



**XXII SNPTEE
SEMÍNÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GSE/19
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO – VIII

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

Estudo do Sistema de Aterramento da UHE Santo Antônio

Paulo Edmundo da F. Freire (*)
PAIOL Engenharia

Marco Aurélio Lima
PAIOL Engenharia

Vera Lúcia Gribel
PCE

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo apresentar os estudos realizados para o projeto do sistema de aterramento da UHE Santo Antônio, integrante do Complexo do Rio Madeira, em Porto Velho, Rondônia. O estudo foi realizado tendo em vista a avaliação do desempenho da malha de aterramento à frequência industrial, considerando faltas para a terra no sistema de 500 kV.

A UHE tem 2,7 km de extensão, entre as margens direita e esquerda, sendo que a maior parte desta extensão situa-se no leito do rio. Possui 44 geradores de 82,5 MVA distribuídos por três Casas de Força, gerando em 13,8 kV e conectados aos transformadores elevadores através de barramentos blindados e isolados de 15 kV. A transmissão é feita em 500 kV, através de transformadores elevadores instalados na parte superior das Casas de Força ao longo da barragem da UHE. Cada Casa de Força dispõe de uma linha aérea de 500 kV para transmissão da energia até a Subestação Coletora em Porto Velho.

O estudo realizado considera as armaduras da construção como parte integrante do sistema de aterramento da UHE. A premissa básica de projeto é que não é possível isolar o sistema de aterramento da UHE da imensa massa de ferro embutida na sua estrutura, sendo recomendável, neste caso garantir as interligações por meio de conexões adequadas.

Este trabalho apresenta os resultados dos dois estudos do sistema de aterramento da UHE e inclui duas simulações complementares (exercícios I e II), com modelos de solo sucessivamente mais sofisticados, a saber:

- estudo inicial - modelo de solo estratificado em apenas duas camadas, obtido a partir de medições de resistividade do solo feitas por meio do arranjo de Wenner, com espaçamentos de até 64m;
- estudo final – utilizando o modelo acima desmembrado em três camadas, e complementado com a inclusão do substrato rochoso, obtido a partir das sondagens feitas pela geotecnia para o projeto de fundações da UHE;
- exercício I - solo estratificado em múltiplas camadas, que atingem a interface crosta-manto (da ordem de 30-40 km de profundidade), complementando o modelo acima a partir de medições magnetotélúricas;
- exercício II - modelagem da calha do rio cheia de água doce (de resistividade da ordem de poucas dezenas de Ohms.metro), engastada sobre o substrato rochoso.

A partir das simulações da UHE considerando estes diferentes modelos de solo, foram obtidos distintos valores de resistência de aterramento, que resultaram em diferentes padrões de distribuição da corrente de falta pelos componentes do circuito de terra da UHE.

Fica demonstrado que a aplicação de técnicas que são adequadas para o estudo do aterramento de subestações, que tipicamente tem dimensão da ordem de dezenas de metros, não são suficientes para instalações com dimensão da ordem de centenas de metros. Sugere-se que as medições de resistividade do solo sejam feitas utilizando recursos de geofísica/geotecnia mais sofisticados, capazes de produzir modelos de solo profundos (da ordem de dezenas de quilômetros), e que as simulações sejam feitas com programas computacionais capazes de representar modelos de solo complexos e malhas de aterramento não equipotenciais.

PALAVRAS-CHAVE

UHE Santo Antônio, Aterramento Elétrico, Modelos de Solo, Resistividade do Solo.

1.0 - INTRODUÇÃO

A condição de curto-circuito mais severa do ponto de vista do sistema de aterramento, contemplando todos os empreendimentos na região de influência da UHE, consiste na aplicação de uma falta franca fase-terra na barra 525 kV da Usina da Margem Esquerda, que resultou em uma corrente de curto-circuito de 24,8 kA.

As simulações realizadas no estudo do sistema de aterramento foram feitas com o programa Autogrid, desenvolvido pela empresa canadense Safe Engineering Services & Technologies Ltd. (www.sestech.com).

2.0 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE ATERRAMENTO

Foram projetadas as seguintes malhas para a UHE, interligadas entre si e às armaduras da construção, todas de cabo de cobre nu de 95 mm²:

- Malha da Casa de Força Grupo 1 (Margem Direita);
- Malha da Casa de Força Grupos 2 e 3 (Margem Esquerda);
- Malha da Casa de Força Grupo 4 (Leito do Rio);
- Malha do Vertedouro Principal;
- Malha do Vertedouro Complementar;
- Malhas das subestações blindadas em SF6; e
- Malha dos prédios externos, na Margem Direita.

