



**XXIII SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GSE/28
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO – VIII

GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTO DE ALTA TENSÃO - GSE

**PROJETO, OTIMIZAÇÃO, CONSTRUÇÃO E MEDIÇÕES DOS ELETRODOS DE TERRA
DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO DO MADEIRA ± 600 KVCC**

**Gilson Santos Jr. (*)
MARTE ENGENHARIA LTDA.**

**Aldir F. Rodrigues
MARTE ENGENHARIA LTDA.**

**Marcus V. Oliveira
MARTE ENGENHARIA LTDA.**

**Claudio S. Fonseca
MARTE ENGENHARIA LTDA.**

**Benjamin Bijarano
IE MADEIRA**

**Rodrigo P. Reis
IE MADEIRA**

RESUMO

Este artigo apresenta os principais aspectos do projeto e construção dos eletrodos de terra do bipolo 2 do Sistema de Transmissão do Madeira em ± 600 kVcc, localizados nas cidades de Araraquara/SP e Porto Velho/RO, e parte fundamental do sistema durante o regime de operação monopolar, quando podem ser injetadas no solo correntes superiores a 3.700 A.

Por suas grandes dimensões se comparados a sistemas de aterramento tradicionais, os eletrodos representam um grande desafio no que diz respeito à obtenção de configurações técnica e economicamente viáveis, considerando simultaneamente baixa resistência, baixo impacto ambiental e mínimo risco a pessoas, animais e equipamentos.

PALAVRAS-CHAVE

Aterramento, corrente contínua, eletrodo de terra, resistência de aterramento, resistividade do solo.

1.0 - INTRODUÇÃO

Embora o potencial hidráulico do Brasil seja um dos maiores do mundo, os principais rios das regiões Sul e Sudeste do país já foram quase totalmente aproveitados no que diz respeito à geração de energia elétrica. Como o sistema elétrico cresce continuamente, os rios das regiões Norte e Nordeste estão sendo cada vez mais considerados para suprir a demanda. No entanto, as principais cidades estão justamente localizadas nas regiões Sul e Sudeste, a mais de 2.500 km de distância das novas usinas. Estudos realizados para determinar a melhor maneira de transferir a energia gerada apontaram a transmissão em corrente contínua como a alternativa técnica e economicamente mais recomendada [1].

O rio Madeira é um dos principais afluentes do rio Amazonas e é atualmente o 17º maior do mundo, com uma extensão total de 3.315 km. Em 2007, a ANEEL começou a leiloar o Complexo Hidrelétrico do Rio Madeira, que consiste nas Usinas de Jirau (3.300 MW) e Santo Antônio (3.150 MW) e no primeiro bipolo – uma linha de transmissão em ± 600 kVCC, com 2.385 km de extensão. Esta linha traz parte da energia gerada nas duas usinas, disponibilizada na Estação Retificadora de Porto Velho, em Rondônia, para a região sudeste do país, entregando-a na Estação Inversora de Araraquara, em São Paulo. O planejamento do sistema considerou também a operação monopolar do elo HVDC através de eletrodos de terra, localizados em ambas as extremidades da linha de transmissão e associados às Estações Conversoras.

Ao contrário da operação bipolar, na qual a corrente no sistema circula somente pelos dois polos – passando pelos eletrodos somente uma pequena corrente de desequilíbrio –, na operação monopolar a corrente circula por um dos polos e pelo solo. Neste caso, a presença de eletrodos de aterramento é de importância fundamental para

proporcionar uma baixa resistência elétrica na transição da corrente que chega pela linha aérea para ser injetada na terra. Por outro lado, ao trazerem para o solo correntes elétricas da magnitude de kA, os eletrodos de aterramento devem garantir a segurança de pessoas, animais e equipamentos eventualmente sujeitos aos efeitos desta. No caso dos equipamentos, estão entre os mais afetados os transformadores locais de sistemas monofásicos com retorno pela terra (MRT).

Sendo assim, os estudos preliminares, medições de campo, projeto, construção e medições pré-comissionamento sobre os eletrodos de Araraquara e Porto Velho foram realizados em um intervalo de cerca de quatro anos.

