmetros adotados

De acordo com o Anexo 6 do edital da Aneel, cada Bipolo ( $\pm 800$  kV, 4.000 MW) terá uma corrente nominal de 2500A na direção da transmissão do Xingu para o Terminal Rio e 2044A no sentido inverso, com sobrecarga máxima esperada de 33% (3325A). Portanto, Belo Monte possui uma corrente máxima de eletrodos bem próxima a um dos eletrodos do Projeto de Interligação do Rio Madeira (3490 A).

Para maiores informações técnicas, como tempo de funcionamento, carga, temperatura, vida útil, formato, seções e conceito de funcionamento foi elaborado separadamente um relatório técnico específico nomeado como **Relatório Técnico do Eletrodo de Xingu** que será o **Anexo 02** deste memorial descritivo.

### 4. Definição do local do Eletrodo

O Estudo de Impacto Ambiental (EIA) do empreendimento apresentou as alternativas locais para escolha do local dos Eletrodos de Terra, partindo-se da premissa de que estes devem estar a uma distância mínima de 15km da Estação Conversora e levando em consideração os aspectos definidos no próprio item 5.2.2 do EIA.

De acordo com o EIA, em análise da base de dados geológicas disponíveis no site do IBGE, identificou-se que a SE Xingu está localizada na borda da bacia sedimentar de Volta Grande do rio Xingu, que não apresenta características geológicas ideais para a instalação do Eletrodo. Refutou-se então as possibilidades de locação nos sentidos Oeste e Sul da Subestação Xingu. O levantamento Magneto Telúrico (MT) preliminar na etapa do EIA de prospecção geofísica indicou uma linha (Linha MT) com condições do solo propícias para a instalação do Eletrodo Xingu, sendo identificadas 3 alternativas conforme apresentados a seguir.

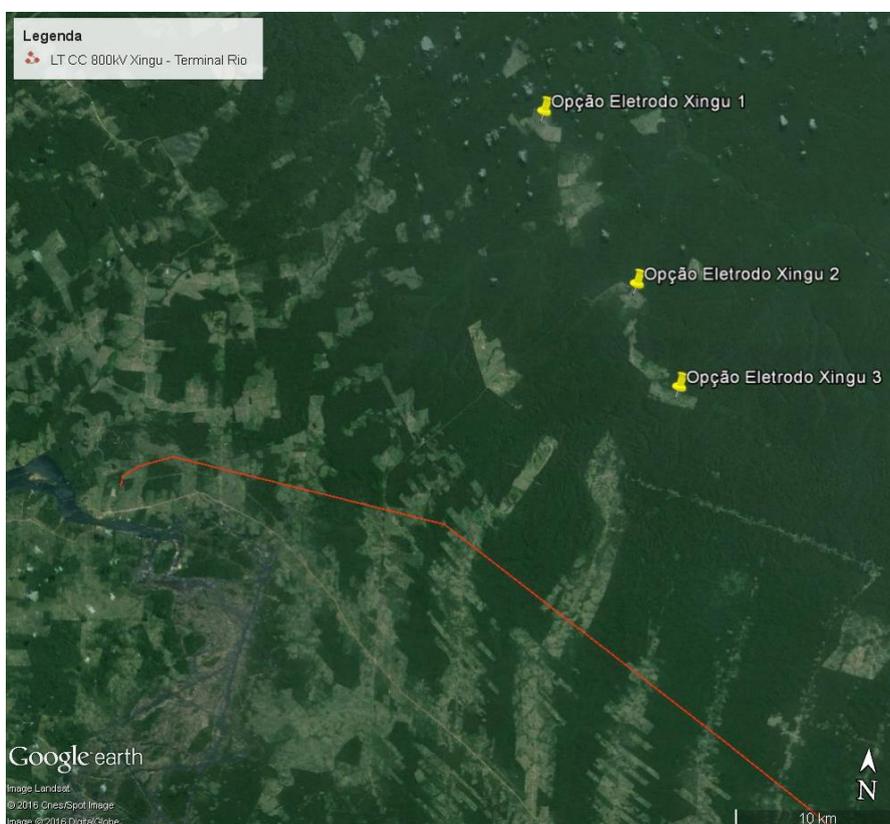
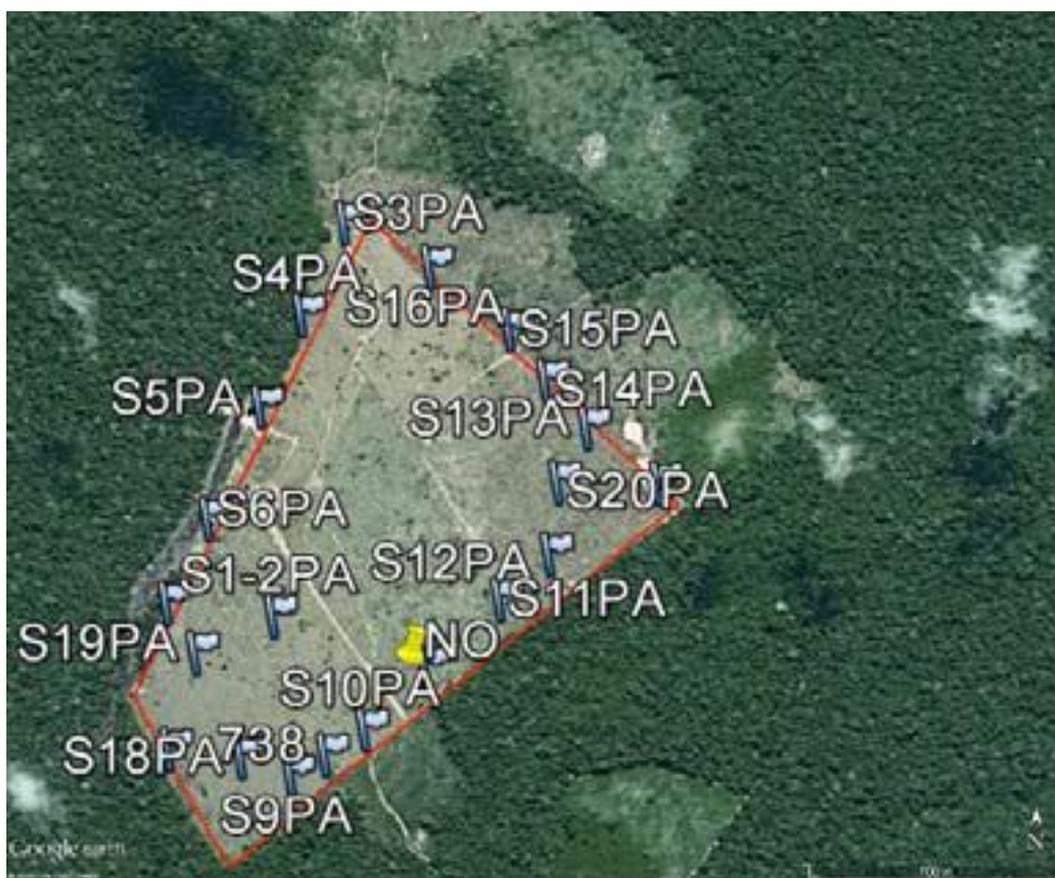


Figura 4.1 – Áreas estudadas na Etapa de Concepção

No entanto, após detalhamento do projeto executivo e após estudos realizado no local, foi verificado que os resultados de resistividade das camadas mais rasas do eletrodo apresentavam valores ruins, não permitindo atingir o valor de resistência menor que  $0,35\Omega$  (critério de projeto definido no Edital do Leilão da ANEEL), ao passo que para o atingimento deste valor haveria a necessidade de aumentar o diâmetro do Eletrodo de Terra além dos limites da clareira já antropizada, havendo a necessidade de afetar a área florestada limítrofe.

Simulações foram feitas na tentativa de se projetar dois anéis de eletrodos na presente área, mas as dimensões da clareira não foram suficientes. Os resultados destas simulações podem ser vistos no comparativo apresentado na tabela 2.3 do **Relatório Técnico do Eletrodo de Xingu, Anexo 02** deste memorial descritivo.

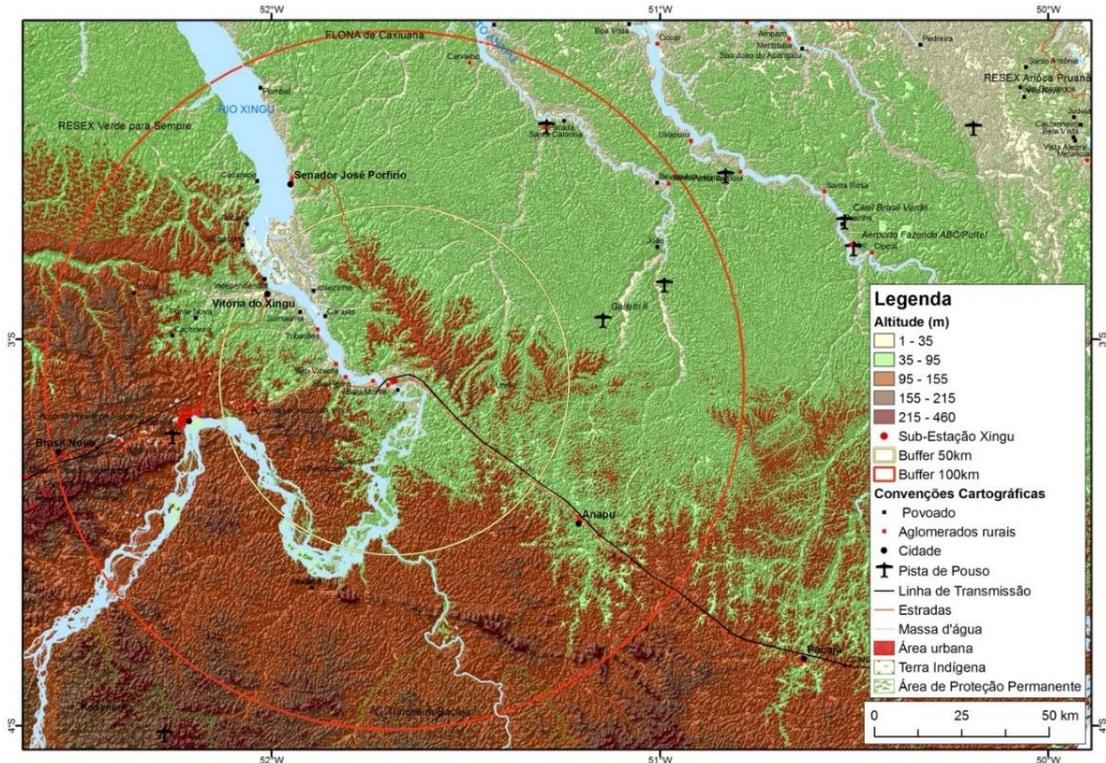


**Figura 4.2 – Pontos de Medição de Resistividade Rasa (Werner)**

Por conta disso foi necessário que a XRTE iniciasse novamente o processo de prospecção de novas áreas, chegando-se à 7 novas alternativas locais.

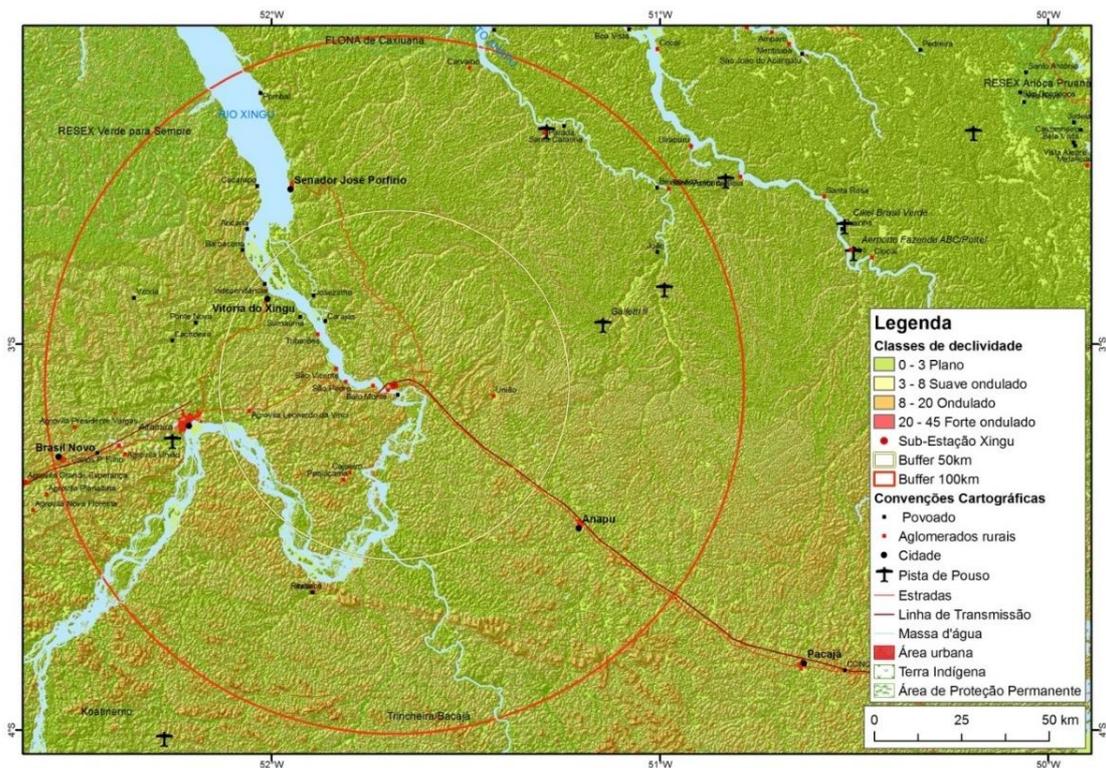
A partir de levantamento altimétrico regional, conforme mapa a seguir, observa-se que as maiores altitudes estão localizadas nas áreas castanhas, que devem ser evitadas para implantação do eletrodo, pois, provavelmente, apresentarão o perfil rochoso mais superficial, ambiente mais resistivo e negativo para o escoamento do fluxo de corrente em direção ao magma.

Esta premissa direciona a busca da localização do eletrodo para a direção norte em distância superior a 30 km da Subestação Xingu.



**Figura 4.3 - Área de Xingu – Altitude**

O mapa a seguir mostra que, próximo da Subestação Xingu, a geomorfologia se caracteriza como mais ondulada, o que também justifica a busca de uma área na direção nordeste, onde se localizam as áreas mais planas.



**Figura 4.4 - Área de Xingu - Declividade.**

#### 4.1. Caracterização Geológica

A configuração tectônica da Amazônia é caracterizada por dois blocos separados pela Bacia Sedimentar Amazônica (BAM), conforme apresentado no mapa a seguir (domínios tectônicos do estado do Pará).

Na Bacia Sedimentar do Amazonas (BAM), a área de importância para esta avaliação geológica é a formação Alter do Chão (K2E1ac, Grupo Javari), composta por arenitos, argilito e conglomerados de sistemas lacustres-deltaicos, com influência marinha.

Esta formação, envelhecida no Cretáceo, possui algumas coberturas de superfície do cenozoicas que consistem em Arenques Aluviais, areias, cascalhos e argilitos de depósitos fluviais recentes (N4A) e Capa Laterita de Matura - revestimentos superficiais residuais, tipo aluminoso (bauxítico e caulínifico), fosfatados, argila e ferruginosa (E13lm).

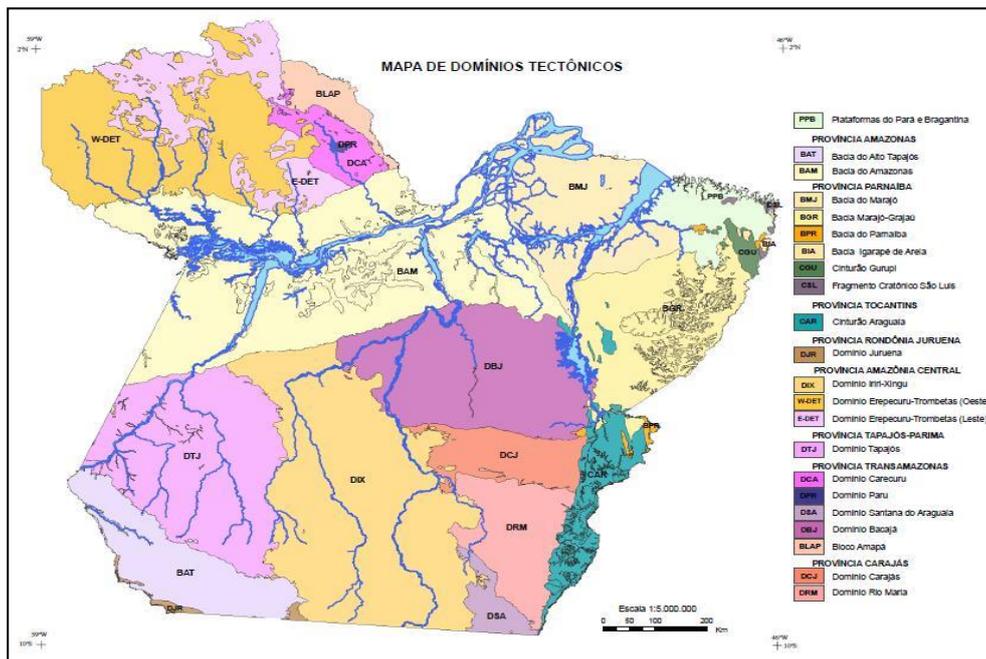


Figura 4.5 - Domínios tectônicos do estado do Pará.

O mapa abaixo mostra a situação geológica da área de Volta Grande, onde a cor verde identifica a Bacia Sedimentar da Amazônia.

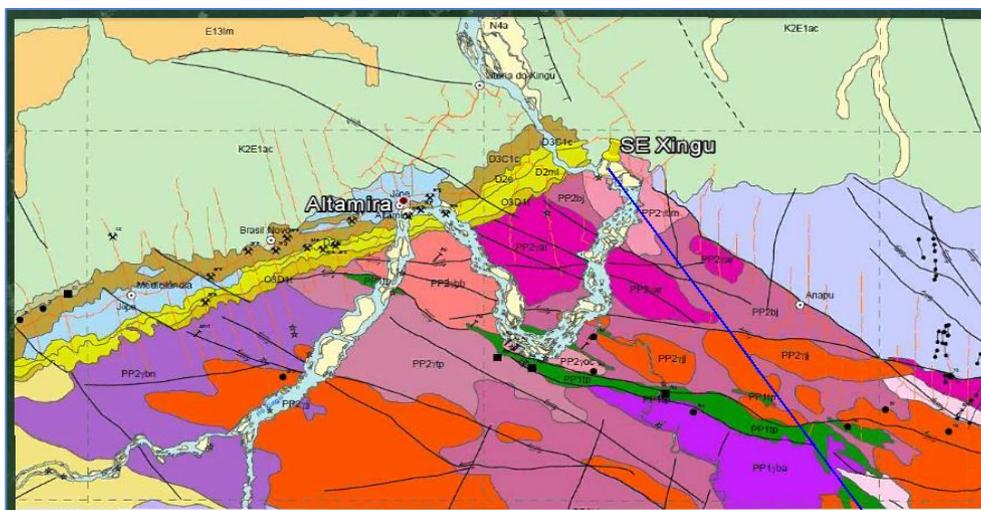


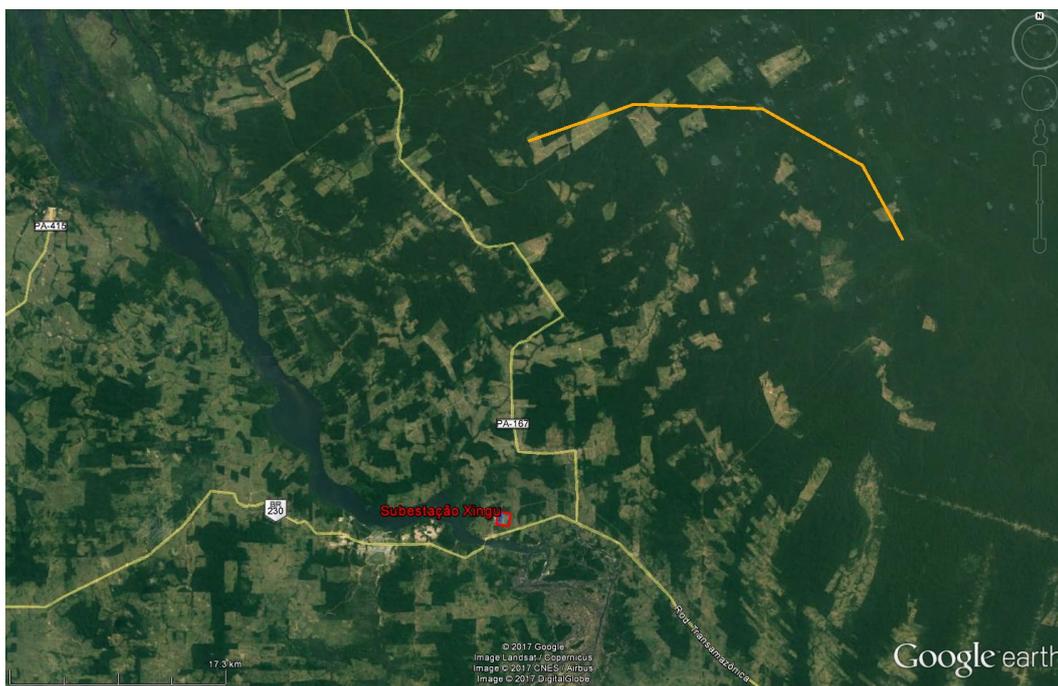
Figura 4.6 - Detalhe das formações geológicas na região da Volta Grande do rio Xingu, com a indicação da direção inicial estimada da linha HVDC em azul.



## 4.2. Área de pesquisa sugerida para o Eletrodo

O mapa a seguir mostra o alinhamento (linha laranja) onde será desenvolvida a pesquisa magneto-telúrica, distando cerca de 35 km da Subestação Xingu, conforme recomendado pela avaliação geográfica/geológica.

A Subestação Xingu está localizada muito perto da borda da bacia sedimentar necessitando que a linha de estudos do eletrodo seja realizada à Nordeste, a fim de ter o eletrodo o mais longe possível na bacia sedimentar e longe das áreas mais onduladas. O levantamento magneto-telúrico (MT), selecionará o melhor site, com uma estrutura geológica profunda apropriada para hospedar o eletrodo. O alinhamento MT selecionado passa por algumas áreas de pasto, que foram preteridas e analisadas.



**Figura 4.7 - Alinhamento para a busca do site do eletrodo Xingu - 35 km da subestação.**

Devido a todos os fatos citados, foi necessário que a XRTE reiniciasse o processo de seleção de áreas, chegando a 7 novas opções de locação de eletrodo conforme coordenadas e figura a seguir apresentados.