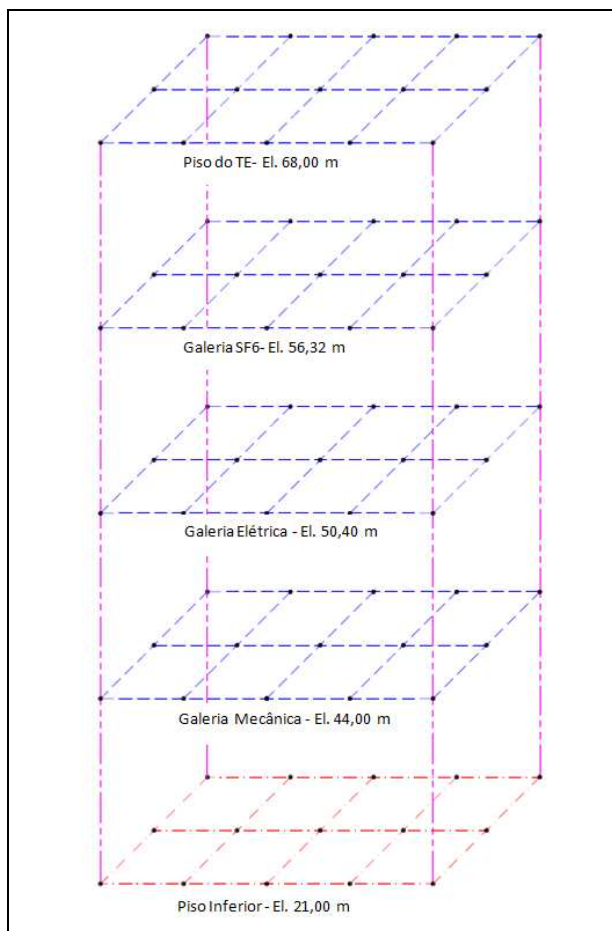


Figura 1.

As malhas de aterramento das Casas de Força e dos Vertedouros são interligadas entre si e lançadas na cota mais baixa das construções, diretamente no leito do rio, e delas derivam prumadas para interligação com as malhas nas lajes dos pisos. A figura 1 acima ilustra os elementos componentes do sistema de aterramento da UHE:

- rede coletora embutida no entrelaçado das lajes (- - - -);
- prumadas da rede coletora embutidas no concreto (- . . -); e

2.1 Malhas Coletoras

Nas galerias das casas de força foram lançadas malhas coletoras embutidas no entrelaçado da armadura estrutural da galeria, de onde derivam rabichos para o aterramento de equipamentos e estruturas, incluindo as interligações com os trilhos de fixação dos equipamentos de SF6. Da mesma forma, no piso da cota mais alta das Casas de Força e dos Vertedouros, foram lançadas malhas coletoras para o sistema de proteção contra descargas atmosféricas, interligadas à armadura estrutural do piso, de onde derivam interligações com todos os equipamentos, estruturas e massas metálicas ali existentes.

2.2 Uso das Armaduras da Construção

O sistema projetado utiliza as armaduras da construção como partes integrantes do sistema de aterramento da UHE. A premissa básica de projeto é que não é possível isolar o sistema de aterramento da UHE da imensa massa de ferro embutida na sua estrutura, sendo recomendável, neste caso, garantir as interligações por meio de conexões adequadas. Foi estabelecido no projeto civil um grande número de interligações entre os diversos elementos que integram as armaduras da construção, incluindo as malhas de armação dos pisos, e também as malhas de aterramento embutidas na construção. Nas juntas de dilatação existentes entre os diversos blocos de construção, foram previstos pontos de interligação entre as armaduras de blocos vizinhos, de modo a garantir a continuidade elétrica das mesmas.

— malha de dissipação sob a estrutura da UHE, no leito do rio (- . - . -)

A Figura 2.1 apresenta a geometria simulada para o aterramento da UHE (com cerca de 2,7 km de extensão), que inclui as malhas coletoras e as armaduras acima mencionadas, formando uma extensa gaiola de ferro e cobre no leito do rio. Nas duas extremidades aparecem as malhas lançada em terra, que incluem os aterramentos dos prédios externos e dos pés das torres das LTs que se encontram dentro do limite de propriedade.