2.0 - ESCOLHA DA LOCALIZAÇÃO DOS ELETRODOS

A primeira etapa do projeto foi o estudo preliminar, via Google Earth, da localização dos mesmos. Os locais mais indicados para a implantação de eletrodos de terra deste porte são, preferencialmente:

- locais com área total compatível com o porte do eletrodo e que possuam acesso viável.
- locais com mínima possibilidade de impedimento ambiental, tais como existência de Área de Preservação Permanente (APP).
- locais razoavelmente afastados de áreas urbanas e outros equipamentos, tais como linhas de transmissão/distribuição, a fim de minimizar a interferência do eletrodo com equipamentos e pessoas.
- locais suficientemente afastados da subestação coletora. Neste caso, definiu-se um raio mínimo de 15 km.
- locais cujo solo possui resistividade razoavelmente baixa, que se permita chegar à resistência máxima de aterramento pré-estabelecida – 0,35 Ω para cada eletrodo.

Os itens a, b, c e d foram avaliados a partir das imagens de satélite do *software* indicado, enquanto que o item e motivou a realização de medições de resistividade do solo em duas a quatro localidades diferentes, após pesquisa inicial.

Ao se avaliar conjuntamente estes cinco fatores, foram definidas as cidades de Curupá, distrito do município de Tabatinga, em São Paulo, e Porto Velho, em Rondônia, como a localização ideal para os eletrodos. A Figura 1 mostra as fotos de satélite dos locais de implantação dos mesmos.

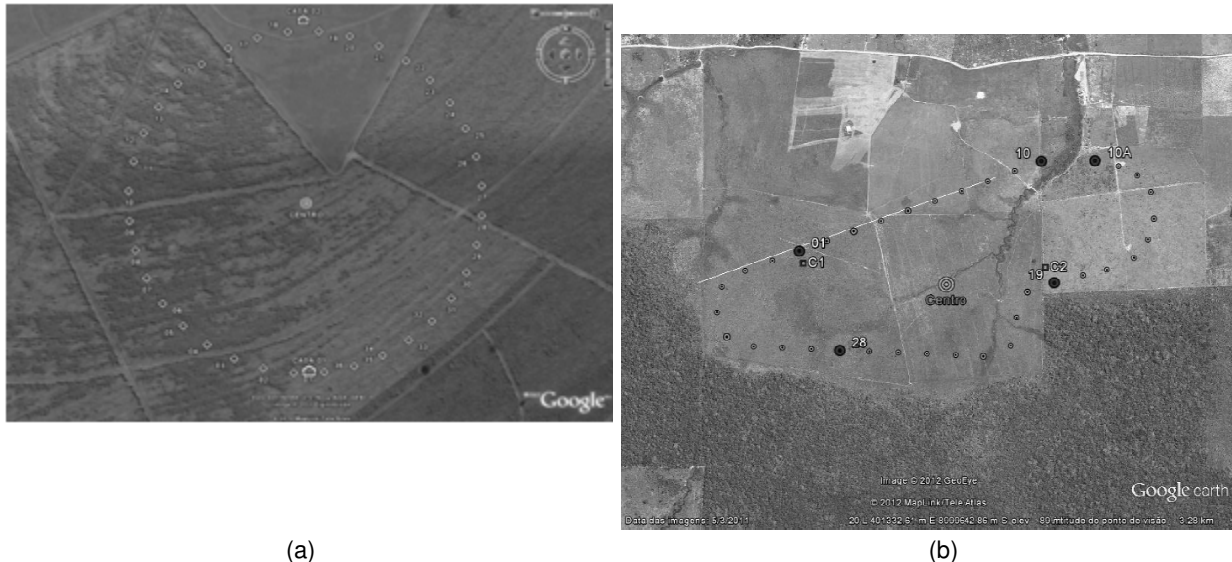


FIGURA 1 – Fotos de satélite dos locais de implantação dos eletrodos de (a) Araraquara; e (b) Porto Velho.

Como se pode verificar na Figura 1 acima, o formato do eletrodo de Araraquara terminou por ser essencialmente circular, uma escolha natural devido à simetria. Entretanto, a geometria do eletrodo de Porto Velho não é a de uma figura regular, sendo mais próxima a uma elipse. Muito mais do que ocorreu em Araraquara, tal forma foi modelada de maneira a atender as condições a-d da lista acima. O trecho retilíneo, por exemplo, é o resultado da limitação de se manter 15 km do eletrodo até a malha de terra da subestação coletora [2].

3.0 - MEDIÇÃO DOS PARÂMETROS ELÉTRICOS DO SOLO

Em um sistema de corrente contínua, a resistividade do solo é o parâmetro elétrico mais relevante para o projeto de eletrodos de terra, uma vez que tem influência direta e aproximadamente linear na resistência de aterramento.