- Opção 1 - 449489.00 m E / 9677555.00 m S;
- Opção 2 - 454312.00 m E / 9681015.00 m S;
- Opção 3 - 430645.64 m E / 9687717.10 m S;
- Opção 4 - 434998.47 m E / 9688063.73 m S;
- Opção 5 - 436419.18 m E / 9689922.52 m S;
- Opção 6 - 438823.46 m E / 9688209.59 m S;
- Opção 7 - 445900.70 m E / 9692815.22 m S.

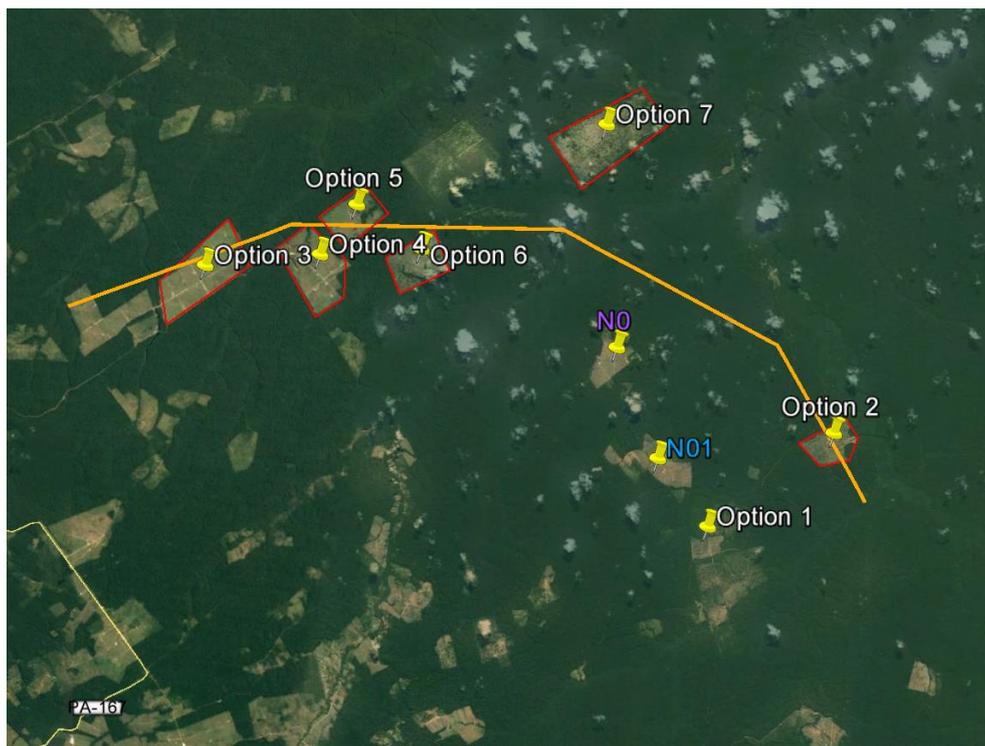


Figura 4.8 - Áreas estudadas na Etapa de Projeto Executivo

Dentre as 7 opções, a que se mostrou mais adequada em relação aos critérios técnicos foi a Opção 1, que pode ser vista na figura a seguir. O que também pode ser observado no arquivo eletrônico, **Anexo 04 – Arquivo em KMZ com Arranjo e Vértices** deste relatório.

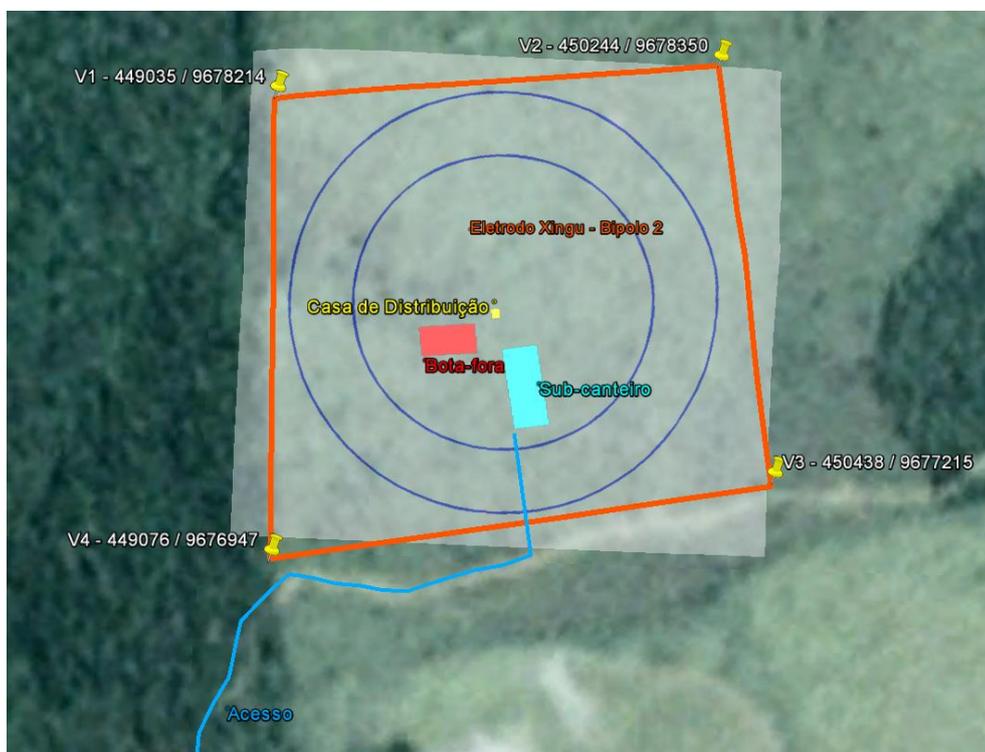


Figura 4.9 - Posição final escolhida para o Eletrodo de Aterramento



Importante ressaltar 3 pontos:

- A localização do eletrodo não interfere em nenhum corpo hídrico ou nascente,
- Será feita a supressão vegetal conforme inventário florestal, apenas ao longo da vala dos 2 anéis do eletrodo, com 20 metros de largura, para que possa ser efetuada a escavação;
- Caso haja rocha durante a escavação da vala, inicialmente será feito uma pequena mudança da circunferência tentando evitar as rochas, mas caso não seja suficiente, será feito o desmonte da rocha com o uso de explosivos. Para isto, será feito todo processo e tratativa junto ao Exército Brasileiro.

Por se tratar de uma obra simples e compacta, não haverá execução de drenagem superficial na área de construção do eletrodo e do canteiro de obras, somente controle do solo referente as escavações das valas.



**Figura 4.10 - Foto recente da área onde será executado o Eletrodo (Fazenda Itaipu)**



**Figura 4.11 - Foto recente da área onde será executado o Eletrodo (Fazenda Itaipu)**

Embora a área a ser adquirida pela XRTE seja retangular, a forma do eletrodo será circular, conforme a seguir apresentado:

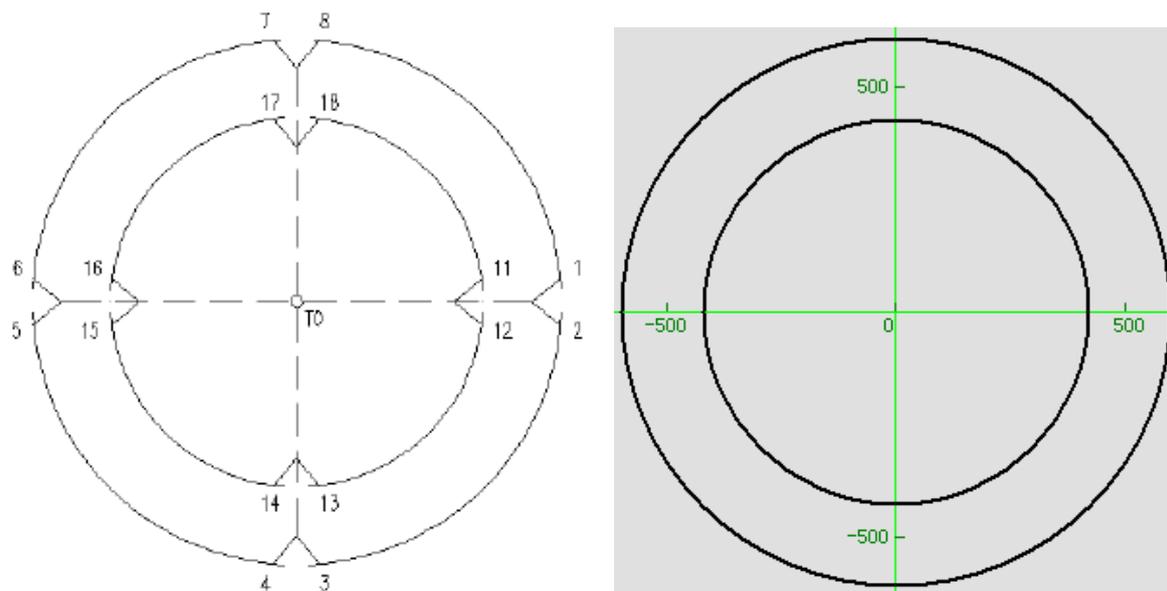


Figura 4.12 - Formato do Eletrodo de Xingu

## 5. Eletrodo Raso ou Horizontal

O eletrodo de terra raso ou horizontal é composto por uma vala aberta diretamente no solo local por meio de máquinas, sendo que as dimensões das valas podem variar de acordo com as características do solo local da região bem como características operacionais da Linha de Transmissão e especificações do projeto do eletrodo.

A vala do eletrodo terá o seu comprimento total e traçado geográfico de acordo com a disponibilidade do terreno adotado, características do solo e características operacionais da Linha de Transmissão. Esta vala irá comportar os componentes ativos do eletrodo, para drenagem de corrente e interligação elétrica do sistema.

Todo o comprimento da vala do eletrodo atua como uma grande malha de aterramento e, para isto, são utilizados componentes específicos para diminuir a resistência de aterramento total do eletrodo e, com isso, otimizar o escoamento do fluxo de corrente para o solo.

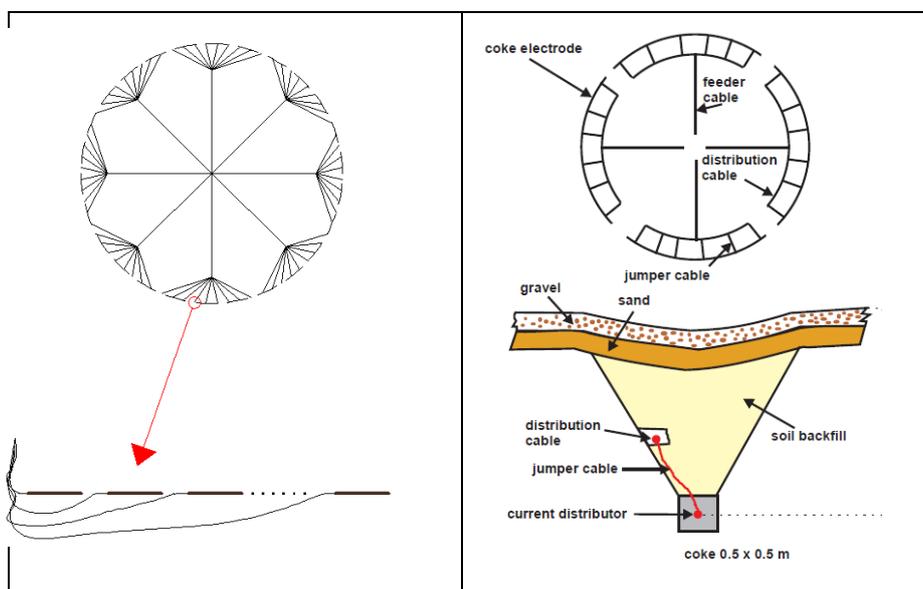


Figura 5.1 - Configuração típica do eletrodo horizontal.



## 6. Componentes do Eletrodo

Os principais componentes atuantes deste aterramento são os anodos (hastes metálicas fabricadas em ligas específicas para este fim), com dimensões aproximadamente de 3 metros de comprimento cada, tendo a quantidade de anodos variada de acordo com o comprimento total das valas.

Outro componente importante na instalação do eletrodo é o Coque Calcinado de Petróleo, material quimicamente estável e insolúvel em água, que por conter características de boa condutividade elétrica é adicionado à vala para preencher o seu volume ao redor dos anodos e otimizar a área de contato com o solo local, proporcionando uma área ativa maior no escoamento do fluxo da corrente para o solo.

Finalmente, objetivando monitorar a variação de temperatura e umidade do solo devido ao funcionamento do eletrodo, serão instalados sensores de temperatura e de umidade na interface da camada ativa (anodo + coque) com o solo local.

Abaixo segue a tabela de materiais que será utilizado na construção do eletrodo.

Nr.	Descrição	Especificação	Unid.	Quant.
1	Coque	Comprimento lateral da seção de 300mm, perímetro total de 6400m	ton.	700,00
2	Condutor de eletrodo	Haste de ferrocromo de alto silício de Ø38mm, 3m de comprimento para cada peça	peça	1.350,00
3	Cabo de Alimentação	Cabo condutor de cobre 1x240mm <sup>2</sup> , 10kV, XLPE	metro	32.000,00
4	Cabo de ligação	Cabo condutor de cobre de 10mm <sup>2</sup> , tipo de resistência ao fogo úmido, 1kV, XLPE	metro	18.000,00
5	Soldagem exotérmica		ud	200,00
6	Resina epóxi		kg	1.000,00
7	Tubos de PVC	Ø75	metro	32.000,00
8	Sensor de umidade		ud	8,00
9	Sensor de Temperatura		ud	16,00

Tabela 6.1 – Quantidade de Materiais 1

## 7. Eletrodo do Xingu

O eletrodo Xingu adota configuração de anel duplo horizontal. A haste (anodo) é de ferrocromo de alto silício e o material de enchimento ativo é o coque. Todos os valores encontrados durante o projeto executivo atendem os critérios técnicos de normas internacionais e da especificação técnica do leilão da ANEEL.

Esta configuração foi escolhida por otimizar a utilização de solo, mesmo em detrimento à utilização de material, que acaba sendo menos eficaz do que em um anel simples. No entanto, a utilização de anéis duplos permite a diminuição da área do eletrodo.

Este eletrodo da Estação Conversora Xingu tem como característica principal ser composto por dois anéis concêntricos, otimizando a área de construção do eletrodo. A tabela abaixo mostra as resistividades calculadas em cada uma das camadas assim como suas espessuras e profundidades.



Resistividade ( $\Omega.m$ )	Espessura (m)	Profundidade (m)
500	3	0
650	3	3
700	3	6
1.500	4	9
3.000	8	13
1.500	20	21
900	180	41
400	100	221
500	$\infty$	321

Tabela 7.1 – Dados de Resistividade da área de Eletrodo de Aterramento

Como resultado do projeto executivo, temos a seguinte gráfico referente a tensão de passo indicando que a tensão máxima será de 17,877 V/m, o que é menor do que o limite indicado na norma IEC62344.

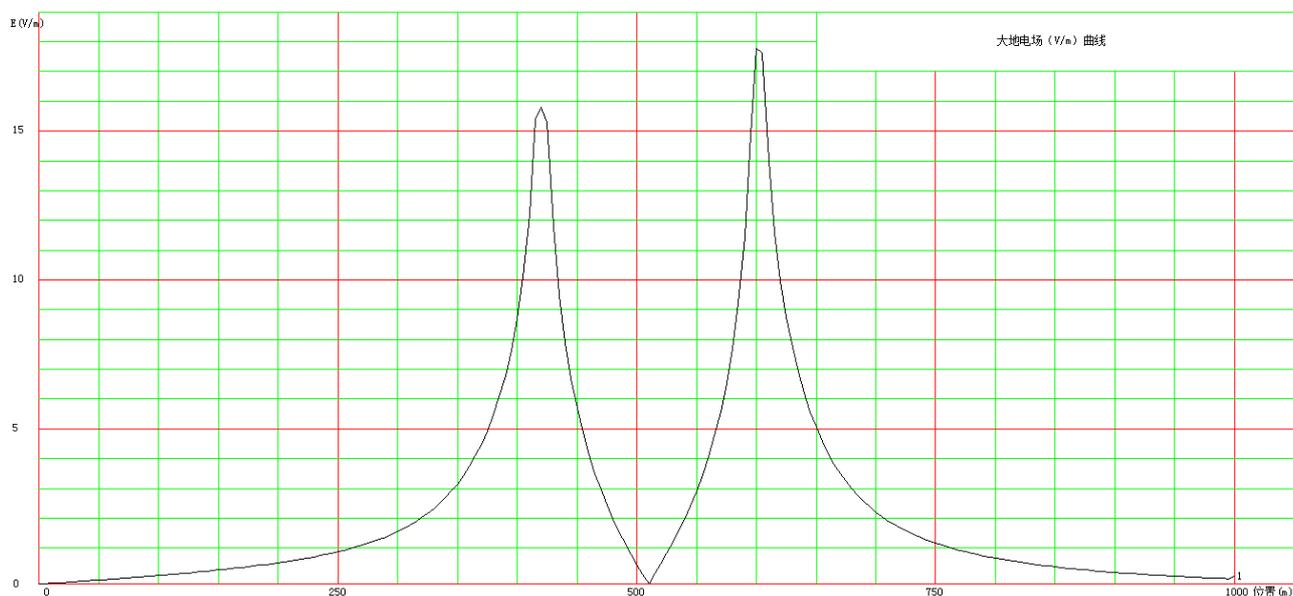


Figura 7.1 - Gráfico referente a tensão de passo

Os principais valores de controle encontrados desde o detalhamento do projeto executivo estão indicados na tabela abaixo. Estes valores são oriundos das melhores práticas de engenharia e seus valores de limite são definidos em normas oriundas de institutos de todo o mundo, bem como no Anexo 06 do Edital da Aneel. No relatório técnico, **Relatório Técnico do Eletrodo de Xingu, Anexo 02** deste memorial descritivo estão detalhadas e explicadas todas as referências e parâmetros.



Variável	Valor Calculado	Valor Limite	Referência
Tensão de Passo (V/m)	17,877	23,32	IEC62344
Temperatura (oC)	60,6	81	Anexo 6 da ANEEL
Densidade de Corrente (A/m <sup>2</sup> )	0,332	0,5	Anexo 6 da ANEEL
Vida Útil (MAh)	379,5	30	Anexo 6 da ANEEL
Elevação de Potencial (V)	747,1		
Resistência (Ω)	0,330	0,350	Anexo 6 da ANEEL
Quantidade de Condutor (t)	88,464		
Volume de Coque (m <sup>3</sup> )	576,8		

Tabela 7.2 – Principais Dados Elétricos de Controle do Eletrodo de Aterramento

## 8. Interface entre a LT e os Anodos da Vala

Todos os anodos do eletrodo de aterramento devem ser conectados, e concentrados em um ponto para a transição com a linha de transmissão aérea.

Para isto cada anodo é conectado por meio de cabos elétricos a um barramento central, que têm a função de fazer a interface da Linha de Transmissão aérea com o eletrodo de aterramento. Neste ponto será construída uma estrutura civil (similar a um abrigo de concreto) de aproximadamente 6m<sup>2</sup> para abrigar os componentes do barramento central de transição e as chaves seccionadoras de controle que dividem os circuitos das seções dos anodos.

As interligações entre os anodos serão realizadas por meio de cabos elétricos lançados diretamente no solo, no interior de valas abertas comumente por meio de máquinas ou por ferramentas manuais quando possível.

Para facilitar a interligação entre os anodos, o eletrodo de aterramento é normalmente dividido por seções, onde cada seção realiza a interligação de uma quantidade de anodos por meio de cabos elétricos também lançados diretamente no solo e conectados a uma caixa de concreto, a qual têm construção simples e a finalidade de apenas abrigar o barramento metálico de interligação dos anodos daquela seção. É comum esta caixa ser construída diretamente no solo e ficar localizada em posições equidistantes em relação ao perímetro total do eletrodo.

## 9. Metodologia construtiva do Eletrodo

A implantação do eletrodo deverá ser realizada dentro dos padrões de qualidade exigidos e será fiscalizada pela XRTE.

Segue, abaixo, o projeto do **Arranjo Geral do Eletrodo**, faz parte do **Anexo 03 - Desenhos do Eletrodo de Xingu**, deste relatório, incluindo o detalhamento do projeto construtivo do eletrodo com as devidas dimensões em destaque e a tabela com as principais medidas do eletrodo de terra.

Como comentado anteriormente este eletrodo é composto por dois anéis concêntricos, sendo o anel menor de 420 metros de raio e o anel maior com 600 metros de raio.



DESCRIÇÃO DESCRIPTION	QUANTIDADE QUANTITY	UNIDADE UNIT
PERÍMETRO PERIMETER	6406	m
SEÇÃO SECTION	28	m <sup>2</sup>
LARGURA WIDTH	12	m
VOLUME	179357	m <sup>3</sup>
ÁREA DE ANEXO DE ELECTRODO ELECTRODE RING AREA	1130400	m <sup>2</sup>
ÁREA CANTEIRO SITE FACILITIES	2000	m <sup>2</sup>

**Tabela 9.1 – Dados do Eletrodo**

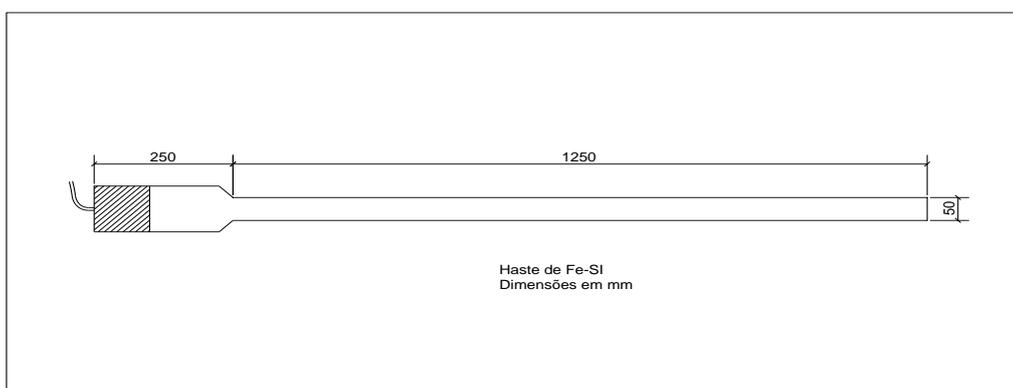
Nesta imagem acima referente a seção do eletrodo, apresentam-se duas plataformas junto à seção de coque: uma de largura de 1,00 m e outra de 0,30 m. Existe, ainda, mais uma localizada um metro acima do coque com 0,50 m de largura.

A plataforma de um metro será usada como área de trabalho para a distribuição dos materiais para dentro da vala, as operações de construção, como enchimento e compactação manual do coque e colocação das hastes. O coque deve ser colocado em camadas 10 cm, apiloadas manualmente, de modo a atingir uma compactação similar à do solo. As hastes devem ficar no centro da seção transversal e alinhadas longitudinalmente.