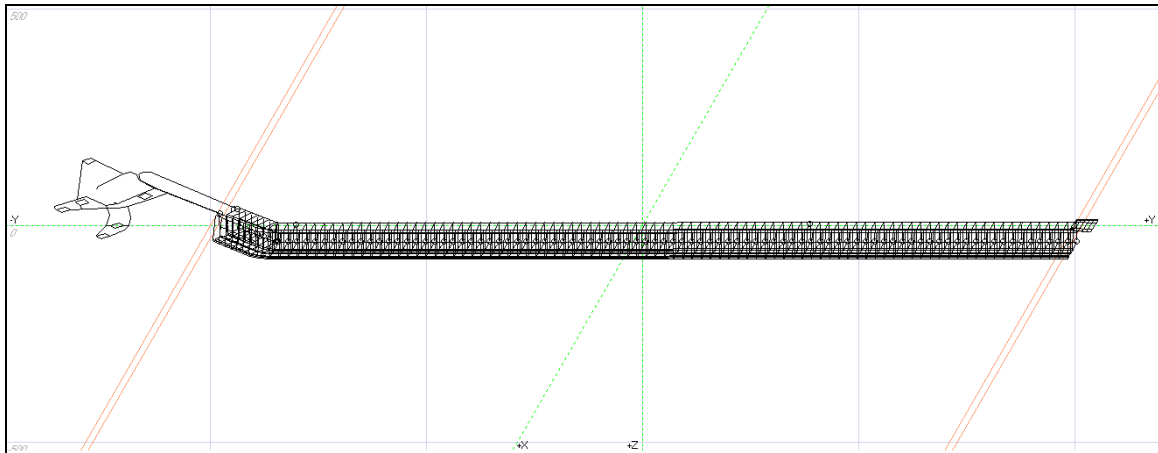


Figura 2.1: estrutura de aterramento da UHE Santo Antônio (barragem com cerca de 2000m).

3.0 - MODELOS ELÉTRICOS DA LITOSFERA (CROSTA TERRESTRE + MANTO SUPERIOR)

Uma modelagem elétrica simplificada da crosta terrestre foi proposta por Kimbark [Ref. 1] em 1971, tendo em vista o projeto de eletrodos de aterramento de sistemas HVDC, com o seguinte modelo genérico de três camadas:

- 1ª camada – resistividade média (10 a $10^4 \Omega.m$) - com até 10 quilômetros de profundidade, composta por solo e rochas com fissuras e poros, contendo água com sais minerais dissolvidos, que atua como um eletrólito fraco;
- 2ª camada – resistividade elevada (10^4 – $10^8 \Omega.m$) – com espessura da ordem de 10 a 30 km, consistindo de rocha submetida à tamanha pressão, que os poros e fissuras estão compactados e contém pouquíssima água;
- 3ª camada – resistividade baixa (1 a $100 \Omega.m$) – até a interface crosta-manto, as rochas são condutivas devido à alterações físico-químicas decorrentes de temperatura e pressão elevadas.

Kimbark relata que medições feitas na Suécia, com eletrodos espaçados de até 1100 km, revelaram um modelo de solo consistente com o modelo proposto:

- 1ª camada (crosta) – $4000 \Omega.m$ – 1 km de espessura;
- 2ª camada (crosta) – $14000 \Omega.m$ (granito) – espessura de 30 km; e
- 3ª camada (manto) – $800 \Omega.m$ – infinita.

Mais recentemente (2007) Thunehed [Ref. 6] propôs um modelo de solo genérico estratificado em 4 camadas, também tendo em vista o projeto de eletrodos de aterramento de sistemas de transmissão HVDC:

- 1ª camada – solo superficial - material não consolidado e seco, de resistividade média (areia, argila etc.), com 10 a 40 m de espessura;
- 2ª camada – subsolo - sedimentos mais antigos, consolidados, dentro do lençol freático, de baixa resistividade - 40 a $200 \Omega.m$, com 50 a 1000m de espessura;
- 3ª camada – embasamento rochoso - composto de granitos, gnaisses e rochas semelhantes, de elevada resistividade - 2500 a $25000 \Omega.m$, com 5 a 100 km de espessura; e
- 4ª camada – litosfera - camadas inferiores da crosta e camada superior rígida do manto – de 500 a $5000 \Omega.m$.

A diferença entre os modelos de Kimbark e de Thunehed é que este último dividiu a 1ª camada do Kimbark em duas – sedimentos não consolidados e consolidados. Os modelos acima servem apenas para apresentar a estrutura básica da crosta terrestre, com as faixas esperadas dos parâmetros envolvidos (espessura das camadas e correspondentes resistividades). Para um local específico, onde estiver sendo construído um determinado empreendimento, apenas uma campanha de medições com recursos de geofísica poderá estabelecer o modelo de solo adequado para a elaboração dos estudos de aterramento.