A resistividade do solo nos locais de implantação dos eletrodos foi medida pelo tradicional método de Wenner, com espaçamentos entre hastes variando entre 1 e 400 m, em função das grandes dimensões dos eletrodos. Neste método, tradicionalmente, faz-se circular pelo solo uma corrente i , injetada por duas hastes separadas por uma distância igual a $3 \cdot a$. Outras duas hastes, separadas por uma distância a , servem como pontas de prova para a leitura da tensão v entre os pontos nas quais elas são cravadas. O valor da resistência R do terreno neste arranjo é dada pelo quociente v/i , sendo a resistividade ρ correspondente igual a $2\pi aR$.

Outros métodos de medição de resistividade do solo foram analisados e posteriormente descartados, sendo o método magnetotélúrico [3] o mais relevante. De natureza totalmente diferente do método de Wenner, visto empregar como fonte a variação temporal do campo magnético terrestre, o método magnetotélúrico é tipicamente utilizado na investigação de bacias terrestres para a exploração de petróleo. Tendo em vista a configuração horizontal dos eletrodos, tomada como premissa desde o início do projeto, o método foi descartado por apresentar dificuldades na aquisição de dados mais precisos a baixas profundidades, tipicamente a poucos metros da superfície, onde os eletrodos seriam instalados.

Para dar maior embasamento ao projeto, as medições foram realizadas na área de instalação dos eletrodos, em duas direções ortogonais, chamadas X e Y. Além disso, tendo em vista a grande dimensão dos eletrodos, eles foram subdivididos em 36 seções cada um, a fim de se pudesse levar em conta também no projeto variações horizontais da resistividade. As resistividades foram então medidas em direções perpendiculares a estas seções. Nas campanhas foram utilizados dois medidores de resistência de terra – um IRIS, modelo SYSCAL JR 400 W, e outro MEGABRÁS, modelo MTD 20kWe.

Inicialmente, a resistência de cada uma das seções dos eletrodos foi calculada para a respectiva estratificação do solo, sendo a resistência total o equivalente entre as resistências das seções. Em seguida, entretanto, verificou-se que o resultado obtido era muito similar a se calcular diretamente a resistência do eletrodo completo a partir de uma estratificação equivalente feita a partir das médias entre os valores obtidos pelas medições em cada seção. Tanto em Porto Velho como em Araraquara, o solo foi inicialmente estratificado em duas camadas horizontais, conforme mostra a Figura 2 e a Tabela 1. Como se verá adiante, este procedimento foi insuficiente no caso do eletrodo de Araraquara.

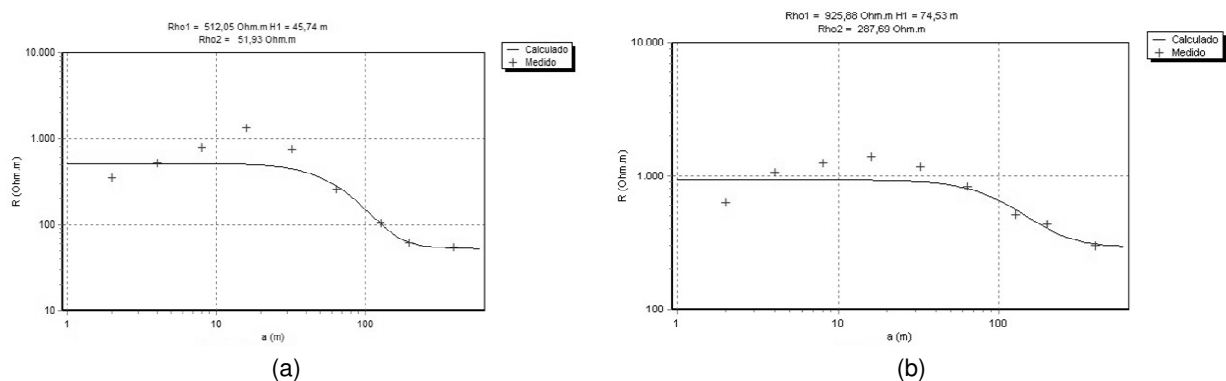


FIGURA 2 – Estratificação do solo para os eletrodos de (a) Araraquara; e (b) Porto Velho.

Tabela 1 – Estratificação do solo em duas camadas em Araraquara e Porto Velho.