A plataforma de 0,30m junto ao nível do coque será usada para o encaminhamento dos cabos de alimentação da seção, onde devem ser feitas as conexões dos cabos das hastes aos cabos alimentadores da maneira indicada na imagem abaixo. A conexão das 15 hastes da seção deve ser feita, de modo que sejam derivadas alternadamente dos cabos de distribuição, assim, haverá 8 hastes ligadas em um cabo e 7 em outro cabo.

A plataforma de 0,50 m deverá ser usada para a passagem dos cabos alimentadores das seções seguintes. No início de uma seção os cabos alimentadores dessa seção, devem ser baixados para a plataforma de 0,30 m.

Na imagem abaixo é mostrado o desenho de uma haste. Estas hastes serão de boa qualidade visando resistir, mecanicamente, a razoáveis esforços de tração do cabo, como suportar o peso da haste, apresentar estabilidade química para uma vida útil de 30 anos e apresentar estanqueidade para não contaminar o material que transfere a corrente que chega do cabo de cobre para a cabeça da haste metálica.



**Figura 9.3 - Haste de ferro-silício**



Embora o projeto tenha sido feito para que não haja necessidade de irrigação forçada, o eletrodo possui, ao longo da sua extensão, entradas para medição de temperatura e de umidade que permitem que o operador inicie ações para irrigação e de monitoramento do eletrodo. De modo a permitir esta irrigação, ao longo do eletrodo também são instaladas entradas de água por onde caminhões pipa podem, quando necessário, aumentar a umectação do solo.

Apresenta-se a seguir o detalhamento da sequência construtiva do Eletrodo:

- Implantação dos marcos georreferenciados das Casas de Distribuição e das Torres de chegada da Linha de Transmissão do Eletrodo;
- Implantação das coordenadas do eixo do eletrodo no solo, permitindo a limpeza de uma faixa de cerca de 20 metros de largura, sendo 10 m externos para permitir a escavação como mostrado na imagem da seção acima, e os outros 10 m internos para o material escavado, ao longo de todo percurso do eletrodo. Além desta faixa deverá haver acesso ao entorno da escavação;
- Supressão vegetal, quando necessária, das áreas atingidas, em especial na faixa de 20 metros ao longo da vala;
- Escavação da vala do eletrodo, sendo que o material escavado deverá ficar na parte interna do eletrodo, de modo a, permitir o acesso ao fundo da vala, pela parte externa. Garantindo, assim, um trabalho mais fácil para a configuração da canelota que irá constituir o corpo do eletrodo, a colocação e compactação do coque até a metade da seção, a colocação das hastes e, completar a colocação e compactação do coque. Deverá ser previsto uma maneira de escoar as águas pluviais, em caso de uma chuva torrencial, já que, o material escavado pode formar um dique de contenção no interior da construção;
- Um cuidado especial deverá ser dado à escavação da calha, onde irá ser depositado o coque.



Figura 9.4 - Escavação (talude)

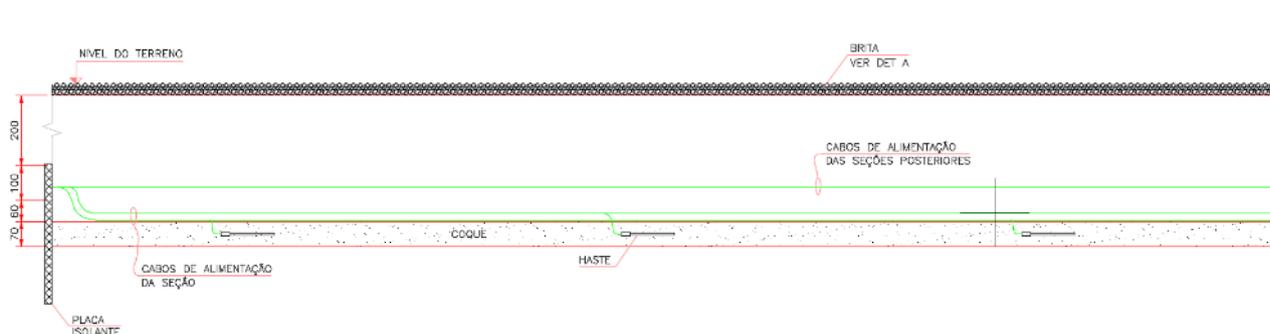
- Com a vala aberta, será feito um levantamento das cotas na superfície do solo ao longo do eletrodo.
- Lançamento do coque na calha. Importante ressaltar que a seção do coque deverá ser executada exatamente igual ao projeto, tanto nas dimensões da parte ativa quanto na profundidade da vala, não podendo haver variações bruscas na superfície do eletrodo. O coque deverá ser lançado em camadas de 10 cm, e apilado, manualmente, até uma compactação similar à do solo

local. Para isto, um bloco de madeira poderá ser usado. Nesta etapa de compactar, o coque acima das hastes, extremo cuidado deverá ser tomado com a compactação, diretamente, acima das hastes, pois elas, apesar de pesadas, são frágeis e quebradiças. Se houver quebra de uma haste, ela deverá ser substituída.



**Figura 9.5 - Aplicação e compactação do coque**

- A conexão do cabo da haste ao cabo alimentador deverá ser feita e, somente após isso, o nível do coque deve chegar ao topo da vala do eletrodo e devidamente compactado.
- A derivação do cabo alimentador para as hastes será feita com solda exotérmica, depois recoberta com Mastic até o nível da capa do condutor, e então, envolvida por pelo menos três camadas de fita isolante. O conjunto será colocado em uma forma de plástico e depois preenchida com massa Scotchplast, de modo, a reforçar a estanqueidade da derivação. A sequência de conexões das hastes aos cabos de distribuição deverá ser feita de maneira que haja uma alternância de ligações aos cabos de distribuição



**Figura 9.6 - Corte longitudinal da vala com coque, haste e cabos**



**Figura 9.7 - Lançamento de Anodos no interior das valas.**

- A bancada de 0,50 m, 1 m acima do coque, no lado interno do eletrodo, poderá ser de difícil execução, dependendo do tipo de solo no local. Neste caso, como alternativa, poderão ser feitos suportes para que os cabos de alimentação das seções seguintes sejam mantidos a pelo menos 1 m acima do coque na parte mais baixa da flecha. De alguma forma, deverá ser garantido que, no reaterro da vala, os espaçamentos desses cabos, a um metro do corpo do eletrodo, sejam mantidos.



**Figura 9.8 - Lançamento de cabos**

- Conexão e interligação dos anodos - Para facilitar a interligação de todos os anodos em um ponto central, o eletrodo de aterramento é normalmente dividido por seções, onde cada seção acomoda um número de anodos. Estes anodos são então conectados aos cabos principais que percorrem toda a extensão do eletrodo e realizam a interligação ao barramento central para transição com a Linha de Transmissão, neste ponto será construída uma estrutura civil (similar a um abrigo de concreto) de aproximadamente 6m<sup>2</sup> para abrigar os componentes do barramento central de transição e as chaves seccionadoras de controle que dividem os circuitos das seções.



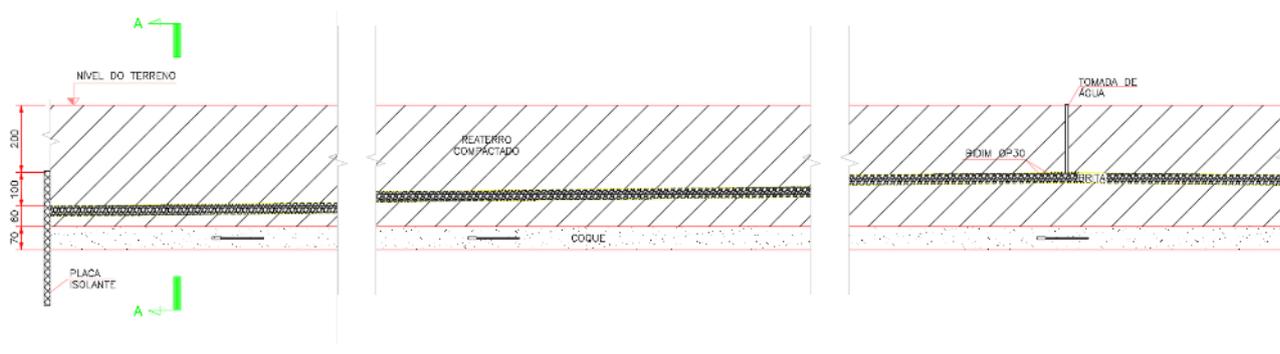
*Figura 9.9 - Lançamento de Cabos de Interligação no interior de valas*

- Reaterro - O retorno do solo para dentro da vala deverá ser feito em camadas de 15 cm. A compactação deverá procurar fazer com que a compactação do solo fique o mais parecido possível com o original. Poderão ser usados equipamentos mecânicos de pequeno porte para este fim, tomando os cuidados necessários para com a integridade dos cabos. Os cabos dos sensores poderão se juntar aos cabos de distribuição até chegar ao interior das casas de distribuição.



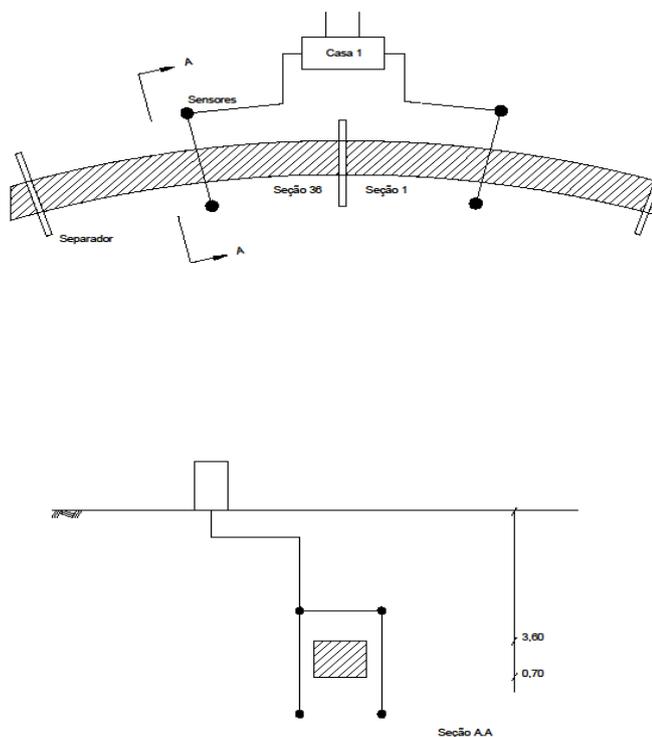
*Figura 9.10 - Reaterro*

- Irrigação da parte ativa do eletrodo - A irrigação será feita por seções e conforme ilustrado abaixo. Em cada seção deverá haver uma tomada d'água central com uma tubulação com diâmetro de 100 mm (4") que desce até a profundidade de 2 metros, onde se iniciam duas canaletas de brita, seção de 0,30 x 0,30 m, abertas na camada de reaterro compactado. Para evitar o entupimento dos vazios da brita, o corpo de brita deverá ser envolvido por uma manta BIDIM. As canaletas deverão ter uma declividade de cerca de 3% para as extremidades da seção. Assim, a canaleta, no local que recebe o tubo de abastecimento deverá ficar 2 m abaixo do nível da superfície, e no final da seção, a profundidade deverá ser de 3 metros.



**Figura 9.11 - Corte longitudinal da vala com o sistema de irrigação**

- Os sensores de temperatura e umidade ficarão instalados diametralmente opostos, situados a 1 metro afastado da quina da seção do eletrodo, sendo dois acima e dois abaixo do corpo do eletrodo. Nestas regiões deverão ser tomados extremos cuidados para que não haja danos aos sensores, nem aos cabos durante o reaterro da vala.



**Figura 9.12 - Esquema ilustrando a instalação dos sensores de umidade e temperatura**

- Os cabos de distribuição entram nas casas por duas aberturas laterais, situadas abaixo da superfície do solo, uma de cada lado da casa. Para isso, deverão ser abertas canaletas até o nível da bandeja, um metro acima do corpo do eletrodo, passar os cabos, inclusive os dos sensores, e depois reaterrar, de modo, a disfarçar a entrada dos cabos para evitar vandalismo.
- Após a formação do corpo do eletrodo, ligações dos cabos de distribuição e dos sensores haverá um trabalho mais pesado, podendo haver circulação de máquinas. Nesta ocasião deverá haver um controle especial para evitar que ocorra algum dano aos cabos, podendo haver inclusive ruptura.
- Cada anodo de cada seção é conectado por meio de cabos elétricos ao barramento central, que têm a função de fazer a interface da Linha de Transmissão aérea com o eletrodo de aterramento.



**Figura 9.13 - Modelo de soldas**

- Construção das Edificações - Enquanto as atividades de escavação das valas, instalação das hastes, lançamento do coque e dos cabos estão acontecendo será construída uma edificação de aproximadamente 6m<sup>2</sup> para abrigar os componentes do barramento central de transição e as chaves seccionadoras de controle que dividem os circuitos das seções dos poços.
- Na parte externa da edificação serão instaladas as buchas e posteriormente conectadas ao cabeamento (Pingados) que descerão diretamente a linha de transmissão.



**Figura 9.14 - Casa de chaveamento próxima a torre da LT (vista das janelas das buchas)**



*Figura 9.15 - Barramento Central de Transição do Eletrodo com a LT.*



*Figura 9.16 - Casa de chaveamento toda em concreto com porta de aço*

## **10. Cronograma e Histograma – Mão de Obra Direta e Indireta**

A construção do Eletrodo da conversora Xingu tem a duração planejada para 11 meses, considerando todas as etapas construtivas, bem como a mobilização e desmobilização de todo canteiro de obras. A previsão de início é para fevereiro de 2018, finalizando em dezembro de 2018.

O número de trabalhadores é bastante reduzido uma vez que grande volume do trabalho será realizado por máquinas como tratores e perfuratrizes. Durante o pico de obra espera-se atingir um total de 30 trabalhadores para atender o cronograma. Entre estes trabalhadores então incluídos os motoristas, operadores, engenheiros, técnicos, supervisores, encarregados, eletricitas e ajudantes.

Para atender esta demanda de pessoal está prevista a contratação de Mão de Obra local e de outras cidades e estados. É de total interesse da CET BRAZIL a contratação do maior número de trabalhadores do local, porém como se trata de uma obra atípica, com diversas atividades específicas nunca executadas na região e tampouco no Brasil, será necessário contratar MO especializada de fora. Segue, abaixo, o cronograma para construção do Eletrodo de Xingu.

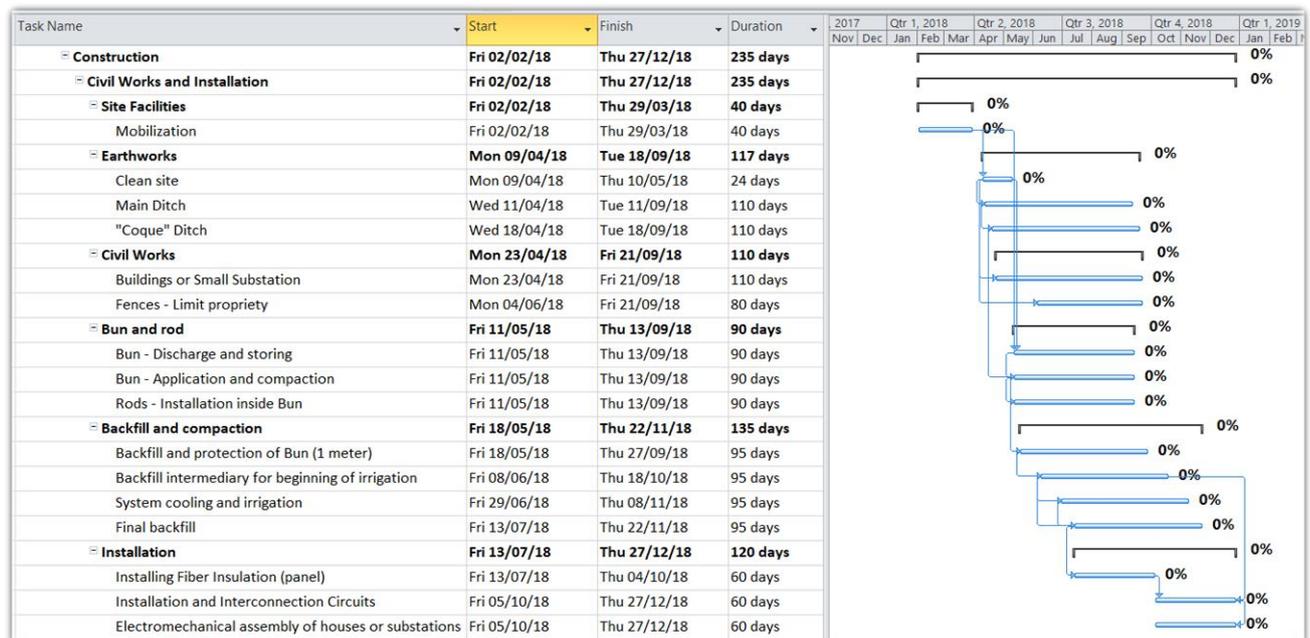


Figura 10.1 – Cronograma físico.

## 11. Efeitos físicos do eletrodo em operação

Durante a operação do eletrodo com sua corrente máxima, espera-se que o fluxo de corrente em direção ao solo resulte em dois efeitos físicos em áreas limítrofes aos elementos de condução, a saber:

- Aquecimento do solo: Em função da dissipação de energia a partir da operação monopolar espera-se um aumento de temperatura limítrofe aos elementos de condução. Como por exemplo; caso a corrente de 2500A seja injetada no eletrodo durante 10 dias, a temperatura máxima que a haste irá atingir é de 60,6 graus, o que é menos que 81 graus exigidos no anexo 6 do edital da ANEEL.
- Eletro-osmose: A água no solo tende a migrar no sentido da corrente elétrica, provocando o ressecamento do solo e consequentemente o aumento da resistividade. Porém, conforme estudos realizados e conforme os dados apresentados anteriormente neste relatório a pior situação que ocorrerá será de 0,332 A/m<sup>2</sup>, o que é menor que 0,50 A/m<sup>2</sup> indicado no anexo 6 da ANEEL. Ressalta-se que, além das informações de referências citadas, o Eletrodo de Terra será dotado de sistema de medição de umidade e de um sistema de irrigação própria de forma a evitar os efeitos supracitados.



Além disso, outros efeitos são questionados, em geral, quando se discute a instalação de eletrodos:

- Choques elétricos: Os critérios de projeto para o dimensionamento do Eletrodo de Terra validam a segurança de pessoas e animais inclusive em toda a área do Eletrodo de Terra. O ponto mais crítico do eletrodo, que serve como referência para os cálculos de tensão de passo e toque, fica exatamente em cima do eletrodo. O projeto executivo confirma que todos os valores de segurança, sobre o eletrodo em si, atendem os critérios de segurança definidos em normas internacionais, além dos critérios descritos no edital da ANEEL. Como por exemplo, o gráfico de tensão de passo apresentado acima neste relatório, indica que a tensão máxima será de 17,877 V/m, o que é menor do que o limite indicado na norma IEC62344.
- Corrosão de estruturas metálicas enterradas, influência em Transformadores, Sistemas de Comunicação, Cercas: O Anexo 6 do edital da ANEEL define que "a transmissora deve tomar as 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, de acordo com os requisitos das empresas proprietárias dos ativos sujeitos a interferência". Portanto, conforme previsto em edital, caso haja impacto a alguma estrutura, ele será mitigado pelo empreendedor.

## 12. Drenagem na Área do Eletrodo

Não há necessidade de um sistema de drenagem específico para a área do eletrodo uma vez que o terreno natural será mantido através de corte e aterro no percurso onde são instalados os eletrodos, fazendo com que os fluxos de água não sejam alterados. Caso haja a necessidade de se rebaixar o lençol subsuperficial, este será feito.

## 13. Referências Bibliográficas

- ✓ Lei 11.934 de 05.05.2009 e Resolução Normativa ANEEL nº 616, de 1º de julho de 2014 - Limites Seguros de Exposição
- ✓ Edital do Leilão ANEEL nº 007/2015
- ✓ IEC PAS 62344/2015 – Diretrizes gerais para o projeto de Eletrodos de Terra para linhas HVDC
- ✓ IEC 60479-1 – Efeitos da corrente em humanos e gado
- ✓ Cigré Working Group B4-44 – Guia de Planejamento Ambiental HVDC
- ✓ Cigré Working Group 14.21 – TF2 Diretrizes gerais para o projeto de Eletrodos de Terra para linhas HVDC

## 14. Anexos

- **Anexo 01** - Relatório de Planejamento de Mobilização e de Canteiro
- **Anexo 02** – Relatório Técnico do Eletrodo de Xingu
- **Anexo 03** - Desenhos do Eletrodo de Xingu (Comum p/ todos relatórios)
- **Anexo 04** - Arquivo em KMZ com Arranjo e Vértices (Comum p/ todos relatórios)

09	24/10/2017	Revisão geral	DP	LZ
08	28/03/2017	Revisão geral	CB	DP
07	16/03/2017	Revisão geral	RF	CB
06	06/02/2017	Revisão geral	CB	DP
05	27/12/2016	Revisão geral e divisão do relatório entre Subestação e Eletrodo	DP	LZ
04	08/08/2016	Itens 3, 10 e 11.	DP	LZ
03	24/06/2016	Revisão geral	DP	LZ
02	20/04/2016	Revisão geral	DP	MAA
01	01/12/2015	Item 4.1, 9.0 e Ajustes gerais.	DP	MAA
00	13/11/2015	Emissão inicial	DP	MAA
<i>Rev.</i>	<i>Date</i>	<i>Description</i>	<i>For</i>	<i>Aprov.</i>
 <b>XINGU RIO</b> TRANSMISSORA DE ENERGIA S.A.			<i>Reference</i> Projeto Xingu Rio – Bipolo 2 HVDC +/-800Kv - 500kVCA	
 <b>STATE GRID</b> CORPORATION OF CHINA CET BRAZIL TRANSMISSÃO DE ENERGIA LTDA			<i>Document Title</i> Planejamento do Canteiro e de Mobilização Eletrodo Xingu	
<i>Project</i>	DP – Daniel Pardini	12/10/17	<i>Discipline</i>	Relatório e Estudos Técnicos
<i>Approved</i>	LZ – Li Zhengjun	12/10/17	<i>Nº Doc.</i>	CET-ET-XIN-RE-MA-0001-09
<i>Responsible</i>	DP – Daniel Pardini	12/10/17	<i>Rev.</i>	09
<i>CREA Nº</i>	84606-D		<i>Pages</i>	1/22
			<i>Nº CET</i>	



## Sumário

<b>1.</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Objetivo .....</b>	<b>4</b>
<b>3.</b>	<b>Localização e Acessos .....</b>	<b>5</b>
3.1.	Localização do Eletrodo .....	5
3.2.	Acessos as Instalações do Eletrodo .....	6
<b>4.</b>	<b>Áreas utilizadas para construção .....</b>	<b>9</b>
4.1.	Sub-Canteiro .....	10
4.2.	Alojamento.....	10
4.3.	Bota-fora .....	11
<b>5.</b>	<b>Infraestrutura para realização da obra .....</b>	<b>12</b>
5.1.	Fornecimento de Água.....	12
5.2.	Jazidas licenciadas de Agregados para Concreto .....	13
5.3.	Locais licenciados para descarte de resíduos.....	13
5.4.	Energia para a fase da obra.....	14
5.5.	Anotação de Responsabilidade Técnica .....	15
5.6.	Placas obrigatórias.....	16
<b>6.</b>	<b>Instalações e Arranjo Físico .....</b>	<b>17</b>
6.1.	Instalações Sanitárias / Vestiários .....	17
6.2.	Local de Refeições.....	17
6.3.	Área de vivência .....	17
6.4.	Alojamento dos colaboradores .....	18
6.5.	Cozinha.....	18
6.6.	Escritórios.....	18
6.7.	Guarita.....	18
6.8.	Ambulatório .....	18
6.9.	Almoxarifado.....	18
6.10.	Pátio de equipamentos e materiais .....	18
6.11.	Estacionamento de máquinas .....	18
6.12.	Central dosadora de concreto .....	18
6.13.	Agregados.....	19
6.14.	Bacia de decantação para lavagem de caminhão betoneira.....	19
6.15.	Laboratório de concreto.....	19
6.16.	Laboratório de solos .....	19
6.17.	Serralheria/carpintaria .....	19



6.18.	Central de Armação.....	19
6.19.	Abastecimento dos Equipamentos.....	19
6.20.	Oficina.....	19
6.21.	Lavagem de Veículos/Equipamentos.....	19
6.22.	Drenagem da área do canteiro.....	19
6.23.	Abastecimento de água.....	19
6.24.	Fornecimento de Energia Elétrica.....	20
6.25.	Telecomunicações.....	20
6.26.	Vigilância.....	20
6.27.	Efluentes sanitários.....	20
6.28.	Baias de resíduos (contaminados e recicláveis).....	20
6.29.	Coleta de lixos orgânicos.....	20
6.30.	Resíduos perigosos e contaminados.....	20
6.31.	Transporte dos colaboradores.....	20
<b>7.</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>22</b>



## 1. Introdução

O presente documento apresenta o planejamento do layout e da logística das instalações provisórias, instalações de segurança e sistema de movimentação e armazenamento de materiais. O planejamento do layout envolve a definição do arranjo físico para as áreas de trabalho, de alimentação, de estocagem dos materiais e equipamentos. Por outra parte, o planejamento logístico estabelece as condições de infraestrutura para o desenvolvimento do processo produtivo, estabelecendo, por exemplo, as condições de armazenamento e transporte de cada material, a tipologia das instalações provisórias, o mobiliário dos escritórios ou as instalações de segurança de uma serra circular.