A literatura moderna na área de geofísica, reporta a crosta terrestre como sendo resistiva com “anomalias condutivas”, estas últimas caracterizadas por bacias sedimentares saturadas de água, volumes de solo

preenchidos por fluidos salinos hidrotermais, veios interconectados de minerais condutivos (grafite etc.) ou ainda bolsões de magma na crosta.

Já o manto é condutivo devido a mudanças de fase (alterações na estrutura cristalina) nos minerais silicatos que o compõem, em virtude das elevadas pressões e temperaturas ali existentes, e à hidratação destes minerais, que absorvem os íons hidrogênio (H) e hidroxila (OH), resultantes da dissociação das moléculas de água.

4.0 - CIRCULAÇÃO DE CORRENTES ALTERNADAS DE BAIXA FREQUÊNCIA NO SOLO

No caso de uma linha monofásica de corrente alternada ou, mais tipicamente, uma linha de transmissão trifásica em condição de curto-circuito fase-terra em uma das suas extremidades, tem-se que o circuito fecha-se pelo solo, com a corrente circulando entre os dois pontos de aterramento, acompanhando o traçado da linha. Este efeito faz com que a corrente tenda a circular distribuindo-se a partir da superfície, conforme ilustrado na figura 4.1b, onde se pode observar que a seção de solo (área A1) por onde circulará a corrente será inversamente proporcional à frequência da corrente alternada. É interessante observar na Figura 4.1, que para uma mesma frequência, a área A1 cresce com a resistividade do solo de tal modo, que a sua resistência permanece constante.

A seção de solo envolvida na circulação de correntes alternadas de retorno pode ser avaliada por dois parâmetros, a profundidade de penetração (δ) e a profundidade equivalente de retorno (De), que podem ser calculados pelas expressões constantes da figura 4.1. O parâmetro δ caracteriza o efeito "skin", que se manifesta sob a forma de redução na profundidade de penetração da corrente no solo, e representa a profundidade (em metros) em que a densidade de corrente por unidade de seção de solo é reduzida pelo fator $1/e = 1/2,718 = 0,3679$. Este decaimento exponencial da densidade de corrente também se manifesta lateralmente, definindo a largura da faixa de circulação de corrente sob a LT, podendo-se dizer que a densidade de corrente no solo será desprezível a uma distância superior a 3δ , para cada lado do eixo da linha.

Tabela 4.1 - profundidades de penetração da corrente (δ) e equivalente de retorno (De), em metros, em função da resistividade do solo (ρ) e da frequência (f).

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi\mu_0 f}} = 503 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad De = 658 \sqrt{\frac{\rho}{f}}$$