	Araraquara	Porto Velho
$\rho_1 (\Omega \cdot m)$	512,05	925,88
$\rho_2 (\Omega \cdot m)$	51,93	287,69
$h (m)$	45,74	74,53

4.0 - CONFIGURAÇÃO FINAL DOS ELETRODOS

4.1 Eletrodo de Araraquara

Como mencionado anteriormente, a ideia inicial do projeto era que os eletrodos tivessem forma circular. Em

Araraquara, esta configuração foi possível, tendo sido testados os seguintes valores:

- Alternativa 1: diâmetro de 670 m, seção transversal de 0,7 x 0,7 m, profundidade de instalação de 3,60 m.
- Alternativa 2: diâmetro de 700 m, seção transversal de 0,9 x 0,9 m, profundidade de instalação de 3,60 m.
- Alternativa 3: diâmetro de 750 m, seção transversal de 0,7 x 0,7 m, profundidade de instalação de 3,60 m.
- Alternativa 4: diâmetro de 750 m, seção transversal de 0,9 x 0,9 m, profundidade de instalação de 3,60 m.
- Alternativa 5: diâmetro de 800 m, seção transversal de 0,7 x 0,7 m, profundidade de instalação de 3,60 m.

Para cada uma destas configurações alternativas, calculou-se a resistência de aterramento a partir da estratificação do solo mostrada na Tabela 1.

Em função de incertezas tipicamente associadas à medição de resistividade do solo e à modelagem matemática da resistividade do solo em camadas homogêneas, o projeto dos eletrodos passou a considerar uma margem de 20% em relação à resistência máxima estabelecida de 0,35 Ω . Desta maneira, as alternativas acima foram comparadas com o valor-base de 0,28 Ω . Com a estratificação considerada, os valores de resistência dos eletrodos calculados por programa computacional específico são os mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resistências de aterramento das alternativas dos eletrodos de Araraquara

Alternativa	Resistência (ohm)
1	0,33
2	0,30
3	0,28
4	0,28
5	0,27

Como pode ser visto na tabela, a alternativa 3 é a mais indicada, tendo sido adotada para o eletrodo de Araraquara. A vala de seção transversal quadrada com dimensões 0,70 x 0,70 m é preenchida com coque, cuja resistividade é de 0,45 m Ω ·m. Assim, um comprimento de 1 m desta vala tem uma resistência de 0,92 m Ω . O volume de coque neste eletrodo é de $0,70 \times 0,70 \times \pi \times 750 = 1.155 \text{ m}^3$, correspondente a uma massa de cerca de 1.070 ton, considerando uma densidade de 924 kg/m³ para o coque compactado.

Cada uma das 36 seções em que foi dividido o eletrodo de Araraquara possui um ângulo subentendido de 10°, perfazendo os 360° de seu círculo. Com um diâmetro de 750 m, cada seção possui um comprimento de $\frac{\pi \cdot 750}{36} \sim 65 \text{ m}$. Para facilitar a transferência da corrente da linha aérea do eletrodo para o coque enterrado no solo, foram projetadas hastes metálicas de 1,5 m de comprimento, 50 mm de diâmetro e 20 kg de massa cada, conforme mostra a Figura 3.

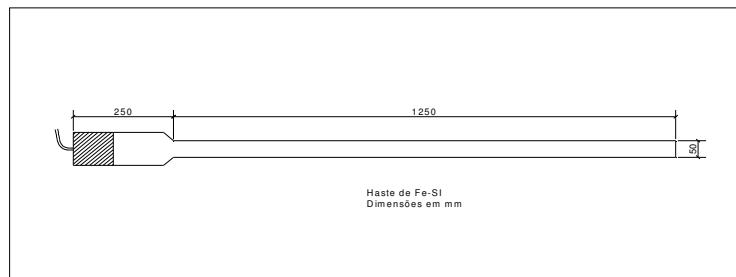


FIGURA 3 – Haste de ferro-silício para transferência da corrente para o coque.

Para a determinação da quantidade de hastes ao longo do eletrodo, foram estabelecidos dois critérios: (i) limite da densidade de corrente saindo da haste; e (ii) limite de corrosão eletrolítica em função da passagem da corrente. A máxima densidade de corrente na parte ativa da haste deverá ser igual a 25 A/m². Considerando uma área lateral cilíndrica de 1,25 m de comprimento e 50 mm de diâmetro, a área lateral é igual, em m², a

$$\pi \times 0,05 \times 1,25 = 0,20$$

Isto significa que cada haste só pode escoar uma corrente igual a $25 \times 0,20 = 5 \text{ A}$. Como o eletrodo precisa conduzir 2.625 A em operação monopolar, o número mínimo de hastes por este critério é de $\frac{2625}{5}$, isto é, 525 hastes. Adotou-se um número de 15 hastes por seção, ou 540 hastes ao todo. A perda de massa das hastes por corrosão eletrolítica foi estimada em 0,14 kg/A·ano. Com um regime monopolar definido por uma injeção de corrente de 2.625 A em 215 horas em um ano, mais cinco horas com corrente de 3.701 A, a massa em kg corroída em 30 anos de operação do eletrodo será igual a

$$0,14 \times \left[2615 \times \frac{215}{8760} + 3701 \times \frac{5}{8760} + 40 \right] \times 30 = 447$$