Para elaboração deste planejamento foram utilizadas informações de diversas fontes, como por exemplo:

- Exigências das Normas Regulamentadoras como NR-18, referente às condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção.
- Exigências das Normas Regulamentadoras como NR-24, referente às instalações sanitárias e de conforto nos locais de trabalho;
- Norma Técnica ABNT 12.284, referente às áreas de vivência em canteiro de obras;
- Exigências da EP-5001 de Furnas;
- Informações baseadas em obras de HVDC existentes;
- Informações baseadas na experiência da CET Brazil e da CET China;

A construção civil deve ser socioeconomicamente organizada, de forma limpa e ecologicamente correta para alcançar o desenvolvimento sustentável da sociedade. Para isso, é necessário preocupar-se com todas as etapas do ciclo de vida do empreendimento, desde sua concepção, passando pelo projeto, construção, manutenção, até recuperação da vegetação final das áreas que sofrerem intervenção durante o processo construtivo, considerando sempre as três dimensões da sustentabilidade: econômica, social e ambiental.

## 2. Objetivo

Este Planejamento de Canteiro e de Mobilização tem como objetivo propiciar informações para a implantação da infraestrutura necessária para a melhor utilização do espaço físico disponível, promover operações eficientes, seguras e manter alta a motivação dos empregados - fornecendo boas condições ambientais de trabalho, tanto em termos de conforto como de segurança. Além disso, minimizar distâncias de transporte, tempos de traslado de pessoal e materiais, reduzir manuseios e evitar obstruções ao movimento de materiais e equipamentos.

A definição do local do canteiro de obra será realizada de forma estratégica, considerando fatores diretamente envolvidos à logística e causando o mínimo de impacto possível aos meios físico, biótico e socioeconômico.

Este planejamento também visa garantir o cumprimento dos compromissos assumidos pela CET BRAZIL no que concerne:

- ✓ À correta gestão ambiental será aplicada durante todos os processos de execução da obra, iniciando na mobilização de estruturas, equipamentos, colaboradores, durante a etapa construtiva do empreendimento, finalizando na total desmobilização do canteiro, visando a atender com rigor todas as normas vigentes, por exemplo, Conama (307, 357, 430, Ministério da Saúde (MS), dentre outras;



- ✓ O atendimento às normas regulamentadoras do Ministério do Trabalho, Normas Técnicas de Construção e a Legislação Ambiental.

### 3. Localização e Acessos

Neste item será apresentado às informações sobre os acessos e as localizações do Eletrodo.

#### 3.1. Localização do Eletrodo

O local selecionado para instalação do Eletrodo do Bipolo 2 da SE Xingu foi definido em função das exigências indicadas no edital da ANEEL, como por exemplo, a resistência de aterramento seja igual ou inferior a  $0,35 \Omega$ , a qual depende diretamente da estrutura geológica. A Praça do Eletrodo está localizada na zona rural do Município de Anapú – Pará, dentro da área da fazenda Itaipu, conforme apresentado na imagem abaixo.

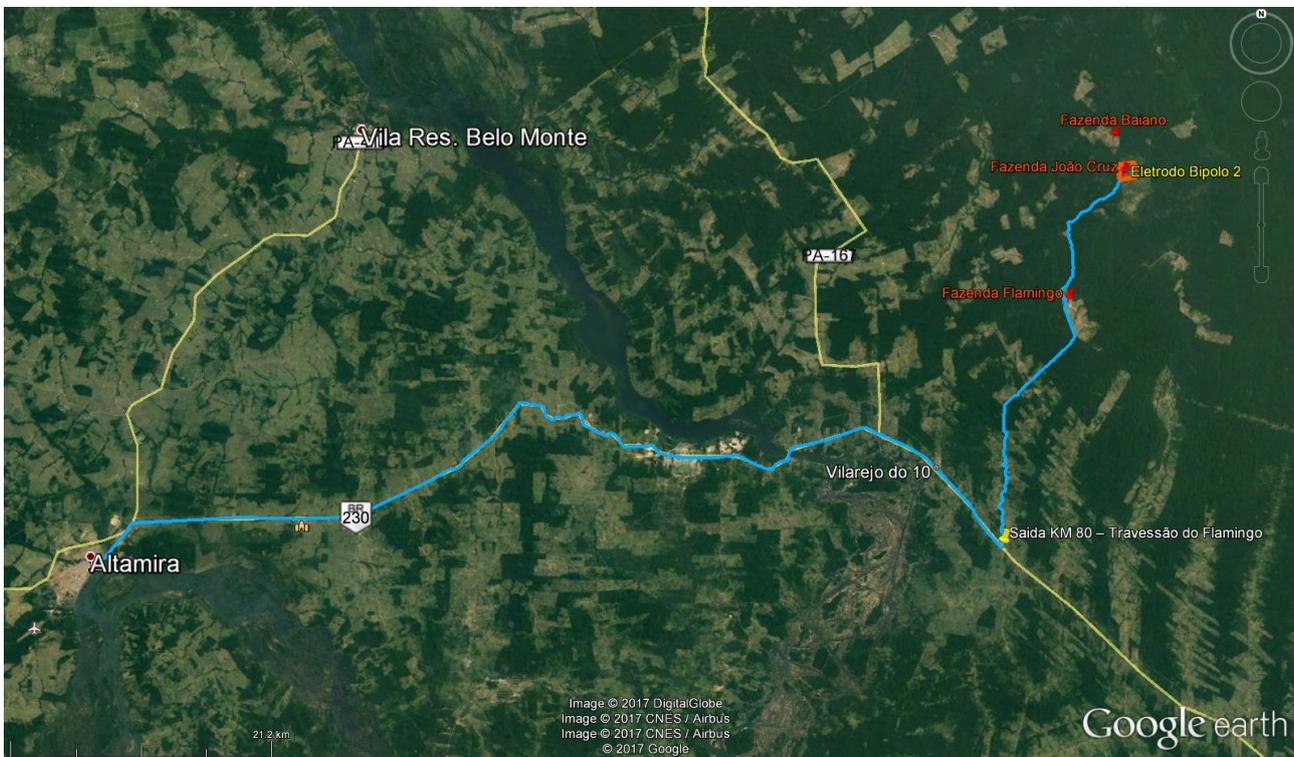


Figura 3.1 - Acesso ao Eletrodo – Incluindo Rodovia Transamazônica e fazendas ao longo do acesso.

Para localização exata da área onde será implantado o Eletrodo, segue abaixo o quadro com as coordenadas. O que também pode ser observado no arquivo eletrônico, **Anexo II - Arquivo em KMZ com Arranjo e Vértices** deste relatório.

VÉRTICE	X	Y	DATUM	FUSO	MUNICÍPIO	UF
V1	449.035	9.678.214	SIRGAS2000	22M	Anapú	Pará
V2	450.244	9.678.350	SIRGAS2000	22M	Anapú	Pará
V3	450.438	9.677.215	SIRGAS2000	22M	Anapú	Pará
V4	449.076	9.676.947	SIRGAS2000	22M	Anapú	Pará

Tabela 3.1 - Polígono da área que deverá ser adquirida

A imagem abaixo apresenta a área do Eletrodo da S.E. Xingu.

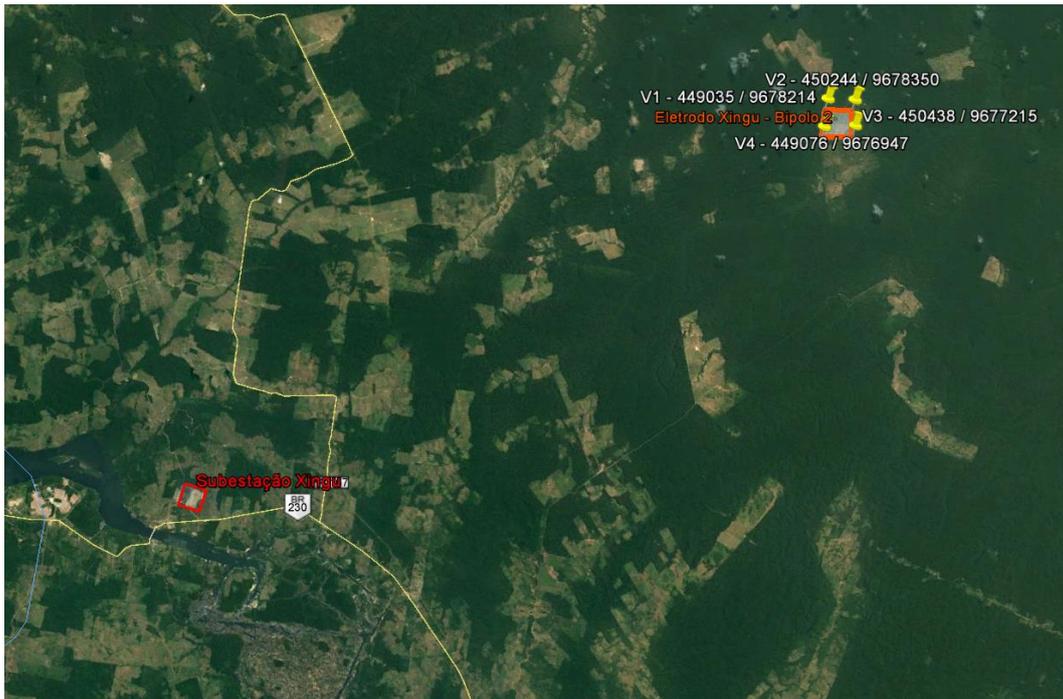


Figura 3.2 - Área do Eletrodo do Bipolo 2.

Essas informações também podem ser verificadas no **Anexo I - Desenhos do Eletrodo de Xingu** deste relatório.

### 3.2. Acessos as Instalações do Eletrodo

O acesso da Praça do Eletrodo e seu respectivo canteiro de obra serão feitos através da rodovia Federal Transamazônica (BR-230), saindo da cidade de Altamira no sentido Anapú. Sendo a distância desde Altamira até a saída da estrada de terra de aproximadamente é de 90 km pela BR-230 (Transamazônica), sair no KM 80 – Travessão do Flamengo (Fazenda Flamengo). E a distância da BR-230 até a Praça do Eletrodo é de 34km por estrada rural já existente. Este trajeto cruza por algumas fazendas que estão destacadas na imagem abaixo.

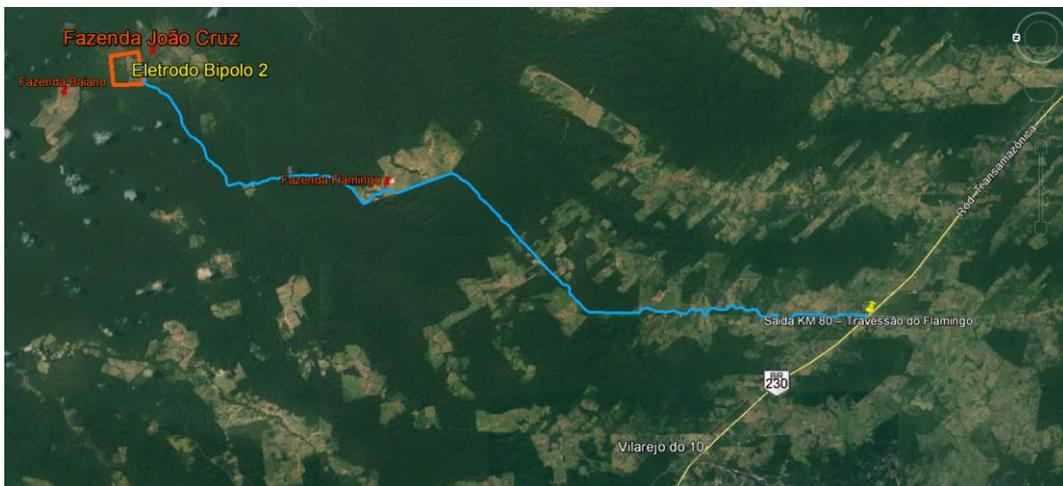


Figura 3.3 - Acesso pela rodovia Federal Transamazônica BR-230 até a Praça do Eletrodo.



O acesso será usado basicamente para o transporte de trabalhadores. Sendo que, uma movimentação maior é prevista no período de mobilização do canteiro de obras e na ocasião da entrega dos materiais, que serão pontuais e específicas sem transtornos à população local. Porém, se necessário, o acesso da estrada de terra será melhorado pontualmente e mantido em condições de tráfego durante o período de obra, em acordo e harmonia com as instituições e moradores locais.

Para auxiliar na identificação e na visualização da situação atual das vias de acesso da subestação até o local da Praça do Eletrodo, segue abaixo algumas fotos com uma breve descrição.



**Figura 3.4 – Ponte estreita na rodovia Transamazônica BR-230, sentido Anapú.**



**Figura 3.5 – Saída da rodovia Transamazônica BR-230, km80 – Travessão do Flamengo.**



**Figura 3.6 – Início estrada de terra com placa da fazenda Frupasa a 35km.**



**Figura 3.7 – Ponte estreita de madeira na estrada de terra.**



**Figura 3.8 – Descida de subida com grande inclinação.**



**Figura 3.9 - Foto recente da área onde será executado o Eletrodo (Fazenda Itaipu)**



**Figura 3.10 - Foto recente da área onde será executado o Eletrodo (Fazenda Itaipu)**

#### **4. Áreas utilizadas para construção**

Para definição dos canteiros e dos alojamentos do Eletrodo foram feitos estudos das áreas disponíveis considerando o arranjo geral; a interferência com a saída da linha de transmissão; as demandas de espaços para armazenamento dos materiais; os critérios socioambientais como topografia plana, sem necessidade de movimentação de volumes significativos de terra; condições de acesso, privilegiando sempre a utilização de caminhos existentes; etc. Além disso, foram calculadas as áreas necessárias para todas as instalações como escritórios, refeitórios, almoxarifados, etc. Tudo isso, baseado nas normas regulamentadoras. Importante ressaltar 3 pontos:

- A localização do eletrodo não interfere em nenhum corpo hídrico ou nascente,
- Será feita a supressão vegetal, quando necessária, conforme levantamento do inventário florestal, apenas ao longo da vala dos 2 anéis do eletrodo, com 20 metros de largura, para que possa ser efetuada a escavação;
- Caso haja rocha durante a escavação da vala, inicialmente será feito uma pequena mudança da circunferência tentando evitar as rochas, mas caso não seja suficiente, será feito o desmonte da rocha com o uso de explosivos. Para isto, será feito todo processo e tratativa junto ao Exército Brasileiro.

A área é plana e é utilizada para pastagem. Por se tratar de uma obra simples e compacta, não haverá execução de drenagem na área de instalação do eletrodo, somente controle do solo referente as escavações das valas.



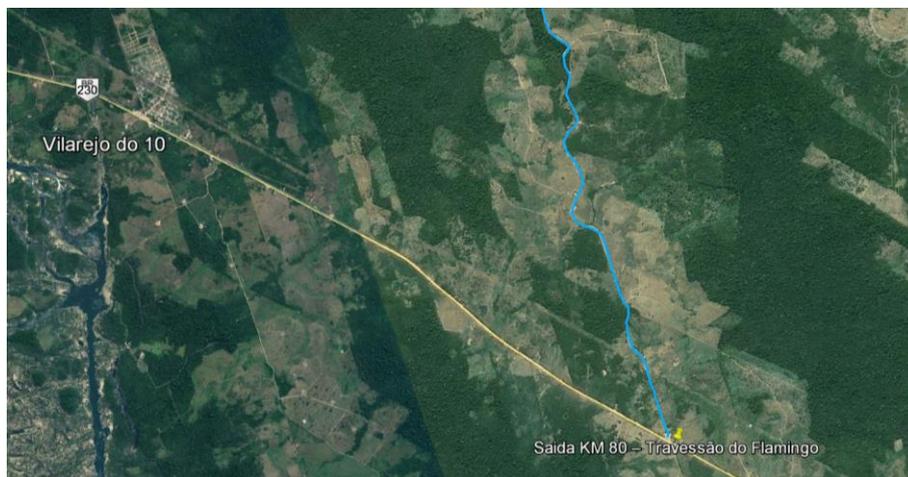
#### 4.1. Sub-Canteiro

Será apenas para apoio da pequena equipe que irá trabalhar no mesmo (Pico de 30 trabalhadores). Ele será instalado dentro da propriedade da fazenda Itaipu. Serão feitas todas as instalações necessárias para atender a NR-18. Esta área do canteiro se caracteriza pela presença de vegetação rasteira e pequenos arbustos.

#### 4.2. Alojamento

A equipe que irá trabalhar no Eletrodo ficará alojada na vila mais próxima, conhecida como "Vila do 10", mas caso necessário ficarão alojados na cidade de Anapú ou em residências alugadas próximas a obra. Caso seja necessário, serão executadas benfeitorias nos imóveis para atender melhor aos trabalhadores (NR-18).

Como pode ser visualizado na imagem abaixo, o vilarejo é o local mais perto para acomodar os profissionais. Atualmente, neste vilarejo estão alojados os trabalhadores que estão trabalhando na obra do Bipolo 1.



**Figura 4.1 – Vilarejo do 10 e saída do Travessão do Flamingo**



**Figura 4.2 – Vista parcial da Vila do 10.**



### 4.3. Bota-fora

O Eletrodo terá bota-fora para onde será destinada camada vegetal e o material originados da limpeza da faixa onde será executada a vala do eletrodo. Os materiais provenientes das escavações das valas retornarão para o mesmo local. Serão abertas duas valas de aproximadamente 4 metros de profundidade e 12 metros de largura para que sejam instalados as hastes e o coque, posteriormente todo material da escavação retornará para o local com o uso de tratores e rolos compactadores. Para melhor visualização e entendimento da locação do canteiro segue a imagem abaixo.



Figura 4.3 - Local previsto para o sub-canteiro do Eletrodo destacado em azul claro.

Estas áreas também estão representadas, conforme desenhos que seguirão como **Anexo I - Desenhos do Eletrodo de Xingu**, deste relatório. Segue abaixo imagem do print do desenho do Arranjo Geral do Canteiro para ilustração.

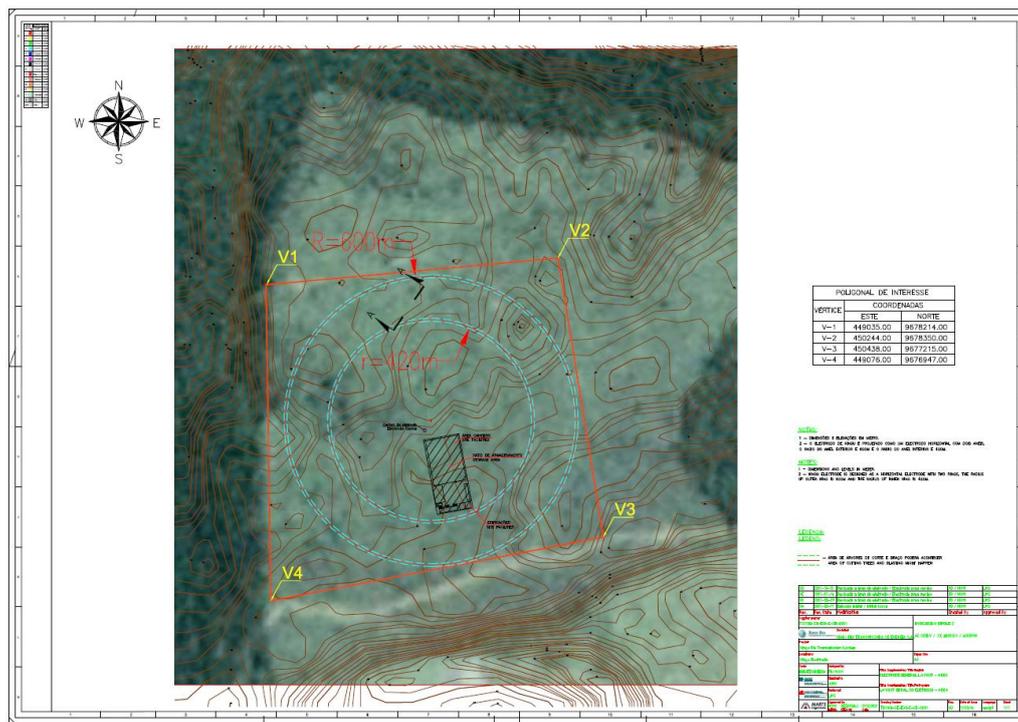


Figura 4.4 – Anexo I – Desenhos do Eletrodo de Xingu



Abaixo a foto que demonstra a vala e a seção de Coque do Eletrodo tipo Horizontal.