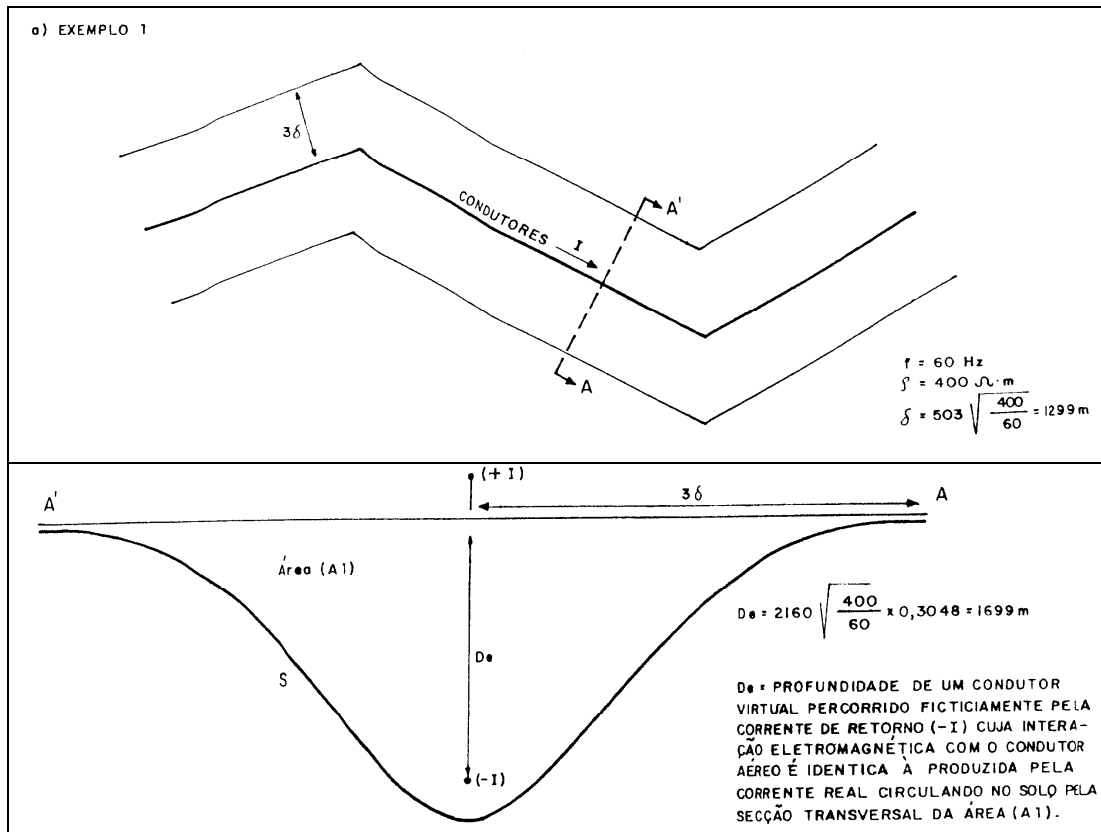


Figura 4.1 - padrão de circulação de corrente de retorno pelo solo de uma linha de transmissão em baixa frequência.

De é um termo conhecido como Profundidade Equivalente de Retorno, e fisicamente representa a profundidade de um condutor virtual que transporta a corrente de retorno $-I$, cuja interação eletromagnética com o condutor aéreo da LT é idêntica à produzida pela corrente que circula pela seção transversal de solo (área A_1), e que acompanha o traçado da LT, conforme ilustrado na figura 4.1. Este parâmetro tem origem na formulação de Carson, para a correção de parâmetros de linhas de transmissão para um solo não ideal (de resistividade não nula).

Estes conceitos, fundamentais para o cálculo de parâmetros longitudinais de linhas de transmissão (resistência e indutância), são influenciados pela resistividade do solo na região por onde a linha passa. A aplicação destas expressões para a corrente contínua ($f = 0$) resulta em valores infinitos para estes dois parâmetros, o que pode ser interpretado como o desacoplamento entre os eletrodos situados nas duas extremidades da linha HVDC.

O exemplo apresentado na figura 4.1 demonstra que se a resistividade do solo sob uma linha de transmissão que passa por uma área de bacia sedimentar, com resistividade equivalente do solo de $400\Omega.m$, então as profundidades de penetração da corrente e de retorno desta linha serão, respectivamente, da ordem de 1300m e 1700 m. Se por hipótese esta linha estiver passando diretamente sobre um embasamento cristalino, com resistividade equivalente do solo de $10.000\Omega.m$, então as profundidades de penetração da corrente e de retorno desta linha serão, respectivamente, da ordem de 6.500 m e 8.500 m. Na prática a análise é mais complexa, pois o subsolo nunca tem resistividade uniforme, apresentando camadas e volumes de diferentes resistividades, em função das características geológicas da região.

5.0 - MODELOS DE SOLO PARA A UHE SANTO ANTÔNIO

Em outubro de 2009 foram realizadas medições de resistividade do solo em nove pontos, sendo seis na margem direita e seis na margem esquerda. As medições foram realizadas com espaçamentos de 1, 2, 4, 8, 16, 32 e 64 metros (exceto nos pontos 1 e 6, onde não foi possível um alinhamento de 64 metros), com o arranjo Wenner, totalizando 63 valores medidos. Um modelo de solo preliminar, obtido com base apenas nestas medições, resultou na adoção do seguinte modelo de solo de dupla camada:

- solo – $700\Omega.m$, com 4m de espessura; e
- subsolo – $2200\Omega.m$.

A Figura 5.1 apresenta o perfil de profundidades do embasamento rochoso ao longo do eixo da UHE, onde se pode observar que este é mais raso no meio da calha do rio, aprofundando-se em direção às duas margens. Esta figura apresenta também os pontos de sondagem realizados ao longo do eixo da UHE, de onde foi extraída a profundidade média de 30m para o embasamento rochoso.

Em uma segunda etapa de modelagem do solo foram eliminados alguns dos valores medidos, que apresentavam desvios significativos para a média dos demais valores de mesmo espaçamento. Dos valores restantes foi obtida uma curva média de resistividades aparentes, por meio da média geométrica dos valores medidos para cada espaçamento, e o modelo de solo estratificado em três camadas (Figura 5.2). Este modelo de solo é compatível com a estrutura do solo local, conforme descrito pelos relatórios da geotecnia, e apresenta desvio médio inferior a 2,5% com relação aos pontos da curva média, o que revela um excelente ajuste.