A parcela de 40 A incluída na expressão anterior corresponde à corrente máxima de desequilíbrio da operação bipolar, suposta circulante continuamente no eletrodo. O resultado acima corresponde a pouco mais de 4% do peso total das 540 hastes. Cada uma das hastes será ligada a uma das casas de distribuição por meio de um cabo isolado EPR, com bitola mínima de 10 mm^2 , de material tal que possa suportar esforços mecânicos de extração.

4.2 Eletrodo de Porto Velho

Diferentemente do que ocorreu em Araraquara, o eletrodo de Porto Velho não permitiu a consideração de um eletrodo circular, nem de alternativas diferentes de configuração.

Com dimensões maiores que as do eletrodo de Araraquara (em função da maior resistividade do solo, conforme a Tabela 1), o eletrodo de Porto Velho tomou a forma irregular mostrada na Figura 1b em função das limitações ambientais, de natureza do terreno e de distância para a subestação coletora. A seção transversal (quadrada de $0,70 \times 0,70 \text{ m}$, preenchida com coque), a profundidade (3,60 m) e o número de seções (36), entretanto, foram os mesmos de Araraquara.

Com esta configuração – para se ter uma ideia da dimensão do eletrodo, seu perímetro é de aproximadamente 6.177 m (mais de 2,5 vezes o de Araraquara) –, a resistência de aterramento é igual a $0,28 \Omega$, dentro do limite de 20% da resistência de $0,35 \Omega$ estabelecida.

Cada uma das 36 seções possui, portanto, um comprimento de 171,6 m, sendo a área externa de contato com solo igual a $4 \times 0,70 \times 6177$, que resulta em $17.296,5 \text{ m}^2$. Assim, a densidade média de corrente injetada no solo é de $\frac{2625}{17296,5}$, correspondente a $0,159 \text{ A/m}^2$, suficientemente baixa para impedir a ocorrência de eletro-osmose. O volume e o peso de coque neste eletrodo são, respectivamente, iguais a 3.027 m^3 e 2.797 ton .

As hastes de ferro-silício também estão presentes no eletrodo de Porto Velho e têm as mesmas características das de Araraquara, inclusive o número de hastes por seção, igual a 15, totalizando 540 em todo o eletrodo.

4.3 Casas e Cabos de Distribuição

A corrente da operação monopolar chega ao eletrodo por uma linha de transmissão com dois cabos condutores CA 2282,8 MCM, e alimenta duas casas de distribuição diametralmente opostas. Nestas casas, os dois cabos derivados da linha do eletrodo chegam às buchas de passagem no lado externo. Na parte interna é feita a ligação das buchas com a chave seccionadora e depois a barra de distribuição, como representado na Figura 4a.

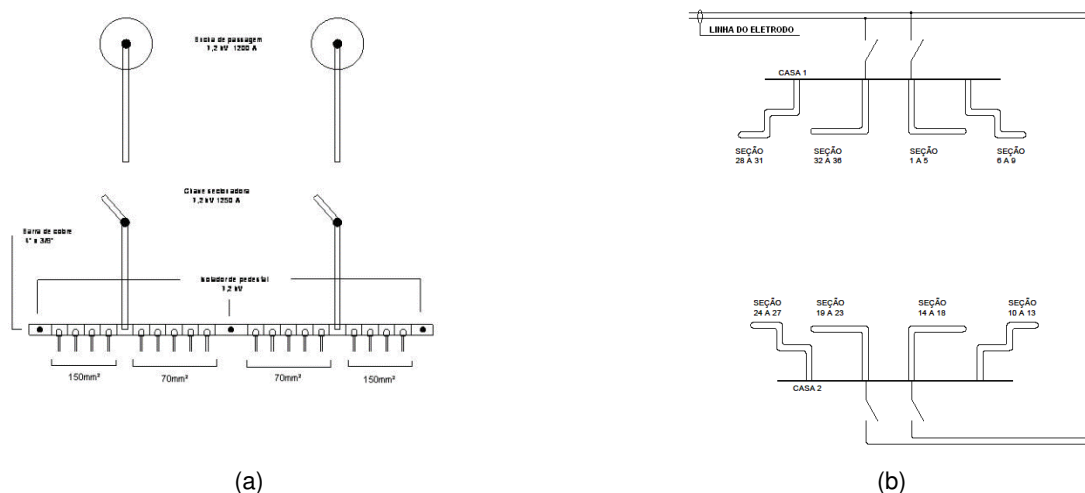


FIGURA 4 – Esquema da casa de distribuição.