*Figura 4.5 - Imagem ilustrativa de uma vala aberta de um Eletrodo.*

## **5. Infraestrutura para realização da obra**

A construção do eletrodo se resume a enterrar hastes (anodos) envolvidos em coque dentro das valas com 3,5 metros de profundidade, em circunferências de 420 e 600 metros de diâmetros. Esses anodos são interligados com cabos à uma pequena casa de chaveamento ou distribuição, construída em alvenaria e concreto convencional produzidos no local.

Para atender as necessidades do canteiro de obras, se faz necessário à instalação de infraestruturas mínimas como, o fornecimento de água e de energia. Além disso, durante a fase da obra haverá a demanda de materiais e de serviços locais, como por exemplo o fornecimento de agregados por terceiros e áreas para destinação dos resíduos. Abaixo informações sobre alguns levantamentos realizados na região onde será executada a obra.

### **5.1. Fornecimento de Água.**

Esse tipo de obra requer baixo consumo de água. Para suprir a demanda de água durante a fase de obra, será utilizado o poço artesiano ou outras disponibilidades de águas existentes na propriedade, como açudes ou águas superficiais. Caso não haja nenhuma destas opções dentro da propriedade será contratado fornecimento em caminhões pipa por empresas regulamentadas, sendo retirada água de recursos próximos a obra, como açudes ou outra opção de águas superficiais. Mas para isso será realizado todo procedimento junto aos órgãos competentes.

Para a fase de operação, será necessário o abastecimento de água, porque o projeto executivo prevê um sistema de irrigação para resfriamento do coque e/ou das hastes. Esse abastecimento será realizado, quando necessário, através de caminhões pipa. Isso é possível porque, conforme edital da ANEEL, o Eletrodo é programado para operar apenas 250 horas por ano. Em função da dissipação de energia a partir da operação monopolar espera-se um aumento de temperatura limítrofe aos elementos de condução. Como por exemplo; caso a corrente de 2500A seja injetada no eletrodo durante 10 dias, a temperatura máxima que a haste irá atingir é de 60,6 graus, o que é menos que 81 graus exigidos no anexo 6 do edital da ANEEL.



Para o consumo humano, será realizado o fornecimento de água mineral engarrafada durante a fase da obra e durante a fase de operação, uma vez que não terá posto de trabalho definitivo no local.

## 5.2. Jazidas licenciadas de Agregados para Concreto

Para o caso do Eletrodo, a situação é bem simples porque praticamente não teremos concreto na obra. O concreto utilizado será apenas para a casa de chaveamento e para as caixas de passagem de cabos. Nestes casos os agregados serão comprados diretamente das empresas licenciadas.

Abaixo segue as informações sobre as principais jazidas encontradas próximas da subestação:

- ✓ Fornecedor: Aline de Jesus
  - Localização: Município Altamira – 65 km da SE Xingú
  - Produção Diária de 500m<sup>3</sup> ;
  - Tipo do Material: Areia fina e grossa lavada (RAA – materiais reativos)
  - Tem todo licenciamento junto ao DNPM, prefeitura municipal e Secretaria de estado de meio ambiente;
  - Contato: Aline – 93 991888957
  
- ✓ Fornecedor: Fermelo Locação e Construção
  - Localização: Município Altamira – 65km da SE Xingú
  - Produção Diária de 500m<sup>3</sup>
  - Tipo do Material: Areia fina, grossa e seixo lavado (RAA – materiais reativos)
  - Licenciamentos: Possui licença junto ao DNPM, prefeitura municipal e Secretaria de estado de meio ambiente;
  - Contato: Ailtom Cuiabano 93 3515 5347 / 93 99171 3244.

## 5.3. Locais licenciados para descarte de resíduos

A manutenção das condições de organização e limpeza das frentes de obra é dever de todas as empresas envolvidas, sendo que os resíduos gerados (entulhos, madeiras, ferragens, embalagens e outros) serão recolhidos e acumulados provisoriamente em local reservado e ao abrigo dos ventos.

Para cada tipo de resíduo será disponibilizada uma área compatível com a quantidade do resíduo a ser armazenado, podendo ser baias, containers ou outro tipo de armazenamento. Os resíduos perigosos serão armazenados dentro dos seus respectivos recipientes, em áreas separadas e fechadas.

A separação poderá ser feita por meia parede de alvenaria, formando baias, as quais deverão estar devidamente identificadas de acordo com o tipo de resíduo. Estando os resíduos previamente separados nas baias, será providenciado o seu envio para os locais específicos, conforme a necessidade e demanda de cada tipo de resíduo. Posteriormente serão coletados e transportados por empresas qualificadas que atendam aos requisitos legais para coleta.

Para controle dessas atividades, será elaborado um Plano de Gerenciamento de Resíduos (PGR), contemplando especificamente a destinação final e empresa responsável pela coleta de cada tipo de resíduo, além de formulários de controle de saída e transporte desses resíduos.

Abaixo informações sobre as empresas para coleta e destino dos resíduos.



✓ EMPRESA RECICLE

- Resíduos: Papeis e Plásticos
- Contato: Elias Castro (93) 99183 – 4874 / (93) 98817 – 6014
- E-mail: elyascastro@hotmail.com
- recycleatm@hotmail.com

A empresa Recicle realiza a coleta de Resíduos destinados a reciclagem (Papel/Papelão, Plástico, Madeira, Lixo Comum). Empresa com as licenças ambientais regularizadas e vigente.

✓ RECICLAGEM DE METAIS

- Resíduos: Metais
- Contato: Wandir (93) 9144 – 6600 / 8115 – 4900 / 8801 – 1800
- Wandir-eus@hotmail.com

✓ VL LOCAÇÃO E TRANSPORTE LTDA

- Resíduos: Banheiros Químicos (Fornecimento e limpeza de banheiros químicos)
- Contato: Romário (93) 99144 – 4009 / Erica (93) 99198 - 4353
- vllocacao@hotmail.com

Empresa devidamente licenciada junto aos órgãos ambientais, fornecendo os comprovantes de higienização e manifestos de coleta, transporte e destinação final dos efluentes.

✓ PLAMAX

- Resíduos: Perigosos
- Contato: Rosane (91) 99172 1161

Empresa que realiza a coleta de resíduos perigosos na região, sendo indicada inclusive por gestores ambientais da Norte Energia e pelo aterro de Altamira. A empresa PLAMAX possui todos os manifestos de coleta, transporte e destinação final.

✓ CERÂMICA SANTA CLARA

- Resíduos: Madeira
- Contato: José Nilton (93) 99172 – 0686 / 3515 – 0000

✓ SUCATA NASCIMENTO

- Resíduo: Metal
- Contato: Ricardo (93) 99954 1597

✓ Aterro sanitário da Prefeitura de Anapú:

- Resíduos: Aceita todos os tipos de resíduos exceto resíduos sanitários e de produtos perigosos.
- Contato: Jaqueline – telefone 91 991989030

#### 5.4. Energia para a fase da obra



Para suprir a demanda de energia elétrica, será utilizado geradores, cada um com sua respectiva bacia de contenção de óleo e kit de mitigação ambiental para atendimento a qualquer passivo ambiental. Além disso, caso haja fornecimento de energia da concessionária local usaremos este recurso.

Os funcionários que realizarão o abastecimento dos geradores receberão um treinamento específico em atendimento a NR-20 "Segurança e Saúde no Trabalho com inflamáveis e Combustíveis".

### 5.5. Anotação de Responsabilidade Técnica

Conforme a Lei Federal nº 6.496/1977, todo contrato para prestação de serviços de Engenharia, estão sujeitos aos registros de ARTs - "Anotação de Responsabilidade Técnica". A ART caracteriza legalmente os direitos e obrigações entre profissionais e usuários de seus serviços técnicos, além de determinar a responsabilidade profissional por eventuais defeitos ou erros técnicos. Para que a obra esteja regularizada perante o CREA do Pará já foi providenciada a ART de obras civis, conforme imagem abaixo, e já está sendo providenciada a ART de montagem eletromecânica.

Página 1/2



**Anotação de Responsabilidade Técnica - ART**  
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Pará

**CREA-PA**

**ART OBRA / SERVIÇO**  
Nº PA20170216173

INICIAL  
INDIVIDUAL

---

**1. Responsável Técnico**

**DANIEL PARDINI GONTIJO**  
Título profissional: ENGENHEIRO CIVIL RNP: 14039977-4  
Empresa contratada: CET BRAZIL TRANSMISSÃO DE ENERGIA LTDA Registro: 00040012-2

---

**2. Contratante**

Contratante: XINGU RIO TRANSMISSORA DE ENERGIA S.A. CPF/CNPJ: 23.893.056/0001-33  
AVENIDA PRESIDENTE VARGAS Nº: 655  
Complemento: 13º andar Bairro: CENTRO  
Cidade: RIO DE JANEIRO UF: RJ CEP: 20071004  
País: Brasil  
Telefone: (21) 3513-7019 Email: paulo.zerbati@stategrid.com.br  
Contrato: S0ZDS201000C1900252 Celebrado em: 15/12/2015  
Valor: R\$ 3.018.800.000,00 Tipo de contratante: PESSOA JURÍDICA DE DIREITO PRIVADO  
Ação Institucional: NENHUMA - NAO OPTANTE

---

**3. Dados da Obra/Serviço**

Proprietário: XINGU RIO TRANSMISSORA DE ENERGIA S.A. CPF/CNPJ: 23.893.056/0001-33  
RODOVIA BR-230 Nº: KM 85  
Complemento: Bairro: Belo Monte do Poral  
Cidade: Anapu UF: PA CEP: 68355000  
Telefone: (21) 3513-7019 Email: paulo.zerbati@stategrid.com.br  
Coordenadas Geográficas: Latitude: 36°51'08.8 Longitude: 51°41'21.83  
Data de Início: 17/07/2017 Previsão de término: 31/12/2019  
Finalidade: Intraesruturara

---

**4. Atividade Técnica**

9 - GESTÃO	Quantidade	Unidade
15 - EXECUÇÃO > RESOLUÇÃO 1025 -> OBRAS E SERVIÇOS - CONSTRUÇÃO CIVIL -> EDIFICAÇÕES > #1010 - SISTEMA DE PREVENÇÃO E COMBATE A INCÊNDIO	1,00	un
15 - EXECUÇÃO > RESOLUÇÃO 1025 -> OBRAS E SERVIÇOS - CONSTRUÇÃO CIVIL -> EDIFICAÇÕES > EDIFICAÇÃO METÁLICA > #1039 - GALPÃO	71,00	m²
15 - EXECUÇÃO > RESOLUÇÃO 1025 -> OBRAS E SERVIÇOS - CONSTRUÇÃO CIVIL -> EDIFICAÇÕES > EDIFICAÇÃO DE MATERIAIS MISTOS > #1033 - GALPÃO	5.720,00	m²
15 - EXECUÇÃO > RESOLUÇÃO 1025 -> OBRAS E SERVIÇOS - CONSTRUÇÃO CIVIL -> EDIFICAÇÕES > EDIFICAÇÃO > #1177 - ALVENARIA	885,00	m³
15 - EXECUÇÃO > RESOLUÇÃO 1025 -> OBRAS E SERVIÇOS - CONSTRUÇÃO CIVIL -> SISTEMAS ESTRUTURAIS > ESTRUTURA > #1254 - AÇO	923,00	l
15 - EXECUÇÃO > RESOLUÇÃO 1025 -> OBRAS E SERVIÇOS - CONSTRUÇÃO CIVIL -> SISTEMAS ESTRUTURAIS > ESTRUTURA > #1258 - CONCRETO ARMADO	4.879,00	m³
15 - EXECUÇÃO > RESOLUÇÃO 1025 -> OBRAS E SERVIÇOS - CONSTRUÇÃO CIVIL -> SISTEMAS ESTRUTURAIS > #1265 - ESTRUTURA PRÉ-FABRICADA	3.771,00	m²
15 - EXECUÇÃO > RESOLUÇÃO 1025 -> OBRAS E SERVIÇOS - CONSTRUÇÃO CIVIL -> SISTEMAS ESTRUTURAIS > FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS > #1267 - SAPATA ASSOCIADA	10.922,00	m³
15 - EXECUÇÃO > RESOLUÇÃO 1025 -> OBRAS E SERVIÇOS - CONSTRUÇÃO CIVIL -> SISTEMAS ESTRUTURAIS > FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS > #1268 - RADIER	3.480,00	m³
15 - EXECUÇÃO > RESOLUÇÃO 1025 -> OBRAS E SERVIÇOS - CONSTRUÇÃO CIVIL -> SISTEMAS ESTRUTURAIS > FUNDAÇÕES > #1271 - ESTACA	10.922,00	m³
15 - EXECUÇÃO > RESOLUÇÃO 1025 -> OBRAS E SERVIÇOS - CONSTRUÇÃO CIVIL -> SISTEMAS ESTRUTURAIS > FUNDAÇÕES > #1272 - TUBULÃO	10.922,00	m³
15 - EXECUÇÃO > RESOLUÇÃO 1025 -> OBRAS E SERVIÇOS - CONSTRUÇÃO CIVIL -> OBRAS HIDRÁULICAS E RECURSOS HÍDRICOS > #1410 - DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	1,00	un
15 - EXECUÇÃO > RESOLUÇÃO 1025 -> OBRAS E SERVIÇOS - CONSTRUÇÃO CIVIL -> INFRA-ESTRUTURA TERRITORIAL > MOVIMENTO DE TERRA > #1468 - TERRAPLANAGEM	716.900,00	m³
15 - EXECUÇÃO > RESOLUÇÃO 1025 -> OBRAS E SERVIÇOS - CONSTRUÇÃO CIVIL -> INFRA-ESTRUTURA TERRITORIAL > PAVIMENTAÇÃO > #1474 - ASFÁLTICA	29.700,00	m²
15 - EXECUÇÃO > RESOLUÇÃO 1025 -> OBRAS E SERVIÇOS - CONSTRUÇÃO CIVIL -> SANEAMENTO > #1603 - REDE DE ÁGUAS PLUVIAIS	9.272,00	m

Aos e conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

---

A autenticidade desta ART pode ser verificada em: <http://crae-pa.sifac.com.br/validar/> com o chave: 45700  
Impressão em: 25/06/2017 às 10:57:45 por... p: 201.48.59.129





Figura 5.3 - Modelo de Placa do CREA.

## 6. Instalações e Arranjo Físico

Com base nas informações citadas até o momento neste relatório e no pico do efetivo previsto de aproximadamente 30 colaboradores, foram definidas as instalações que serão implantadas no canteiro de obra, suas dimensões, características e localização, abaixo segue o resumo das definições:

### 6.1. Instalações Sanitárias / Vestiários

Será instalado banheiro tipo container móvel ou tipo construções provisórias (tipo madeira) com toda infraestrutura sanitária, porém, caso a edificação existente no local da obra tenha infraestrutura para atender toda equipe, será utilizado as instalações sanitárias existentes, evitando assim mais impactos ambientais. Além disso será disponibilizado banheiros químicos próximo as frentes de trabalho. Sempre atendendo a NR-18. Na imagem abaixo, referente ao Layout Geral do Canteiro do Eletrodo, é possível verificar o local destinado as refeições tipo container.

### 6.2. Local de Refeições

Será instalado um container móvel ou tipo construções provisórias (tipo madeira) com toda infraestrutura para que sejam realizadas as refeições, porém, caso a edificação existente no local da obra tenha infraestrutura para atender toda equipe, será utilizado o imóvel evitando mais impactos ambientais. Sempre atendendo a NR-18. Na imagem abaixo, referente ao Layout Geral do Canteiro do Eletrodo, é possível verificar o local destinado as refeições tipo container.

### 6.3. Área de vivência

Será instalado uma área de vivência com toda infraestrutura para descanso e entretenimento, porém, caso a edificação existente no local da obra tenha alguma área que possa atender toda equipe, será utilizado o imóvel evitando mais impactos ambientais. Sempre atendendo a NR-18. Na imagem abaixo, referente ao Layout Geral do Canteiro do Eletrodo, é possível verificar o local destinado a área de vivência.



#### **6.4. Alojamento dos colaboradores**

Os trabalhadores serão alojados nas vilas mais próximas da obra, conhecida como "Vila do 10", mas caso necessário ficarão alojados na cidade de Anapú ou em residências alugadas próximas a obra, porém, caso a edificação existente no local da obra tenha infraestrutura que possa atender toda equipe, será utilizado o imóvel evitando mais impactos ambientais e a perda de tempo com o traslado entre alojamento e obra. Sempre atendendo a NR-18.

#### **6.5. Cozinha**

Não serão instaladas cozinhas no sub-canteiro. O fornecimento das refeições será terceirizado para empresas locais.

#### **6.6. Escritórios**

O canteiro será composto por um escritório tipo container móvel ou tipo construções provisórias (tipo madeira), que será dividido pela CET BRAZIL, XRTE e subcontratados, porém, caso a edificação existente no local da obra tenha infraestrutura que possa atender toda equipe de escritório, será utilizado o imóvel evitando mais impactos ambientais. Sempre atendendo a NR-18. Na imagem abaixo, referente ao Layout Geral do Canteiro do Eletrodo, é possível verificar o local destinado ao escritório.

#### **6.7. Guarita**

Não será instalada guarita porque a área é bem isolada e a obra terá um número pequeno de funcionários.

#### **6.8. Ambulatório**

O canteiro terá um ambulatório tipo container móvel ou tipo construções provisórias (tipo madeira), para atender apenas primeiros socorros. Caso seja necessário um atendimento médico será encaminhado para os hospitais da região.

#### **6.9. Almoxarifado**

O canteiro será composto por um pequeno almoxarifado tipo container móvel ou tipo construções provisórias (tipo madeira), porém, caso a edificação existente no local da obra tenha infraestrutura que possa ser utilizada como almoxarifado, será utilizado o imóvel evitando mais impactos ambientais. Na imagem abaixo, referente ao Layout Geral do Canteiro do Eletrodo, é possível verificar o local destinado ao almoxarifado.

#### **6.10. Pátio de equipamentos e materiais**

Será utilizada uma área interna da Praça do Eletrodo, para armazenamento do Coque. Este pátio será regularizado para facilitar o escoamento das águas pluviais, a movimentação das cargas e melhorar a armazenagem dos materiais. Na imagem abaixo, referente ao Layout Geral do Canteiro do Eletrodo, é possível verificar o local destinado ao pátio de equipamentos e materiais.

#### **6.11. Estacionamento de máquinas**

Serão utilizadas as áreas existentes dentro da área da Praça do Eletrodo. Na imagem abaixo, referente ao Layout Geral do Canteiro do Eletrodo, é possível verificar o local destinado ao estacionamento de máquinas.

#### **6.12. Central dosadora de concreto**

Não será instalada central de concreto porque o volume de concreto para o Eletrodo é insignificante. O concreto será preparado na obra, usando métodos convencionais. Será



necessário apenas na fundação da casa de chaveamento do Eletrodo que tem aproximadamente 6m<sup>2</sup> e para o fundo das caixas de passagem.

#### **6.13. Agregados**

Não será instalada baias para agregados. Será preparado apenas uma pequena área para receber a pequena quantidade que vamos receber de brita e areia.

#### **6.14. Bacia de decantação para lavagem de caminhão betoneira**

Não será instalada bacia de decantação de concreto para lavagem dos caminhões porque não será utilizado caminhão betoneira na obra do Eletrodo.

#### **6.15. Laboratório de concreto**

Não será instalado laboratório de concreto. O controle tecnológico do concreto será terceirizado.

#### **6.16. Laboratório de solos**

Não será instalado laboratório de solos porque não terá terraplanagem.

#### **6.17. Serralheria/carpintaria**

Não será instalado serralheria/carpintaria porque não haverá necessidade. O pouco que será necessário será preparado na serralheria/carpintaria do canteiro da Subestação Xingu que está sendo construído no mesmo período.

#### **6.18. Central de Armação**

Não será instalado central de armação porque não haverá necessidade. O pouco que será necessário será preparado na serralheria/carpintaria do canteiro da Subestação Xingu que está sendo construído no mesmo período.

#### **6.19. Abastecimento dos Equipamentos**

As máquinas serão revisadas e abastecidas por caminhão comboio devidamente licenciado, com a utilização de bacia de contenção e kit de mitigação ambiental. Não haverá tanque fixo para abastecimento de veículos dentro do canteiro. Os veículos pequenos farão os abastecimentos diretamente nos postos de combustível mais próximos do Eletrodo.

#### **6.20. Oficina**

Não haverá conserto de veículos dentro do canteiro;

#### **6.21. Lavagem de Veículos/Equipamentos**

Não haverá lavagem de veículos dentro do canteiro;

#### **6.22. Drenagem da área do canteiro**

Está previsto o escoamento natural das águas pluviais superficialmente através do desnível e da camada de brita que será aplicada em toda área do canteiro. Caso necessário, serão construídas leiras para direcionar o fluxo da água. O desenho da **Drenagem superficial – Sentido do fluxo de Águas, Anexo I - Desenhos do Eletrodo de Xingu**, deste relatório, demonstra o sentido de escoamento das águas superficiais no canteiro.

#### **6.23. Abastecimento de água**



Para suprir a demanda de água durante a fase de obra será contratado fornecimento em caminhão pipa por empresa regulamentada. Caso exista algum poço artesiano ou açude na propriedade, o mesmo será utilizado para a retirada de água para a construção, uma vez que a propriedade está sendo adquirida pela XRTE. Para consumo humano será fornecido água mineral engarrafada.

#### **6.24. Fornecimento de Energia Elétrica**

Para suprir a demanda de energia elétrica, será utilizado geradores, cada um com sua respectiva bacia de contenção de óleo e kit de mitigação ambiental para atendimento a qualquer passivo ambiental. Além disso, caso haja fornecimento de energia da concessionária local usaremos este recurso.

#### **6.25. Telecomunicações**

Devido à dificuldade de telecomunicação na região usaremos telefones via satélite.

#### **6.26. Vigilância**

Será contratada uma equipe de vigilância permanente para a guarda dos materiais, ferramentas, equipamentos e a segurança dos escritórios.

#### **6.27. Efluentes sanitários**

Serão armazenados temporariamente nas fossas sépticas que serão instaladas no canteiro e/ou no imóvel, caso haja algum disponível dentro da área da Praça do Eletrodo. Posteriormente serão recolhidos por empresas licenciadas, de acordo com a demanda.

#### **6.28. Baías de resíduos (contaminados e recicláveis)**

Serão preparadas algumas áreas com tambores e/ou baías para o armazenamento dos resíduos de plástico, metal, papel, perigosos, madeira e entulho, conforme indicado no layout abaixo e nos anexos deste relatório. Os resíduos recicláveis (papel, papelão, plástico; madeira) serão destinados para as empresas especializadas.