Este modelo, combinado com o substrato rochoso (de profundidade média de 30m), resultou no seguinte modelo de solo estratificado em quatro camadas:

- solo superficial (solo coluvionar, residual ou laterítico) – $704\Omega.m$, com 1,6m de espessura;
- subsolo (saprolito) – $1269\Omega.m$, com 14,8m de espessura;
- solo transicional (rocha alterada) – $3249\Omega.m$, com 13,6m de espessura;
- substrato cristalino (granito) – $10.000\Omega.m$, com espessura infinita.

Tendo em vista a avaliação do efeito de um modelo de solo mais completo no estudo do sistema de aterramento da UHE, o modelo de quatro camadas anteriormente obtido foi complementado com um modelo idealizado das camadas mais profundas da crosta terrestre, obtido a partir de medições magnetotélúricas realizadas na região de Porto Velho (ref [3]), que resultou no seguinte modelo estratificado em seis camadas:

- solo superficial – $704\Omega.m$, com 1,6m de espessura;
- subsolo – $1269\Omega.m$, com 14,8m de espessura;
- camada de rocha alterada – $3249\Omega.m$, com 13,6m de espessura;
- crosta superior – $10.000\Omega.m$, com 10 km de espessura;
- crosta intermediária – $1.000\Omega.m$, com 10 km de espessura;
- litosfera - crosta inferior e manto superior – $100\Omega.m$, infinita.

Finalmente foi simulada a UHE no leito do rio (com largura de 2000m e profundidade de 30m), que se encontra engastado em um substrato rochoso de 10.000,00 Ωm .

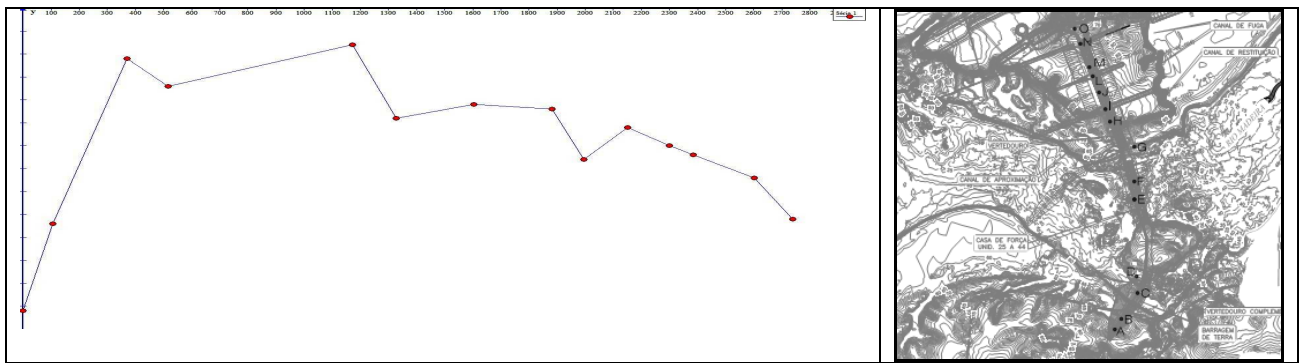


Figura 5.1 – Perfil de profundidades e pontos de sondagem ao longo da UHE ao longo da seção da calha do rio.