A partir de cada barramento saem os cabos que alimentam 18 seções, conforme a Figura 4b. São dois cabos por seção, dimensionados de modo que a resistência do cabo seja 2% da resistência de aterramento da seção. Utilizam-se duas bitolas diferentes – 150 mm^2 para os cabos de comprimento até $1/4$ do perímetro dos eletrodos e 70 mm^2 até $1/8$ do perímetro. Os cabos são de cobre, isolados com EPR e capa de PVC, tipo EPROTENAX com isolamento da classe 0,6 / 1 kV.

5.0 - INTERFERÊNCIA E SEGURANÇA DE PESSOAS E EQUIPAMENTOS

A segurança de pessoas e animais próximos, bem como a operação adequada dos equipamentos locais, foram os principais pontos de investigação da interferência causada pelos eletrodos.

Tradicionalmente, a segurança de pessoas é avaliada por meio das tensões de toque e passo [4]. Contudo, as particularidades do estudo de um sistema de tão grandes dimensões motivaram um enfoque ligeiramente diferente – por intermédio da corrente máxima admissível no corpo humano. De acordo com [5], este valor é de 5 mA.

Tendo em vista que os obstáculos não são diretamente conectados aos eletrodos – como as estruturas de uma subestação, por exemplo, que estão aterradas na malha da mesma –, o risco ao toque só ocorre quando os obstáculos possuem partes metálicas em contato com o solo. Neste caso, a corrente a ser comparada com o limite acima é aquela circulando por uma resistência de $1.000\ \Omega$ (tipicamente representativa do corpo humano) conectada entre o ponto de toque e o ponto de contato no solo.

No caso do passo, a corrente é a que circula por uma resistência de $1.000\ \Omega$ conectada entre dois pontos do solo espaçados de 1 m. Ambas as situações são mostradas na Figura 5. Nas simulações da operação monopolar dos eletrodos, não houve violação das correntes máximas admissíveis no corpo humano.



FIGURA 5 – Determinação das tensões de (a) toque; e (b) passo.

No que diz respeito às interferências com equipamentos, foram investigados dois tipos:

- correntes nos transformadores monofásicos de sistemas MRT:** nestes casos, o critério utilizado foi o de que caso a corrente no local do transformador fosse superior a 10% da corrente de magnetização do mesmo, este deveria ser substituído. Isto ocorreu em quatro transformadores instalados em postes próximos ao eletrodo de Porto Velho.
- saturação de transformadores na conversora:** este efeito foi investigado somente em Porto Velho, uma vez que a distância do eletrodo de Araraquara à subestação conversora acabou por ser superior a 30 km. Entretanto, não foram encontrados problemas de saturação devido à circulação de correntes nos eletrodos.

6.0 - MEDIÇÕES PRÉ-COMISSIONAMENTO E AJUSTES NO ELETRODO DE ARARAQUARA

Após a construção dos eletrodos, foi realizada uma campanha de medição de resistência de aterramento em cada eletrodo, buscando-se verificar o atendimento ao critério de resistência máxima igual a $0,35\ \Omega$.

Ambas as campanhas utilizam o método da queda de potencial [6][7][8], similar ao método de Wenner, mas com a injeção de uma corrente contínua e de valor bem mais significativo que a que é tipicamente injetada pelos instrumentos. Com este procedimento, a resistência do eletrodo de Porto Velho foi medida em $0,30\ \Omega$, valor este adequado conforme especificação do Edital. Em Araraquara, porém, o valor medido foi de $0,47\ \Omega$, valor acima do limite permitido e que motivou, portanto, uma expansão do eletrodo para o atendimento à especificação.

Tendo em vista sua geometria circular, a expansão do eletrodo foi avaliada inicialmente sob a ótica da resistividade do solo em seu local de implantação. O objetivo foi modelar o solo em um número maior de camadas, de modo a identificar camadas intermediárias mais resistivas que pudessem estar provocando o aumento de resistência em relação ao projetado. De fato, conforme mostra a Figura 6, o comportamento do solo é mais próximo de um solo de três camadas que de duas, como proposto inicialmente.