#### **6.29. Coleta de lixos orgânicos**

Será feita por veículos da prefeitura de Anapú e/ou transportado por empresa terceirizadas e posteriormente destinados ao aterro sanitário local. A frequência de recolha deste resíduo, será conforme cronograma de recolhimento da Prefeitura e/ou necessidade da obra.

#### **6.30. Resíduos perigosos e contaminados**

Serão coletados por empresas terceirizadas, qualificadas que atendam aos requisitos legais para coleta. Para controle dessas atividades, será elaborado um Plano de Gerenciamento de Resíduos (PGR), contemplando especificamente a destinação final e empresa responsável pela coleta de cada tipo de resíduo, além de formulários de controle de saída e transporte desses resíduos.

#### **6.31. Transporte dos colaboradores**

Será realizado através de ônibus e vans.

Segue abaixo o print dos desenhos que são anexos deste relatório (**Anexo 03 - Desenhos do Eletrodo de Xingu**)

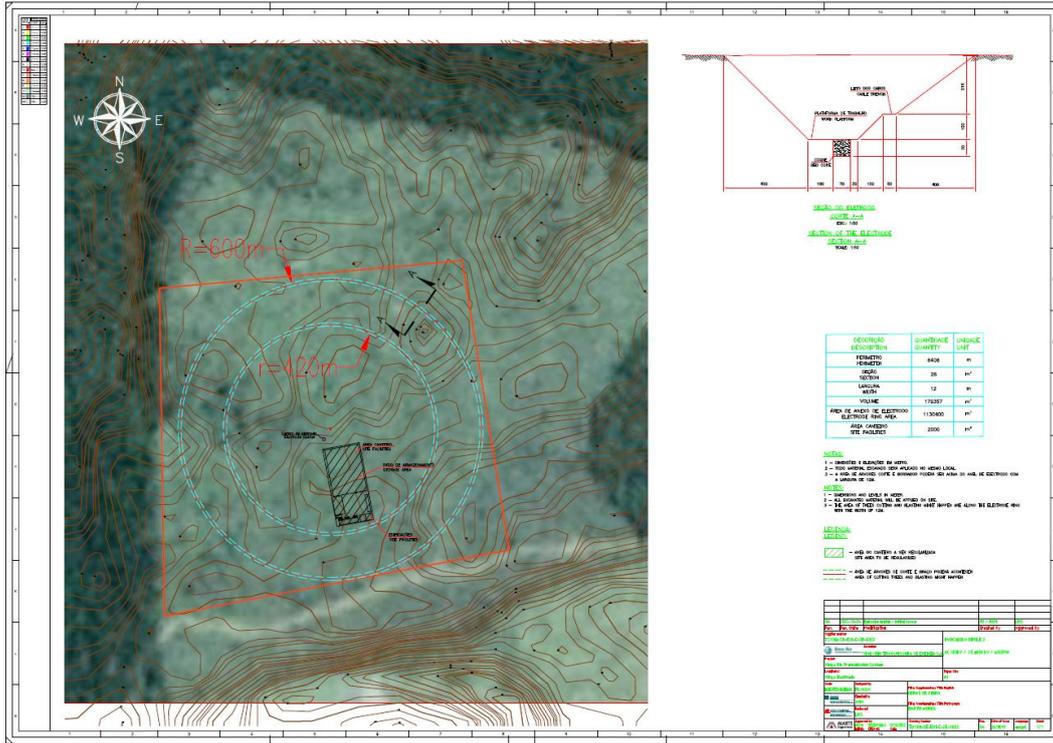


Figura 6.1 – Terraplanagem

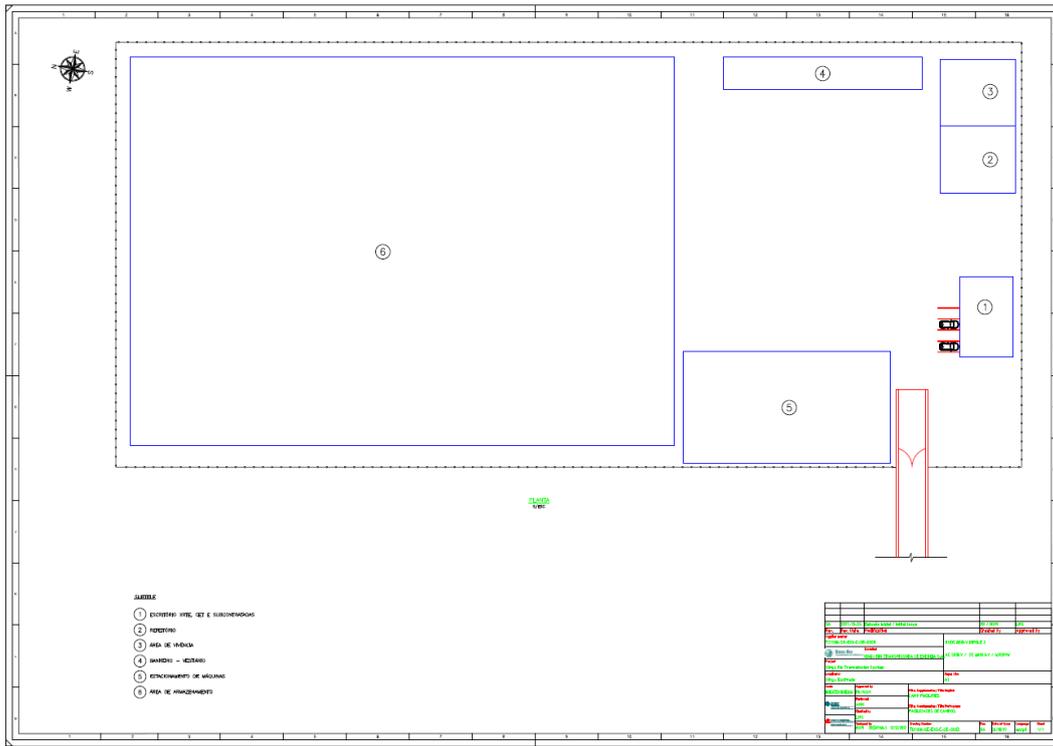


Figura 6.2 – Layout do Canteiro

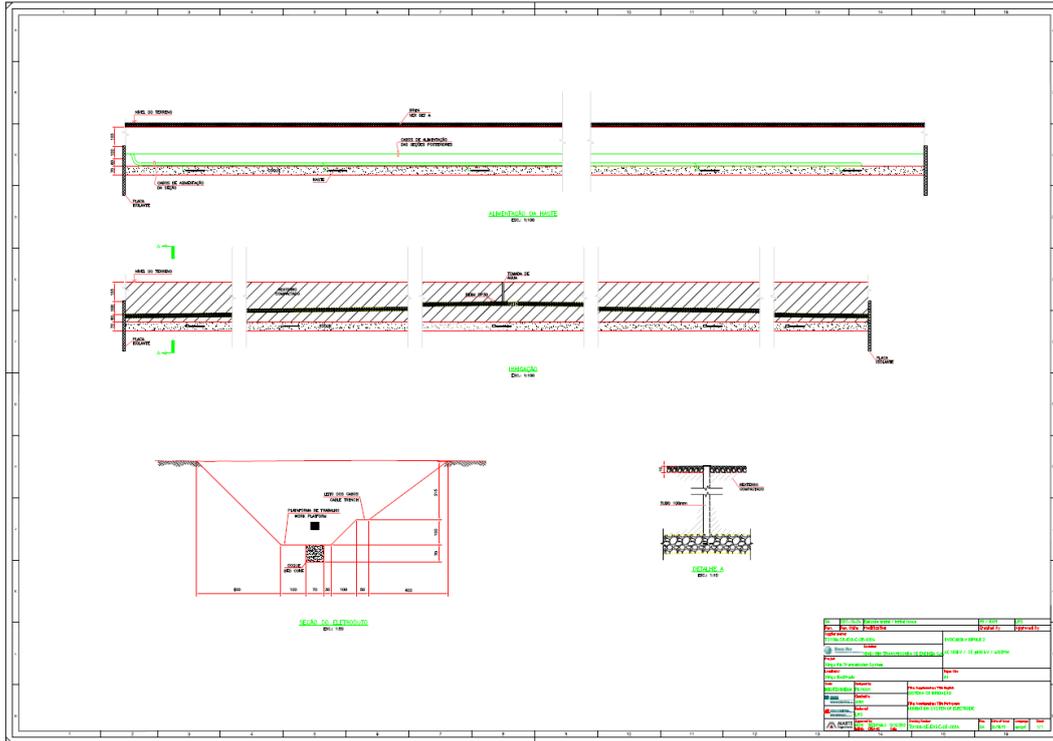


Figura 6.3 – Sistema de Irrigação

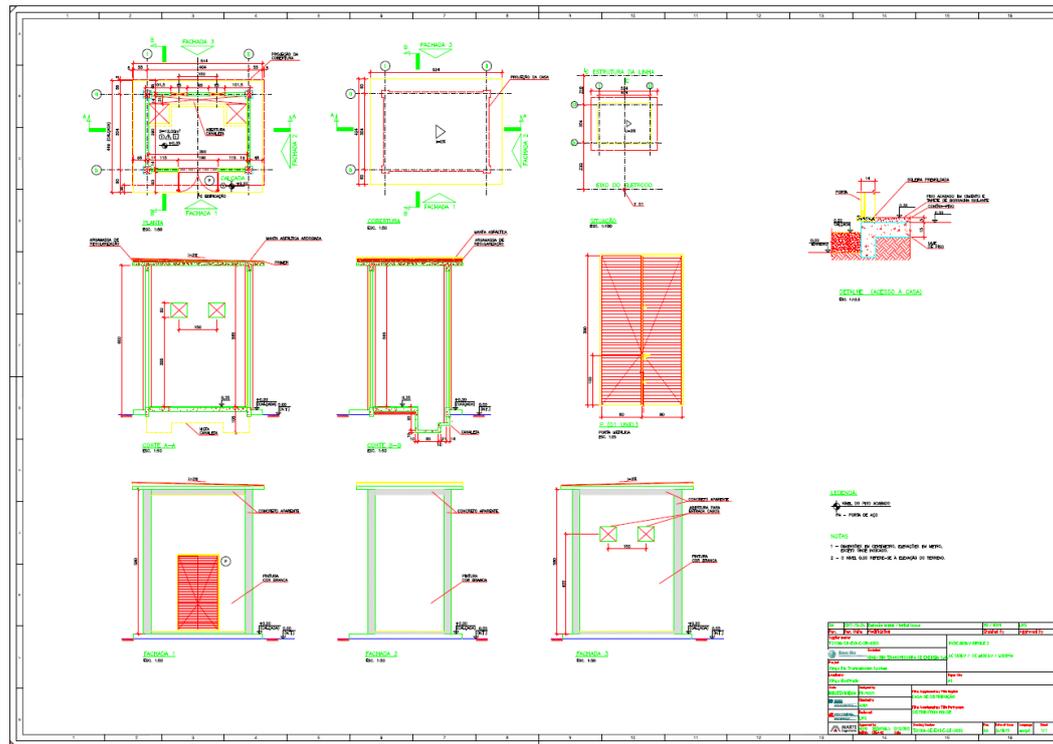
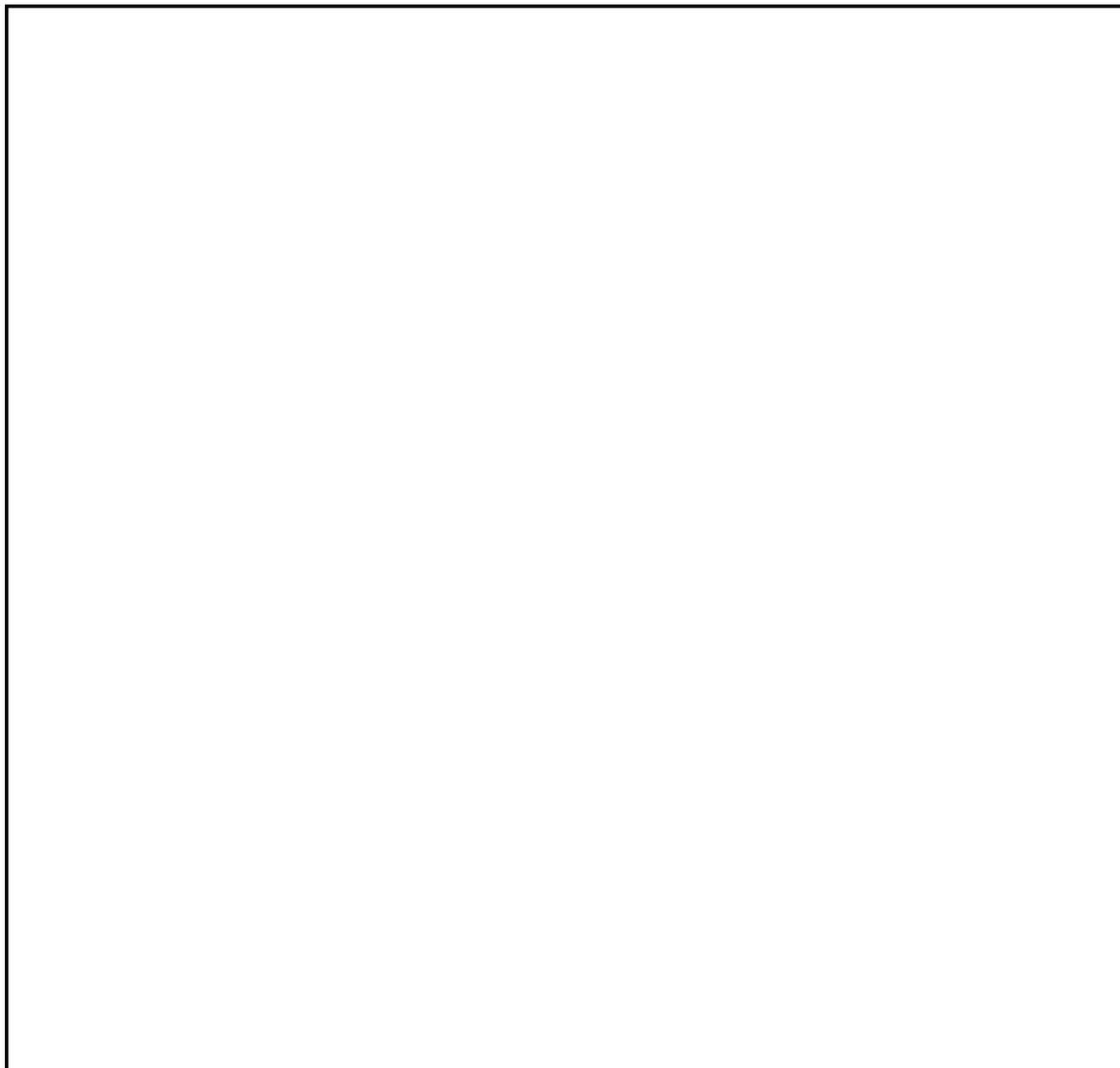


Figura 6.4 – Casa de Chaveamento

## 7. Anexos

- **Anexo 03** - Desenhos do Eletrodo de Xingu (Comum p/ todos relatórios)
- **Anexo 04** - Arquivo em KMZ com Arranjo e Vértices (Comum p/ todos relatórios)



00	24/10/2017	Emissão inicial	DPG	LZ
<i>Rev.</i>	<i>Date</i>	<i>Description</i>	<i>For</i>	<i>Aprov.</i>
 <b>XINGU RIO</b> TRANSMISSORA DE ENERGIA S.A.		<i>Reference</i> Projeto Xingu Rio – Bipolo 2 HVDC +/-800Kv - 500kVCA		
 <b>STATE GRID</b> CORPORATION OF CHINA CET BRAZIL TRANSMISSÃO DE ENERGIA LTDA		<i>Document Title</i> Relatório Técnico Eletrodo Xingu		
<i>Project</i>	ZT – Zhou Ting	24/10/17	<i>Discipline</i>	<i>Relatório e Estudos Técnicos</i>
<i>Approved</i>	LZ – Li Zhengjun	24/10/17	<i>Rev.</i>	00
<i>Responsible</i>	DP – Daniel Pardini	24/10/17	<i>Nº Doc.</i>	CET-ET-XIN-RE-MA-0004-00
<i>CREA Nº</i>	84606-D		<i>Pages</i>	1/19
			<i>Nº CET</i>	



## Sumário

<b>1. Critério do Projeto.....</b>	<b>3</b>
1.1. Condição do sistema .....	3
1.2. Resistência ao solo.....	3
1.3. Distribuição Potencial.....	3
1.4. Temperatura e Densidade Corrente.....	4
<b>2. Área do Eletrodo eliminada .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Site selecionado “Option 1” .....</b>	<b>9</b>
3.1. Parâmetro do solo .....	10
3.1.1. Resistividade do solo .....	10
3.1.2. Parâmetro térmico do solo .....	12
3.2. Projeto básico de eletrodo.....	13
3.2.1. Material do sistema eletrodo.....	13
3.2.1.1. Material do condutor .....	13
3.2.1.2. Material de alimentação ativa .....	13
3.2.2. Configuração do eletrodo .....	13
3.2.2.1. Tipo de eletrodo.....	13
3.2.2.2. Profundidade enterrada .....	15
3.2.2.3. Tamanho do eletrodo .....	15
3.2.2.4. Comprimento da seção de coque .....	15
3.2.2.5. Tamanho do condutor.....	16
3.2.2.6. Recomendada configuração do eletrodo Xingu .....	17
3.2.3. Sistema de divisão atual.....	18
<b>4. Conclusão .....</b>	<b>19</b>



## 1. Critério do Projeto

### 1.1. Condição do sistema

De acordo com o anexo 6, cada bipolo ( $\pm 800$  kV, 4.000 MW) terá uma corrente nominal de 2500A na direção da transmissão do Xingu para o Terminal Rio e 2044A no sentido inverso, com sobrecarga máxima esperada de 33% (3325A).

O projeto deve considerar a partilha do uso do eletrodo Xingu Bipolo 1. O eletrodo de terra do Bipolo 2 no Xingu deve ser dimensionado para que ele possa drenar sua própria corrente e a corrente do Bipolo 1, que irá compartilhar a mesma subestação. O seguinte carregamento de corrente de eletrodo anual será considerado para no projeto:

- Operação bipolar:
  - Normal - o eletrodo deve ser projetado para funcionar continuamente com desequilíbrio máximo de 40 A (cerca de 1,5% da corrente nominal do polo).
  - Compartilhado - bipolos 1 e 2 no Xingu - a condição acima se aplica, mas com 80 A por 60 dias por ano;
  
- Operação monopolar com retorno à terra:
  - Normal - 2579 A x 220 horas por ano (2,5% do tempo de trabalho), considerado cumulativamente durante todo o período de concessão e devidamente garantido pelo projeto.
  - Compartilhado - bipolos 1 e 2 no Xingu - a condição acima se aplica, mas com  $(2579 + 40 \text{ A}) \times 30$  horas por ano;
  
- Operação monopolar com retorno de terra e condição de sobrecarga durante 300 minutos, incluindo:
  - Normal - corrente máxima de 3547 A x 5 horas por ano, ou,
  - Compartilhado - bipolos 1 e 2 no Xingu - bipolo 2 em operação de sobrecarga e bipolo 1 em operação bipolar -  $(3547 + 40 \text{ A}) \times 5$  horas por ano.

Para a última condição, o dimensionamento dos eletrodos do Bipolo 2 deve considerar a capacidade de operação de 10 vezes por ano (intervalo mínimo de 24 horas entre as operações subsequentes) em condição monopolar, com corrente máxima de sobrecarga de longa duração (33%) com duração total de 5 horas por ano.

### 1.2. Resistência ao solo

O anexo 6 do edital da ANEEL exige que a resistência ao solo de cada um dos eletrodos seja igual ou inferior a 0,35  $\Omega$ .

### 1.3. Distribuição Potencial

Ambos os eletrodos de aterramento devem ser projetados para operar em condições anódicas ou catódicas e devem ser dimensionados para garantir a segurança humana



para a tensão de passo, o toque e os potenciais transferidos, considerando a circulação da corrente de sobrecarga. Em vista dos pontos acima, a norma IEC 62334 "Diretrizes gerais para o projeto de eletrodos de terra para corrente contínua de alta tensão (HVDC)" exige como segue.

"A tensão de passo significa a diferença de potencial entre os pés de uma pessoa em contato com o solo, com a distância horizontal entre os pés sendo 1m, durante a operação de um eletrodo de terra HVDC".

A tensão de passo de qualquer ponto de terra que pode ser acessado pelo público não deve exceder os limites de segurança definidos para humanos e animais. De acordo com testes realizados em 1028 indivíduos, mais de 95% dos indivíduos têm uma resistência corporal humana maior que 1400  $\Omega$  e mais de 95% dos indivíduos não apresentam forte sensação de CC corrente de 5,3 mA. Estes dados foram retirados do item 5.1.4 da IEC 62344. Com base nestes resultados do teste e em consideração de diferentes amplitudes e durações de correntes contínuas de aterramento do sistema, a tensão de passo máxima permitida de qualquer ponto no solo pode ser determinada com a fórmula (2.1) sob a corrente de sobrecarga máxima de um polo.

Onde:

Esp: tensão de passo admissível (V);

$\rho_s$ : Resistividade do solo superficial ( $\Omega.m$ )

$$E_{sp} = 7.42 + 0.0318\rho_s \quad (2.1)$$

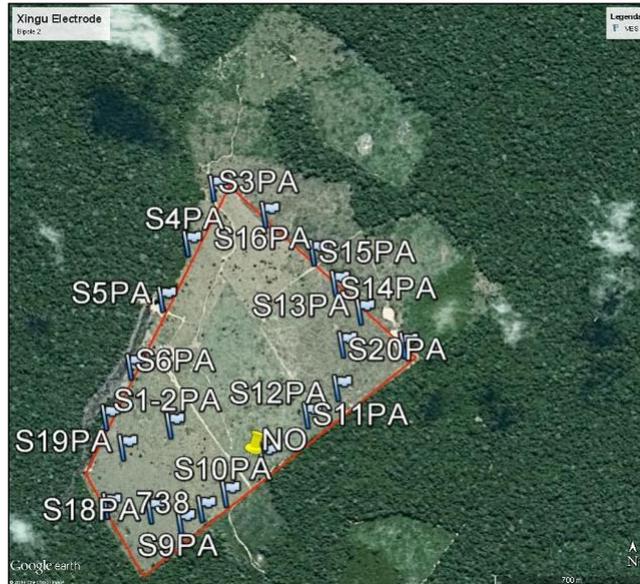
#### 1.4. Temperatura e Densidade Corrente

Nas condições ambientais e terrestres mais adversas, com a corrente máxima na linha do eletrodo (operação em modo monopolar), o anexo 6 do edital da ANEEL exige que o aumento de temperatura dos eletrodos em relação ao meio ambiente não deve exceder 60 ° C, desde que a temperatura final não exceda 100 ° C.