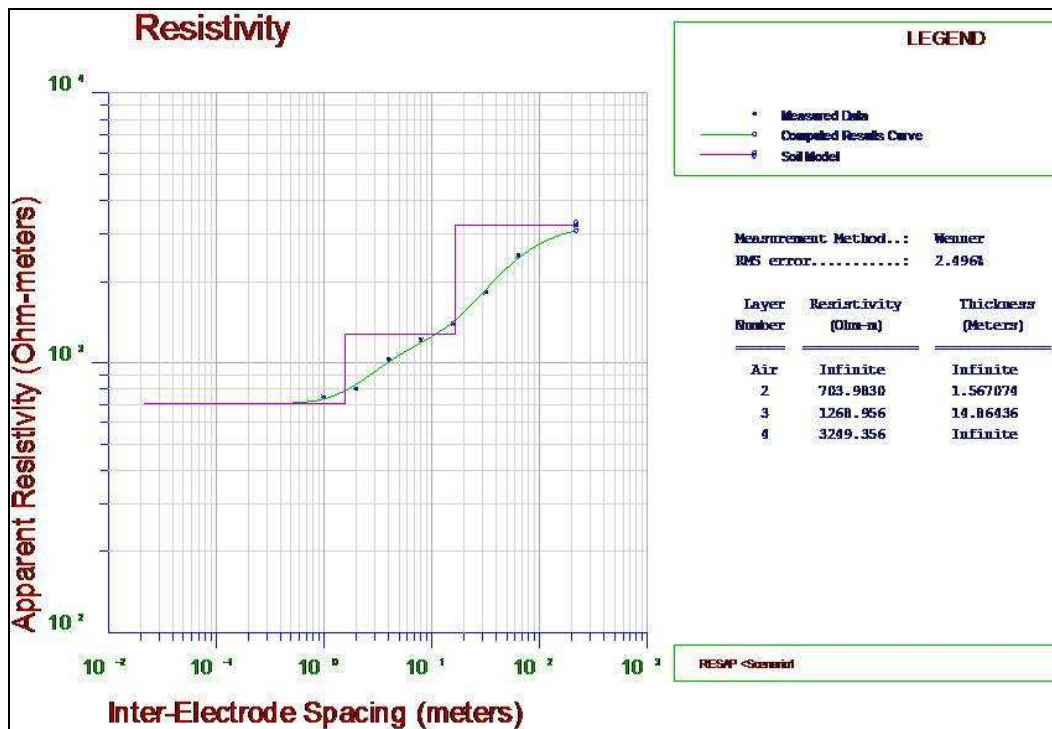


Figura 5.2 – Modelo de solo ajustado para a curva média de resistividades aparentes medidas.

6.0 - CÁLCULO DA RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO E DO GPR DA UHE

As simulações de aplicação de um curto-circuito fase-terra na malha de aterramento da UHE Santo Antônio foram feitas com o programa AutoGrid. A tabela 6.1 apresenta um resumo dos valores de resistência de aterramento calculados para os cinco modelos de solo propostos.

Observa-se que os modelos de solo mais simples (2 e 3 camadas), que não consideram o substrato rochoso, por coincidência resultam em valores para a resistência da UHE, semelhantes ao valor do último modelo de solo, que leva em consideração a influência da água do rio, e que pode ser considerado o mais correto. O modelo de solo que inclui toda a crosta terrestre (de 6 camadas) não resulta em um valor de resistência muito diferente com relação ao modelo que apenas inclui o embasamento cristalino (desvio de apenas 3%).

A figura 6.2 apresenta, para dois diferentes valores de resistência de aterramento da UHE, a distribuição das contribuições para a corrente de falta, assim como a distribuição da parcela de corrente que circula pelo circuito terra (malha da UHE + torres e cabos para-raios das LTs). Verifica-se que ocorre uma compensação entre os valores (resistência de aterramento e corrente de malha), que restringe a variação do GPR ("Ground Potential Rise") = $R_m \times I_m$, mas que ainda assim exibe uma variação significativa:

- $R = 0,89 \Omega$ – $GPR = 0,89 \times 3,5 = 3,1 \text{ kV}$ (100%); e
- $R = 3,26 \Omega$ – $GPR = 3,3 \times 1,4 = 4,6 \text{ kV}$ (148%).

Cabe observar que o cálculo da distribuição da corrente de falta é prejudicado pela não disponibilidade de valores confiáveis de resistência de aterramento dos pés de torres das linhas de transmissão que deixam a UHE. Normalmente, a informação que se tem destes parâmetros são os valores de projeto, que tipicamente são da ordem de 15Ω a 25Ω , dependendo da classe de tensão da LT. Ocorre que é muito difícil a obtenção destes valores de resistência de pé de torre em locais de elevada resistividade do solo (como é o caso da região de Porto Velho), e que os projetos são feitos com modelos de solo otimistas (como pode-se constatar na tabela 6.1 para os dois primeiros modelos de solo, de duas e três camadas).

O efeito de um maior valor de resistência de aterramento para os pés das torres próximas à UHE será o de aumentar a parcela da corrente de falta que será dissipada para o solo localmente pela estrutura da UHE. Tem-se, portanto, que o GPR provavelmente será um pouco mais alto do que os $3,1 \text{ kV}$ calculados.

Tabela 6.1 – valores de resistência de aterramento da UHE Santo Antônio, calculados para cinco modelos de solo, sucessivamente mais completos.