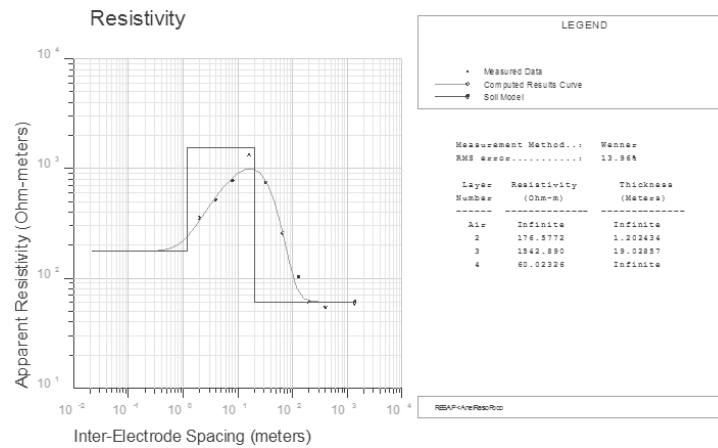


FIGURA 6 – Estratificação do solo do eletrodo de Araraquara em três camadas.

Sendo a camada intermediária mais resistiva que a superficial e a inferior, ela é a causadora do aumento na resistência detectado na medição. Para garantir o atendimento à resistência limite de $0,35 \Omega$ com apenas uma intervenção no eletrodo, decidiu-se construir poços verticais similares à vala horizontal preenchida com coque e hastes. Os poços verticais penetrariam na camada mais profunda do solo, menos resistiva, e facilitaria a redução na resistência.

Deste modo, a configuração final do eletrodo de Araraquara, com 10 poços verticais de 40 m de profundidade, é a mostrada na Figura 7a. A Figura 7b apresenta uma seção transversal do poço vertical.

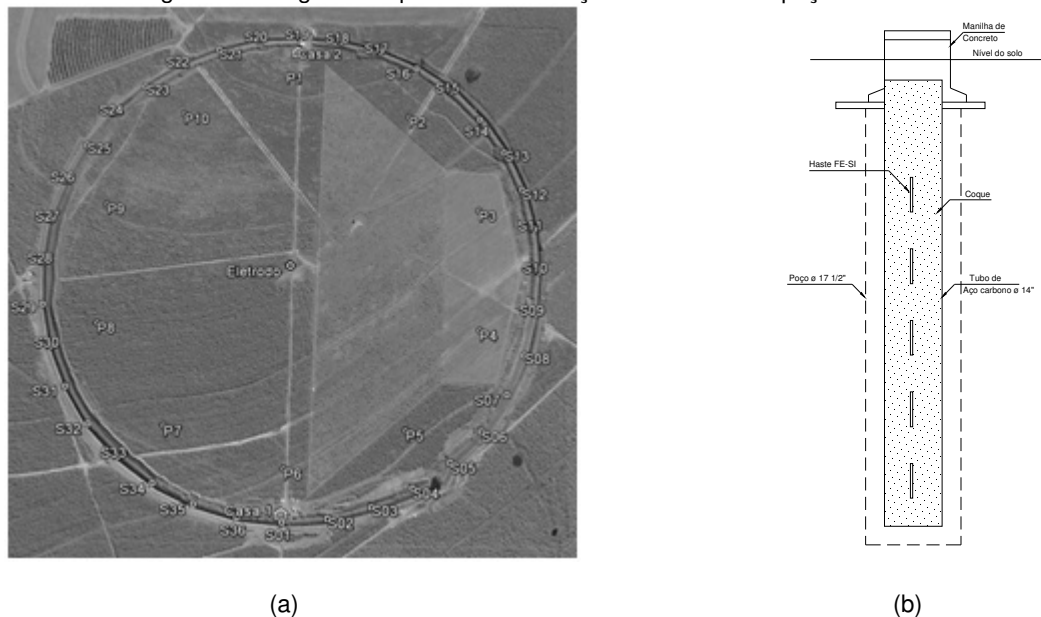


FIGURA 7 – Geometria final do eletrodo de Araraquara, ampliado com poços verticais.

Nova medição foi feita após a implantação da ampliação, tendo-se obtido o valor de $0,11 \Omega$.

7.0 - CONCLUSÃO

Os eletrodos de aterramento do bipolo 1 do Sistema de Transmissão do Madeira estão localizados em Araraquara e Porto Velho, e foram projetados para proporcionar, cada um, uma resistência de aterramento de $0,35 \Omega$.