A densidade máxima da corrente superficial deve ser menor que a que causa a migração da água por eletrosmoses. De acordo com o anexo 6, no caso de utilizar um eletrodo horizontal, a densidade de corrente máxima para o dimensionamento deve ser inferior a 0,5 A / m<sup>2</sup>. Se um eletrodo de tipo vertical for adotado, a densidade de corrente não deve exceder 1 A / m<sup>2</sup>, conforme exigido pela IEC 62344.

## 2. Área do Eletrodo eliminada

Com base no processo de seleção das alternativas locais, o site NO1 havia sido escolhido como o local para implantação do eletrodo para a estação conversora Xingu. Após isso foi realizado um levantamento de resistividade superficial preciso. A Figura 2.1 mostra a distribuição das 20 estações onde foram realizadas as sondagens Schlumberger, ao longo do perímetro esperado do eletrodo Xingu. A Tabela 2.2 apresenta as 20 sondagens e sua média geométrica. A pesquisa foi realizada em outubro de 2016, estação seca, e a resistividade do solo mostrou-se em condições ruins.



**Figura 2.1: Distribuição dos 20 SEVs Schlumberger no site do eletrodo.**

De acordo com os dados de resistividade da superfície do solo acima, pode-se simular o modelo geográfico do eletrodo Xingu, que é mostrado na Figura 3.11 e na Tabela 3.4. De acordo com o modelo de estrutura do solo, o site NO1 tem uma resistividade extremamente alta da camada superficial, o que levará a uma resistência ao solo muito alta e a um comportamento térmico ruim.



**Figura 2.2 Geo-Modelo do eletrodo de Xingu**

Layer Thick (m)	Resistivity(Ωm)
1.1	520
2.2	5500
15	1000
130	3000
500	15000
14000	123
21000	23
∞	100

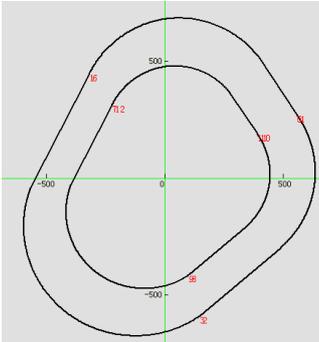
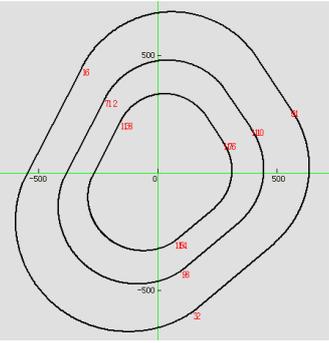
**Table 2.1 Geo-Modelo do eletrodo de Xingu**

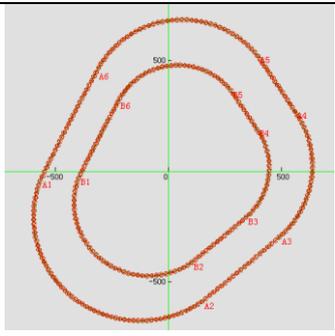
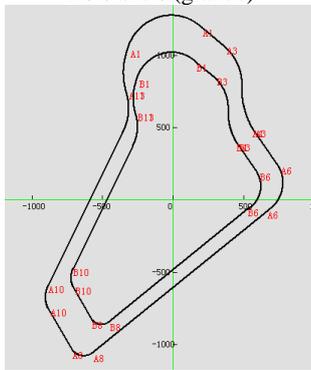


**Tabela 2.2: SEV de Schlumberger realizados no site NO para o eletrodo de Xingu e média geométrica.**

AB	MN	SEV1	SEV2	SEV3	SEV4	SEV5	SEV6	SEV7	SEV8	SEV9	SEV10	SEV11	SEV12	SEV13	SEV14	SEV15	SEV16	SEV17	SEV18	SEV19	SEV20	Med. G.
2	0.5	794	234	2740	1076	3508	1501	565	886	658	271	747	572	815	817	339	696	343	1558	432	651	743
3	0.5	863	200	3411	1632	2105	1908	748	1376	918	360	974	781	1052	1035	478	1041	444	2040	414	703	907
4	0.5	990	197	4272	1615	1487	1722	839	1598	973	469	1208	785	1028	1404	537	1221	546	1656	532	818	985
6	0.5	1207	205	4633	2604	4886	2496	1012	1944	1082	544	1437	901	1018	1838	666	1633	645	2039	733	1074	1268
6	2.0	1270	105	731	2584	6052	2869	1456	3684	1426	661	1347	1242	1563	1897	1027	1776	1080	2674	1703	1270	1428
10	2.0	1698	1663	675	4228	2370	3415	1488	4288	1738	956	1855	1406	1423	2127	1379	2159	1290	2221	2132	1579	1819
14	2.0	1623	1729	1109	4235	10795	4086	1357	3563	1759	983	1308	1493	1652	1928	1904	2522	1041	1699	2450	1503	1990
20	2.0	1773	1720	1847	3686	6648	3891	1738	3751	1182	1165	1355	1873	2036	2121	1888	2635	1118	1405	2425	1571	2041
20	5.0	42	1748	806	2684	2422	3253	1567	3278	836	958	741	1811	1387	2463	1533	2304	1353	634	857	1292	1244
30	5.0	169	2183	466	2428	2556	3897	1535	2233	1699	1007	1679	1688	1438	2946	2262	1182	1393	818	1806	1306	1466
40	5.0	1484	173	708	1979	2121	3660	1720	4094	1953	1197	1608	1888	1682	3222	2042	1567	1546	866	2474	1723	1611
60	5.0	3118	318	2206	1805	2006	2653	4938	2913	2272	1441	2221	2387	1930	3734	1460	1560	1850	995	2602	2106	1981
80	5.0	8967	467	687	1794	2837	1850	17115	3147	2503	1725	2347	2714	1892	3738	1752	1627	2370	1001	2897	6316	2384
100	5.0	8095	1489	5249	1567	3290	1627	1567	2840	2489	2089	2388	3787	1925	3479	1619	1567	2115	839	3330	2507	2357
100	20.0	1885	405	565	3676	1960	2646	2677	4430	2036	2051	2091	3629	1912	5451	2582	1319	2290	1779	5843	4166	2248
140	20.0	3889	3908	170	2723	1734	1984	1998	4021	2330	2309	2399	3554	1919	4694	2597	1539	2289	1282	5014	4393	2322
200	20.0	2744	4574	6173	4147	2110	2155	3732	3156	2241	2191	2125	3798	1833	3810	2545	1838	2474	2177	3965	4051	2912
200	50.0	2945	693	318	1590	1767	1557	3240	2216	1906	2651	2219	2314	2219	2577	1599	2115	2458	1355	3102	2643	1872
300	50.0	2371	2405	1898	1527	2520	1985	6372	2405	2009	2173	2405	859	2369	2227	1982	2030	2454	2153	2243	2470	2201
400	50.0	2319	2474	1237	1856	2806	3278	10233	2474	663	2868	2474	3149	2868	1752	2005	2672	2433	2660	2356	3374	2454
600	50.0	2246	2326	4680	2995	9125		20591	4279	1817	4647	3744	5616	5054	4492	3369		2583	8611	3120	6607	4390
800	50.0	2146	2604	7823	5508	8399					7232	5608	9388	7719		5007		4411	41247		10592	6723
1000	50.0	3134	2285	12370		13559					10968	8258	13220			6790		6442			16564	7976

Para verificar a inferência acima, foram desenvolvidos vários tipos geométricos de eletrodos, com dois anéis, triplos anéis, em dois balões de grande escala e tipo vertical. A resistência ao solo, a tensão do passo, a densidade da corrente e a temperatura do eletrodo são verificadas para cada tipo. As tabelas a seguir mostram os resultados de simulação das diferentes configurações do eletrodo Xingu.

Configuração do Eletrodo	Principais Parâmetros	Resistência (Ω)	Tensão de Passo (V)	Densidade Corrente (A/m <sup>2</sup> )	Temperatura (°C)
<b>Dois Anéis</b> 	Profundidade enterrada: 1.5m Área: 120hm <sup>2</sup>	1.134	99.999 (<23.96)	0.138(<0.5)	79.4(<100)
	Profundidade enterrada: 2m Área: 120hm <sup>2</sup>	1.170	99.999 (<23.96)	0.154(<0.5)	92.1(<100)
	Profundidade enterrada: 2.5m Área: 120hm <sup>2</sup>	1.203	99.999 (<23.96)	0.265(<0.5)	211.8(<100)
	Profundidade enterrada: 3m Área: 120hm <sup>2</sup>	1.063	70.516 (<23.96)	0.186(<0.5)	120.1(<100)
	Profundidade enterrada: 3.5m Área: 120hm <sup>2</sup>	2.448	29.075 (<23.96)	0.159(<0.5)	41.9(<100)
	Profundidade enterrada: 4m Área: 120hm <sup>2</sup>	2.403	26.134 (<23.96)	0.151(<0.5)	40.7(<100)
	Profundidade enterrada: 4.5m Área: 120hm <sup>2</sup>	2.552	24.490 (<23.96)	0.152(<0.5)	40.8(<100)
	Profundidade enterrada: 5m Área: 120hm <sup>2</sup>	2.478	23.508 (<23.96)	0.154(<0.5)	41.2(<100)
<b>Três anéis</b> 	Profundidade enterrada: 1.5m Área: 120hm <sup>2</sup>	1.086	99.999 (<23.96)	0.126(<0.5)	71.3(<100)
	Profundidade enterrada: 2m Área: 120hm <sup>2</sup>	1.115	99.999 (<23.96)	0.136(<0.5)	77.8(<100)
	Profundidade enterrada: 2.5m Área: 120hm <sup>2</sup>	1.145	99.999 (<23.96)	0.223(<0.5)	158.3(<100)
	Profundidade enterrada: 3m Área: 120hm <sup>2</sup>	1.028	70.227 (<23.96)	0.162(<0.5)	98.3(<100)
	Profundidade enterrada: 3.5m Área: 120hm <sup>2</sup>	2.403	30.293 (<23.96)	0.144(<0.5)	39.7(<100)
	Profundidade enterrada: 4m Área: 120hm <sup>2</sup>	2.361	25.418 (<23.96)	0.145(<0.5)	39.9(<100)
	Profundidade enterrada: 4.5m Área: 120hm <sup>2</sup>	2.509	23.791 (<23.96)	0.145(<0.5)	40.0(<100)
	Profundidade enterrada: 5m Área: 120hm <sup>2</sup>	2.436	22.857 (<23.96)	0.146(<0.5)	40.1(<100)
<b>Eletrodo Vertical</b>	Profundidade enterrada: -2m Comprimento Elerodo: 15m Intervalo: 20m	2.881	19.457 (<23.96)	0.326(<0.5)	79.7(<100)

Configuração do Eletrodo	Principais Parâmetros	Resistência ( $\Omega$ )	Tensão de Passo (V)	Densidade Corrente ( $A/m^2$ )	Temperatura ( $^{\circ}C$ )
	Profundidade enterrada: -3m Comprimento Elerodo: 15m Intervalo: 20m	2.710	18.980 (<23.96)	0.289(<0.5)	69.1(<100)
	Profundidade enterrada: -3.3m Comprimento Elerodo: 15m Intervalo: 20m	2.501	18.862 (<23.96)	0.273(<0.5)	65.0(<100)
	Profundidade enterrada: -4m Comprimento Elerodo: 15m Intervalo: 20m	3.302	18.835 (<23.96)	0.232(<0.5)	55.3(<100)
	Profundidade enterrada: -3.3m Comprimento Elerodo: 15m Intervalo: 15m	2.487	18.605 (<23.96)	0.243(<0.5)	57.6(<100)
Dois anéis (grande) 	Profundidade enterrada: 1.5m Área: 120hm <sup>2</sup>	0.8	70.03 (<23.96)	0.108(<0.5)	60.2(<100)
	Profundidade enterrada: 2m Área: 120hm <sup>2</sup>	0.822	51.449 (<23.96)	0.105(<0.5)	58.7(<100)
	Profundidade enterrada: 2.5m Área: 120hm <sup>2</sup>	0.845	37.973 (<23.96)	0.105(<0.5)	58.5(<100)
	Profundidade enterrada: 3m Área: 120hm <sup>2</sup>	0.759	27.544 (<23.96)	0.115(<0.5)	64.4(<100)
	Profundidade enterrada: 3.5m Área: 120hm <sup>2</sup>	1.745	24.548 (<23.96)	0.130(<0.5)	38.0(<100)
	Profundidade enterrada: 4m Área: 120hm <sup>2</sup>	1.715	24.169 (<23.96)	0.133(<0.5)	38.3(<100)
	Profundidade enterrada: 4.5m Área: 120hm <sup>2</sup>	1.829	22.932 (<23.96)	0.133(<0.5)	38.3(<100)
	Profundidade enterrada: 5m Área: 120hm <sup>2</sup>	1.775	22.029 (<23.96)	0.133(<0.5)	38.4(<100)

**Tabela 2.3 Simulação de diferentes configurações do eletrodo**

De acordo com o resultado da simulação, concluiu-se que.

(1) A resistência ao solo de cada configuração do eletrodo não pode atender aos requisitos de  $0,35\Omega$ . O mínimo foi  $0,759\Omega$ . A resistência aumenta quando o eletrodo é enterrado mais profundamente (em configuração vertical) bem como quando reduz-se o seu diâmetro.

(2) A tensão do passo diminui quando o eletrodo de terra é mais fundo.

(3) A densidade de corrente e a temperatura do eletrodo podem atender ao requisito de especificação, exceto para algumas configurações.

O site NO1 não pode satisfazer o requisito de resistência ao solo, independentemente do tipo de configuração que escolhemos. Portanto, não é adequado para hospedar o eletrodo HVDC.



### 3. Site selecionado “Option 1”

Após a seleção do site e antes do desenvolvimento do projeto de eletrodo, pesquisas complementares geofísicas e geotécnicas foram feitas no site selecionado, para coletar dados detalhados das camadas superficiais do solo, permitindo o aprimoramento da modelo geoeletrico.

No final desta fase, produziu-se o projeto básico do eletrodo, com os cálculos dos desempenhos elétricos e térmicos, e também das áreas de interferência, considerando o modelo geoeletrico final.

O presente relatório inclui o consumo esperado de coque e hastes metálicas (ânodos), considerando a duração prévia do eletrodo, e também a especificação e quantificação dos componentes principais do eletrodo (tubo de aço dos poços, volume de coque, ânodos, cabos, etc.), com a produção da configuração geral e desenhos detalhados.

De acordo com a pré-seleção do site do eletrodo, encontramos que a resistividade profunda dos sites NO e NO1 eram pequenas o suficiente para hospedar um eletrodo HVDC. Porém agora, com os outros estudos a principal restrição do NO é a resistividade superficial.

Então, re-selecionamos 7 sites para o eletrodo do bipolo 2 do Xingu 2, que é mostrado na figura 3.1. Os 7 novos sites estão em torno do site NO e NO1. A distância é de cerca de 10 km. Em maio de 2017, a CSEPD1 concluiu o levantamento de resistividade superficial dos 7 sites. O site “Option 1” foi finalmente escolhido como mostrado na figura 3.2.



Figura 3.1 Opções de sites do eletrodo de re-seleção



Figura 3.2 Mapa do site com o perfil do relevo

### 3.1. Parâmetro do solo

Novas pesquisas foram necessárias para o refinamento do modelo de resistividade do solo superficial, que foi usado para o projeto básico do eletrodo e também para a definição das áreas de interferência. A pesquisa complementar inclui investigações geofísicas e geotécnicas.

#### 3.1.1. Resistividade do solo

O levantamento geofísico da superfície do solo deve basear-se em sondagens de eletricidade, com uma amostra estatisticamente representativa, o que significa que foram feitas 10 a 20 sondagens por quilômetro quadrado no local selecionado. O resultado da pesquisa é mostrado como segue.

De acordo com os dados de levantamento de resistividade de 30 pontos do site "Option 1" apresentados na tabela 3.1 abaixo, obtivemos o modelo de resistividade do site "Option 1" mostrado na tabela 3.2, por meio da adequação da média Harmônica dos dados da pesquisa, que é mostrada na figura 3.3.

Tabela 3.1 - Estudo de Resistividade da Camada Superficial de Solo do Eletrodo "Option 1".

No.	Umidade	Clima	Tipo de Solo	Resistividade Aparente ps( $\Omega$ m)																
				1.0(m)	1.6(m)	2.5(m)	3.6(m)	5(m)	7(m)	10(m)	16(m)	25(m)	36(m)	50(m)	70(m)	100(m)	140(m)	200(m)	300(m)	400(m)
101	Úmido	Ensolarado	Argiloso	380.7	381.9	454.9	386.1	366.1	426.1	551.3	840.8	1174.0	1529.3	1763.3	1502.6	1104.7	1262.4	1222.0	1167.3	1115.4
102	Úmido	Ensolarado	Argiloso	695.1	522.0	480.0	340.6	314.3	350.6	405.6	595.3	814.8	981.9	1163.3	1263.7	1376.1				
103	Úmido	Ensolarado	Argiloso	349.2	394.3	781.7	824.5	1008.8	1194.7	1660.0	2396.5	3486.6	3443.8	3212.4	3227.7	2579.4				
104	Úmido	Ensolarado	Argiloso	1274.3	1441.0	1871.6	2257.0	2398.2	1919.4	1963.8	2337.7	2084.4	1591.6	1035.0	678.9	456.5				
105	Úmido	Ensolarado	Argiloso	225.5	1129.0	1604.4	1527.7	1644.6	1783.8	1914.5	1819.9	1626.6	1197.4	963.8	742.9	538.6				
106	Úmido	Ensolarado	Argiloso	863.8	1073.9	1555.7	1309.8	1205.3	1179.8	1245.6	1724.9	2204.3	2331.0	2462.5	2756.3	2663.4				
107	Úmido	Ensolarado	Argiloso	221.7	225.6	371.8	271.3	318.8	418.1	611.6	873.1	754.4	1186.4	1362.0	1169.4	1111.4				
108	Úmido	Ensolarado	Argiloso	1343.9	1155.1	1099.2	920.5	1065.4	1203.0	1487.0	2013.0	2148.4	2137.4	1961.0	1690.0	1032.5				
109	Úmido	Ensolarado	Argiloso	289.2	279.9	320.7	282.9	276.3	298.4	348.8	482.4	658.5	852.9	904.6	1460.8	2088.3				
110	Úmido	Ensolarado	Argiloso	198.4	262.3	317.6	290.8	303.8	347.2	440.6	645.7	800.6	1130.3	836.1	1266.0	1285.4				
111	Úmido	Ensolarado	Argiloso	1968.9	2160.6	2540.1	2048.7	1810.9	1874.5	1958.3	1946.8	1845.2	2219.0	2614.8	3250.5	3843.7				
112	Úmido	Ensolarado	Argiloso	1798.1	2091.3	2440.3	2829.3	3065.1	3479.2	2957.4	2685.2	2615.6	2352.3	1412.8	653.7	225.3				
113	Úmido	Ensolarado	Argiloso	335.5	456.3	724.2	783.4	815.9	943.7	984.4	1068.9	1373.3	1451.4	1667.0	1737.2	1541.5				
114	Úmido	Ensolarado	Argiloso	320.9	273.9	261.5	174.1	217.3	268.7	235.1	273.2	429.4	578.7	547.0	426.5	409.5				
115	Úmido	Ensolarado	Argiloso	309.1	219.6	290.5	276.1	307.1	320.1	375.1	540.9	825.9	1071.3	1271.9	1444.4	1450.6	1799.2	1878.3	1595.2	1112.9
116	Úmido	Ensolarado	Argiloso	642.1	699.5	673.5	501.6	453.7	455.7	519.0	771.5	1064.3	1592.2	1464.7	1518.4	1627.2				
117	Úmido	Ensolarado	Argiloso	252.3	262.7	316.8	242.9	228.0	274.5	328.7	405.0	741.6	866.8	1083.9	1291.5	1325.1				
118	Úmido	Ensolarado	Argiloso	793.4	700.9	783.1	836.2	977.8	1148.8	1330.0	1455.2	1802.0	1815.2	1737.8	1565.7	1136.1				
119	Úmido	Ensolarado	Argiloso	551.5	691.5	913.2	978.2	1596.9	1433.5	1438.7	1496.5	1898.9	3434.9	2774.9	2606.0	2684.7	2655.6	1586.1	1086.1	986.1
120	Úmido	Ensolarado	Argiloso	1177.2	1282.2	1765.4	1647.9	1763.7	1665.4	1633.1	1084.5	1356.7	793.3	391.5	119.0	102.8				
121	Úmido	Ensolarado	Argiloso	482.5	562.4	643.2	689.3	567.7	781.2	802.0	957.5	1064.7	1652.7	1760.4	1685.1	1603.7				
122	Úmido	Ensolarado	Argiloso	547.2	636.4	705.6	857.2	946.7	1154.6	1402.9	1715.4	1718.5	1624.1	1063.9	982.7	818.5				
123	Úmido	Ensolarado	Argiloso	346.2	335.4	348.6	396.1	468.5	518.2	664.8	823.5	954.7	1176.4	1441.2	1263.4	1108.4				
124	Úmido	Ensolarado	Argiloso	335.9	472.1	562.5	419.8	429.7	464.0	564.1	793.0	1086.9	1370.4	1467.4	1551.1	1673.4				
125	Úmido	Ensolarado	Argiloso	335.5	456.3	724.2	783.4	815.9	943.7	984.4	1068.9	1373.3	1451.4	1667.0	1737.2	1541.5				
126	Úmido	Ensolarado	Argiloso	571.0	509.5	510.0	359.0	363.4	407.0	444.3	563.5	804.3	912.3	1367.0	1655.5	1742.1				
127	Úmido	Ensolarado	Argiloso	475.3	364.2	438.6	562.1	578.1	677.1	715.3	956.7	1031.0	1348.3	1763.3	1548.3	1461.2				
128	Úmido	Ensolarado	Argiloso	3670.2	3066.0	3569.6	3395.4	3941.4	3748.3	3361.6	2876.0	2692.3	2006.9	1526.8	1422.5	1164.3				
129	Úmido	Ensolarado	Argiloso	1317.6	1205.7	1422.6	1060.3	1004.4	1096.1	1356.2	1681.0	1926.3	1888.8	1708.8	1086.5	664.4	617.1	408.9	332.6	283.1
130	Úmido	Ensolarado	Argiloso	897.2	1111.1	1518.3	1676.0	1725.7	2046.2	1830.9	1598.9	1358.8	1111.7	583.8	248.1	219.9				
MÉDIA.HARMÔNICA (HARMEAN)				<b>457.0</b>	<b>500.9</b>	<b>610.5</b>	<b>536.1</b>	<b>562.5</b>	<b>637.7</b>	<b>723.6</b>	<b>911.6</b>	<b>1161.5</b>	<b>1328.1</b>	<b>1208.3</b>	<b>864.4</b>	<b>704.9</b>	<b>1195.8</b>	<b>903.5</b>	<b>739.2</b>	<b>630.8</b>



No.	H(m)	$\rho(\Omega m)$
1	3	500
2	3	650
3	3	700
4	4	1500
5	8	3000
6	20	1500
7	180	900
8	100	400
9	$\infty$	500

Tabela 3.2 - O modelo de resistividade do site "Option 1"

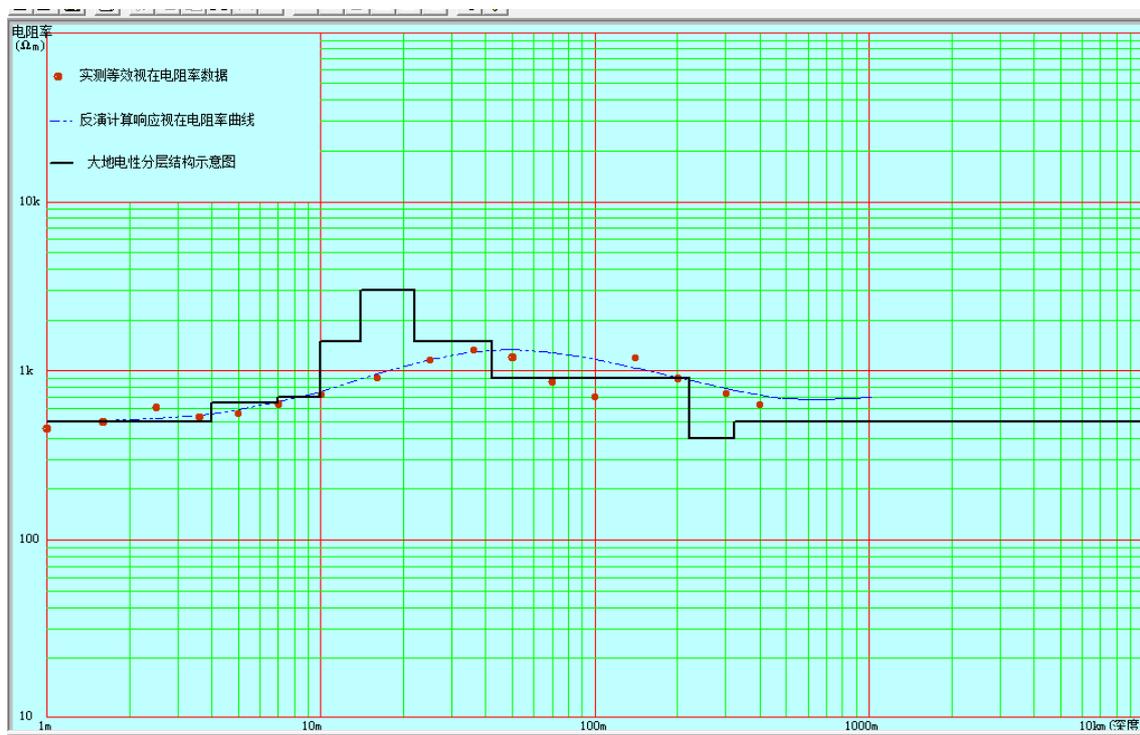


Figura 3.3 Estrutura do solo do site "Option 1"

### 3.1.2. Parâmetro térmico do solo

A capacidade térmica é o produto da capacidade específica de calor x densidade e é definida como a energia necessária para aumentar o volume de unidade da amostra de solo em um grau Celsius. A condutividade térmica é o calor transferido em um segundo, quando a diferença de temperatura entre as duas extremidades de uma amostra de unidade é de um grau Celsius.

Para este projeto, foram considerados os seguintes valores típicos de acordo com o tipo de solo do site de eletrodo:

- Capacidade térmica = 2.106 J / cm<sup>3</sup> °C (50% de areia de saturação húmida);
- Condutividade térmica = 0,5 W / m °C (argila seca com areia);
- Temperatura média - 26,6 °C;
- Temperatura média esperada de 3 m de profundidade - 21°C.



## **3.2. Projeto básico de eletrodo**

### **3.2.1. Material do sistema eletrodo**

Existem principalmente dois tipos de materiais utilizados para o eletrodo HVDC, o primeiro é o material condutor e o outro é o material de enchimento. O condutor geralmente é material metálico e o material de enchimento é o sólido de partículas pequenas coque e migalhas de coque.

#### **3.2.1.1. Material do condutor**

Do projeto de transmissão CC existente no país e no exterior, os materiais utilizados para eletrodos HVDC incluem aço (ferro), ferro fundido de alto silício, grafite, cobre e assim por diante. Os seguintes princípios são seguidos para a seleção de materiais neste projeto: boa acessibilidade, condutividade elétrica, resistência à corrosão e eficiência.

A taxa de perda do material condutor está relacionada à densidade de corrente através do eletrodo. A corrente nominal deste projeto é 2500A. Os materiais utilizados devem ter grande resistência a corrosão devido à alta corrente.

O ferrocromo de alto silício possui alta resistência à corrosão. É amplamente utilizado no projeto de eletrodo de aterramento CC no mundo. Portanto, o ferrocromo de silício alto com boa resistência à corrosão e aplicação correta é recomendado neste projeto.

#### **3.2.1.2. Material de alimentação ativa**

O material utilizado para preenchido do entorno da haste (anodo) é de boa condutibilidade. Devido a esse material, a área de superfície do eletrodo é aumentada reduzindo a densidade da corrente e a resistência à terra na interface do eletrodo e do solo. A corrente de alimentação é injetada na terra através de material ativo (coque) e devido a isso ocorre a redução a corrosão da haste.

Atualmente, o coque é o único material de enchimento que foi utilizado com sucesso no eletrodo de terra. O coque é dividido em duas categorias: carvão, e coque de petróleo. O primeiro é o produto da retortação de carvão betuminoso, sendo o último o resíduo sólido deixado no processo de craqueamento do petróleo refinado e deve ser calcinado. O coque que geralmente é usado para eletrodos de aterramento de corrente direta, é um coque calcinado a óleo.

### **3.2.2. Configuração do eletrodo**

De acordo com o anexo 6 e IEC 62344, o sistema de eletrodo de terra deve satisfazer a limitação de tensão de passo, densidade de corrente, temperatura máxima e resistência ao solo.

#### **3.2.2.1. Tipo de eletrodo**

O eletrodo de aterramento com a forma de anel horizontal pode desempenhar completamente a capacidade de dissipação, de densidade de corrente e pode evitar uma tensão de passo alta no local. A opção escolhida tem a área grande e plana, então a configuração do anel é recomendada.



A configuração do anel único e do anel duplo e os parâmetros técnicos, respectivamente, são mostrados na figura 3.4 e na tabela 3.3.

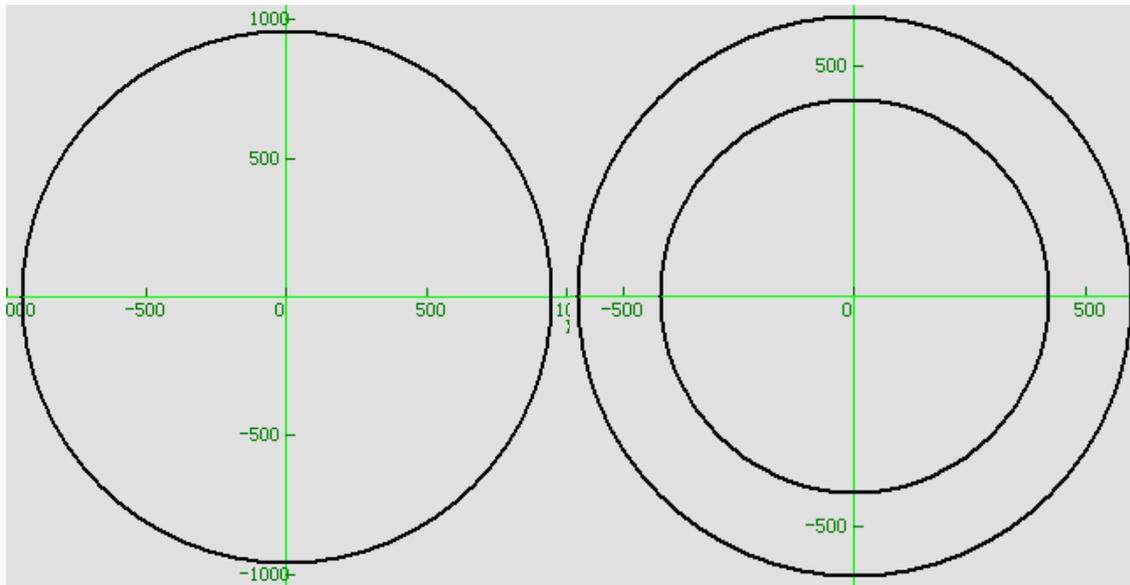


Figura 3.4 Configuração horizontal de anel único e anel duplo

Tabela 3.3 Comparação de parâmetros técnicos de configuração de anel único e anel duplo

Parâmetros	Anel Simples	Anel duplo
Raio do Anel do Eletrodo (m)	950	600/420
Profundidade Enterrado (m)	-3.5	-3.5/-3.5
Diâmetro da Haste (anodo)(mm)	Φ50	Φ50/Φ50
Largura da Seção do Coque(m)	0.3	0.3/0.3
Resistividade Solo (Ωm)	0.323	0.33
Máxima Tensão de Passo (V/m)	17.662(limite: 22.32)	18.877(limite: 22.32)
Máxima Corrente (°C)	63.6	60.6
Densidade de Corrente (A/m <sup>2</sup> )	0.349	0.332
Vida útil (AHx106)	360.9(limite: 33)	379.5(limite: 33)
Peso do Condutor (t)	82.393	88.464
Volume de coque (m <sup>3</sup> )	537.2	576.8
Valor de terraplanagem (m <sup>3</sup> )	Aprox.: 76000	Aprox.: 82000

A Tabela 3.3 apresentada acima, mostra que, em parâmetros técnicos similares, a configuração do eletrodo em anel simples costuma ser melhor que em anel duplo. Porém a configuração de anel duplo pode ser usada porque necessita de uma área menor, além disso é amplamente utilizada em muitos projetos HVDC. Portanto, a configuração do anel duplo é recomendada no projeto do eletrodo Xingu.



### 3.2.2.2. Profundidade enterrada

A profundidade enterrada do eletrodo de aterramento está intimamente relacionada com a tensão de passo máxima e a resistência ao solo. Ao aumentar a profundidade enterrada do anel, a tensão de passo máxima do eletrodo de aterramento pode ser efetivamente reduzida, e a resistência ao solo também mudará. Os parâmetros técnicos do eletrodo Xingu com profundidade enterrada diferente são mostrados na Tabela 3.4.

**Tabela 3.4 Comparação de parâmetros técnicos de diferentes profundidades enterradas**

Raios dos Anéis do Eletrodo (m)	Profundidade Enterrado (m)	Tensão de Passo (V/m)	Resistividade Solo ( $\Omega$ m)
600/420	2	27.861	0.324
600/420	2.5	23.033	0.316
600/420	3	21.716	0.311
600/420	3.5	17.877	0.303
600/420	4	16.818	0.297
600/420	4.5	15.593	0.295

Obviamente, a tensão do passo diminui quando o condutor é enterrado mais profundo, bem como a resistência ao solo. Uma vez que a resistência ao solo é inferior a  $0,35\Omega$  em todas as condições, e muda um pouco quando a profundidade enterrada muda, então a tensão do passo é o principal fator de restrição da profundidade enterrada. Considerando uma margem de 10%, definiu-se 3,5 metros como a profundidade enterrada.

### 3.2.2.3. Tamanho do eletrodo

Para o eletrodo de aterramento horizontal de duplo anel, a proporção do diâmetro do anel interno e externo deve ser de 0,65 a 0,85, e o valor desse projeto é escolhido como 0,7. Quando a profundidade enterrada do eletrodo de aterramento é determinada, o raio do eletrodo de aterramento é principalmente controlado pela resistência ao solo e pela tensão de passo máxima. Os parâmetros técnicos do tamanho do eletrodo são mostrados na tabela 3.4.

De acordo com a Tabela 3.5, com a redução do raio, a tensão de passo e a resistência do eletrodo de aterramento aumentam continuamente. Para reduzir a resistência do solo abaixo de  $0,35\Omega$ , e considerar uma margem de segurança ao mesmo tempo, definiu-se o tamanho do eletrodo conforme segue: o raio do anel externo é de 600 m e o raio do anel interno é de 420 m.

**Tabela 3.5 Comparação de parâmetros técnicos de diferentes tamanhos de eletrodos**

Raios dos Anéis do Eletrodo (m)	Profundidade Enterrado (m)	Tensão de Passo (V/m)	Resistividade Solo ( $\Omega$ m)
500/350	3.5	22.121	0.416
550/385	3.5	19.796	0.367
600/420	3.5	17.877	0.330
650/455	3.5	16.325	0.297
700/490	3.5	14.999	0.271

### 3.2.2.4. Comprimento da seção de coque

A seção selecionada de coque deve garantir que a temperatura mais elevada e a máxima densidade da corrente da superfície do eletrodo atinjam os requisitos da proposta e do padrão IEC. Neste projeto, a temperatura não deve ser superior a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , e o aumento



da temperatura não deve exceder 60 °C, e a densidade de corrente deve ser menor que 0,5A / m<sup>2</sup>. A comparação dos parâmetros técnicos de diferentes seções de coque é mostrada na tabela 3.6.

**Tabela 3.6 Comparação dos parâmetros técnicos da seção de coca diferente**

Raios dos Anéis do Eletrodo (m)	Profundidade Enterrado (m)	Seção do Coque (m)	Temperatura (°C)	Densidade de Corrente (A/m <sup>2</sup> )
600/420	3.5	0.7	35.6	0.142
600/420	3.5	0.6	37.7	0.166
600/420	3.5	0.5	41.0	0.199
600/420	3.5	0.4	47.2	0.249
600/420	3.5	0.3	60.6	0.332

A temperatura do eletrodo e a densidade da corrente de superfície do eletrodo de terra aumentam quando a seção do coque é reduzida. Uma vez que o raio do anel do eletrodo é muito grande, então a temperatura e a densidade da corrente são pequenas. Mesmo quando escolher 0,3m × 0,3m de coque, ele pode atender aos requisitos. Por outro lado, para garantir o envolvimento do condutor de eletrodo, a seção do coque não pode ser muito pequena. Então recomendamos uma seção de coque de 0,3m × 0,3m.

### 3.2.2.5. Tamanho do condutor

O tamanho do condutor é determinado principalmente em função do dimensionamento da vida útil. De acordo com o cálculo, se escolhermos ferrocromo de silício de 50mm de diâmetro, a vida útil é 482.8 × 106Ah, que é muito maior do que o valor limite (33 × 106Ah). Por outro lado, os eletrodos que são utilizados nos projetos de HVDC no Brasil, os condutores são compostos de ferrocromo de alto silício com um diâmetro de 1,5 polegadas (38 mm), que é mostrado na figura 3.5. De acordo com o cálculo, o condutor de 38mm ainda tem uma vida útil de até 165,4 × 106Ah. Então, adotou-se o ferrocromo de alto silício de 38 mm de diâmetro neste projeto.

**PRODUCT BULLETIN**  
08-17  
27-FEB-2015

**ANOTEC**  
ISO 9001 REGISTERED

**Sil-Iron Ground Rods**

**Product Description**

**Ground Rod Composition**

	Minimum %	Maximum %
Silicon	14.20	14.75
Chromium	3.25	5.00
Carbon	0.70	1.10
Manganese		1.50
Copper		0.50
Molybdenum		0.20

High Silicon Cast Iron  
Chemistry ASTM A518 Grade 3

**Chill Cast In Metal Molds**

Anotec's proprietary process assures consistent weight, greater density, less flake graphite grain boundary, and lower chemical segregation than sand cast anodes.

**Nominal Dimensions and Weight**

Type 1560 x 2  
3048 mm (120") Long  
38 mm (1.5") Diameter Shaft  
56 mm (2.2") Diameter Head  
25 kg (55 lb) Excluding Grounding Conductor

**UL LISTED**

**Figura 3.5 Informação de ferrocromo de alto silício de 38mm de altura**



### 3.2.2.6. Recomendada configuração do eletrodo Xingu

O raio do anel externo é de 600 metros e o do anel interno é de 420 metros. Totalizando 113ha de área do anel externo. A profundidade enterrada é de 3,5 metros. A área de seção do coque é de 0,3 m x 0,3 m. A configuração e os principais parâmetros técnicos são mostrados a seguir.

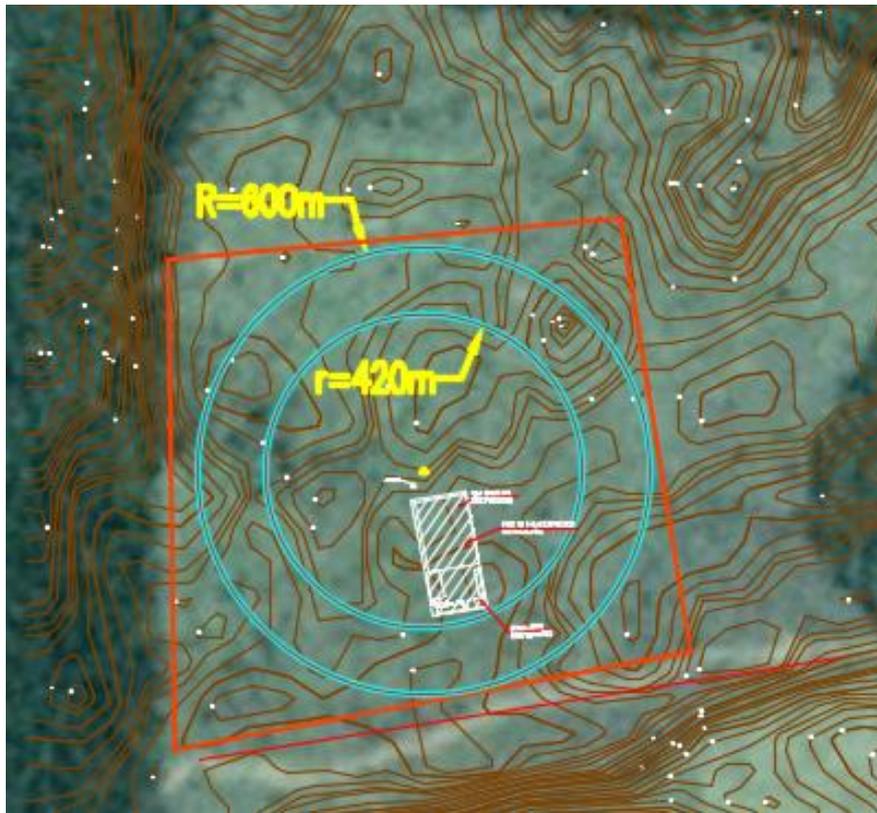


Figura 3.6 Configuração do eletrodo de anel duplo horizontal

Tabela 3.6 Principais parâmetros técnicos de configuração recomendada

Variáveis	Valores	
Tipo	Dois Anéis Horizontais	
Raio	600m/420m	
Anodo (Haste)	38mm FeCr-Si	
Profundidade Enterrado	3.5m	
Seção do Coque	0.3mx0.3m	
Aumento Potencial de Terra(V)	747.1	
Resistividade do Solo( $\Omega$ )	0.330	
Tensão de Passo(V/m)	Valor limite 23.32	Valor calculado 17.877
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Valor limite 81	Valor calculado 60.6
Densidade de Corrente(A/m <sup>2</sup> )	Valor limite 0.5	Valor calculado 0.332
Constante Térmica (d)	Valor limite 10	Valor calculado 165.4
Vida útil(Ah $\times 10^6$ )	Valor limite 33	Valor calculado 379.5
Peso do condutor(t)	88.464	
Volume de Coque(m <sup>3</sup> )	576.8	

### 3.2.3. Sistema de divisão atual

A corrente do sistema transmitida por linhas aéreas, após chegar a casa de distribuição, é dividida em vários ramos por cabos, que são encaminhadas para os eletrodos de aterramento e depois descarregadas na terra.

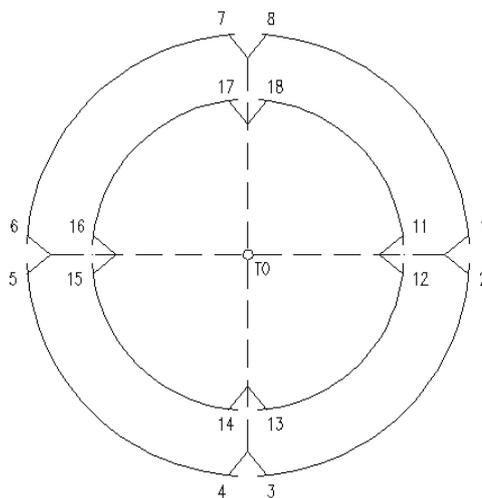
Os cálculos teóricos e a experiência de engenharia prática mostram que a seleção e disposição razoáveis do sistema de derivação do polo de aterramento são de grande importância para garantir o funcionamento contínuo e seguro do eletrodo de aterramento.

Se o layout da rede de circuitos não for razoável, a corrente de alguns ramos do eletrodo de aterramento será muito grande para exceder a capacidade de carga atual do cabo de aterramento e o condutor de aterramento será queimado, enquanto a outra parte da corrente será muito pequena ou mesmo sem corrente.

A fim de obter características de derivação mais uniformes, um sistema de desvio seguro e confiável deve considerar os seguintes fatores:

- (1) O layout da linha dos circuitos deve ser simples e confiável.
- (2) A operação de segurança de outros circuitos de desvio não é afetada quando várias falhas da linha de desvio (danos ou reparos) são levadas em consideração.
- (3) O cabo de drenagem tem reserva de capacidade de carga suficiente.
- (4) A camada isolante tem boa estabilidade térmica e melhor resistência à água.
- (5) Fácil de monitorar e revisar.
- (6) A conexão deve ser firme e confiável.

O anel interno e o anel externo são divididos em 4 quadrantes, respectivamente. Existem 16 circuitos de cabo. Cada ramo contém dois cabos com uma área de seção de 240mm<sup>2</sup>. O sistema de desvio de polo do projeto de aterramento é o seguinte.



**Figura 3.7 Sistema de divisão de circuitos (cabamento)**



#### **4. Conclusão**

(1) O site NO não é adequado para construir um eletrodo HVDC, pois possui uma alta resistência para a camada superficial e a camada profunda. Toda configuração que utilizamos não pode satisfazer o requisito de resistência ao solo.

(2) O site "Option 1" possui uma melhor resistividade do solo que o site NO. Com base na pesquisa de detalhes, uma configuração horizontal de anel duplo será adotada para o eletrodo Xingu, atendendo a todos os requisitos técnicos contratuais e normativos da IEC.