As configurações de ambos são idênticas, correspondendo a uma vala de seção transversal quadrada de $0,70 \times 0,70$ m, preenchida com coque e hastes de ferro-silício para escoamento da corrente pelo solo. A forma do eletrodo de Araraquara é um círculo com diâmetro de 750 m, enquanto que a do eletrodo de Porto Velho é uma figura irregular próxima a uma elipse, com perímetro superior a 6.000 m.

A avaliação da resistividade do solo no local de implantação dos eletrodos resultou em um solo adequadamente modelado com três e duas camadas, respectivamente, em Araraquara e Porto Velho. A consideração de um solo

de três camadas, inclusive, motivou a expansão do eletrodo de Araraquara, que inicialmente não atingiu a resistência projetada de $0,35 \Omega$. Expandido com a implantação de poços verticais profundos, a fim de se aproveitar das camadas mais profundas do solo, comprovadamente menos resistivas, o eletrodo teve sua resistência reduzida para $0,11 \Omega$.

No momento da elaboração deste informe, não há notícias ainda sobre o comissionamento. Entretanto, os métodos de medição aqui mencionados serão utilizados nesta etapa, aguardando-se a confirmação das últimas medições pré-comissionamento.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Análise do sistema de integração dos aproveitamentos hidrelétricos do rio Madeira e reforços no SIN – Relatório R1 – Detalhamento das Alternativas. Brasil. 2008.
- (2) AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Lote LF-CC – Transmissão Associada à Integração das Usinas do Rio Madeira Conversoras do Bipolo 2 - SE Coletora Porto Velho e SE Araraquara 2 – Características e Requisitos Técnicos Básicos das Instalações de Transmissão. Anexo 6F-CC, Brasil. 2008.
- (3) VOZOFF, K. The Magnetotelluric Method. In: NABIGHIAN MN (Ed.). Electromagnetic methods in applied geophysics. 2: Soc. Expl. Geophys., p. 641–711. 1991.
- (4) KIMBARK, E. W. Direct Current Transmission – Volume I. Ed. Wiley-Interscience. 1971.
- (5) EPRI. HVDC Ground Electrode Design. EL-2020. Project 1467-1. Final Report. August 1981.
- (6) IEEE. Guide for Safety in AC Substation Grounding – Std. 80. EUA, 2000.
- (7) IEEE. Guide for Measurement of impedance and Safety Characteristics of large, extended or interconnected grounding Systems – Std. 81. EUA, 1991.
- (8) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistema de aterramento - NBR 15749. Brasil, 2009.

9.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Gilson Santos Jr. nasceu no Rio de Janeiro em 14 de julho de 1976. Graduiu-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1999 e concluiu seus estudos de Mestrado e Doutorado em Engenharia Elétrica pela COPPE/UFRJ, respectivamente, em 2003 e 2009. Atualmente é Gerente de Projetos de Linhas Aéreas de Transmissão na Marte Engenharia.

Marcus V. de M. Oliveira nasceu no Rio de Janeiro em 29 de dezembro de 1981. Graduiu-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual do Rio de Janeiro em 2008 e atualmente trabalha no setor de estudos de sistemas elétricos da Marte Engenharia, onde participou de diversos estudos elétricos para projetos básicos referentes aos lotes dos leilões da ANEEL para linhas de transmissão.

Claudio dos Santos Fonseca é Engº Eletricista pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1976, Mestre em engenharia elétrica pela escola Federal de Engenharia de Itajubá. Foi professor da Universidade Gama Filho e do centro de produção da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Atualmente é Diretor Geral da Marte Engenharia Ltda.

Benjamin Bijarano nasceu no Rio de Janeiro em 06 de setembro de 1951. Graduiu-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1977. De lá para cá trabalhou em diversas empresas como Monasa, Promon, Aja, Inova, Marte e na IE Madeira. Atualmente é Gerente de Subestações e Estações Conversoras 800 kVcc / 4.000MW da Belo Monte Transmissora de Energia.

Rodrigo Praxedes dos Reis é Engenheiro Eletricista com ênfase em sistemas potência formado pela Universidade Federal de Itajubá em 2006. Atuou como engenheiro de projeto de subestações na CTEEP durante 7 anos. Participou da implantação do Lote D (Linha de Transmissão do Bipolo-1) e do Lote F (Estações Conversoras do Bipolo-2) do Sistema de Transmissão do Madeira. Atualmente, trabalha como engenheiro de projetos na BMTE – Belo Monte Transmissora de Energia SPE S.A, responsável pela implantação do Lote AB, Linha de Transmissão e Estações Conversoras $\pm 800\text{kVCC}$ – 4.000MW, associadas ao Bipolo-1 do Sistema de Transmissão do Belo Monte.