Descrição das Camadas	Nº de Camadas	Resistência
solo + subsolo	2	$0,89 \Omega$
solo + subsolo + rocha alterada	3	$1,37 \Omega$
solo + subsolo + rocha alterada + embasamento rochoso	4	$3,26 \Omega$
solo + subsolo + rocha alterada + embasamento rochoso + litosfera	6	$3,15 \Omega$
embasamento rochoso de $10.000 \Omega\text{m}$ e leito do rio com $30 \Omega\text{m}$	-	$1,00 \Omega$

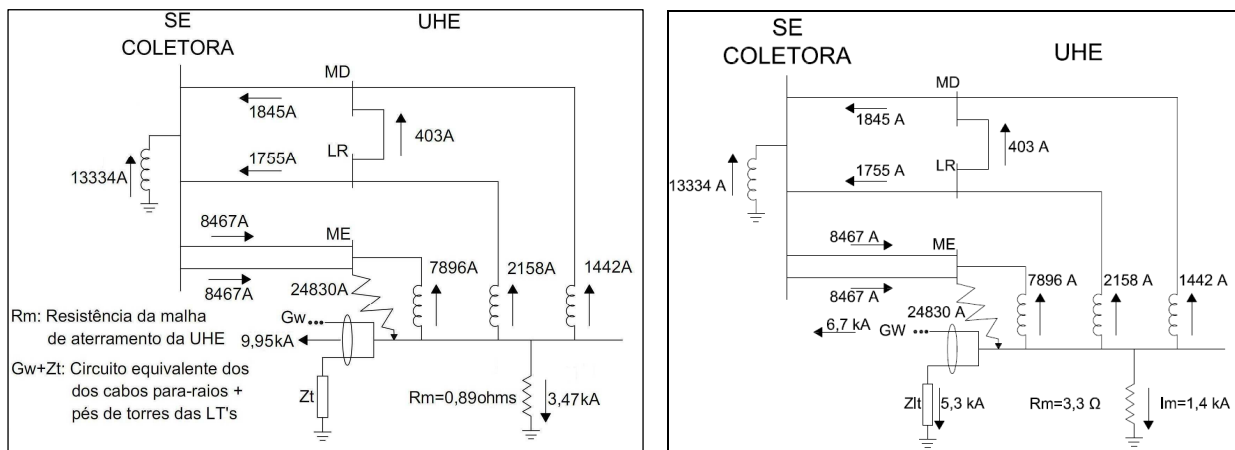


Figura 6.2 – distribuição das correntes pelo circuito terra para dois diferentes valores calculados de resistência de aterramento da UHE.

7.0 - CONCLUSÃO

A análise apresentada neste trabalho revela que a parcela da corrente de curto-circuito que retorna para o sistema supridor após fluir da malha de aterramento para o solo, tende a penetrar profundamente nas camadas do solo, em função da dimensão da malha e da estrutura de resistividade elétrica do solo.

O conhecimento da geologia local e a disponibilidade de um modelo de solo que inclua o efeito do embasamento rochoso são fundamentais para a modelagem de malhas de aterramento de instalações de grandes dimensões, tais como as malhas dos modernos complexos de geração de energia (usinas hidroelétricas e parques eólicos), assim como para subestações de grande porte e complexos industriais extensos (petroquímicas etc.).

Considerando que as medições de resistividade do solo para projetos de aterramento de instalações em geral, nunca são feitas com espaçamentos superiores a 64m , tem-se que os modelos de solo usualmente obtidos são inadequados e frequentemente otimistas, pois somente são capazes de representar as camadas superficiais do solo, que constituem uma parcela pequena do volume de solo efetivamente envolvido no processo de dissipação de correntes de curto-circuito para a terra. Esta constatação vale, inclusive, para o cálculo das resistências de pés de torres das linhas de transmissão.

Neste aspecto vale lembrar que as sondagens realizadas pela geotecnia para o projeto civil, costumam fornecer importantes subsídios para a elaboração do modelo de solo, conforme foi feito neste projeto.

A obtenção de modelos de solo multicamadas, representativos das camadas mais profundas da crosta terrestre, é perfeitamente possível com a utilização de técnicas de geofísica, recurso que já é aplicado em projetos de aterramento específicos, como os de eletrodos de sistemas de transmissão em corrente contínua (Ref [3]). A recente revisão da norma ABNT NBR-7117, publicada em 2012, apresenta embasamento normativo para atender aos requisitos específicos dos projetos de aterramento de instalações de grande porte.

A combinação de modelos de solo que atinjam profundidades compatíveis com as dimensões dos complexos de geração de energia e industriais, e de recursos computacionais que sejam capazes de simular solos de geometria complexa (como é o caso do leito do rio) ou com várias camadas de diferentes resistividades, permitirá a elaboração de estudos de aterramento mais precisos, seguros e econômicos.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) "Direct Current Transmission" - E. W. Kimbark, John Wiley & Sons (1971)
- (3) "Geophysical and geological pre-investigations for HVDC-electrodes" - H. Thunehed (GeoVista AB), U. Åström e B. Westman (ABB), IEEE PES PowerAfrica 2007 Conference and Exposition, Johannesburg, South Africa, 16-20 July 2007
- (3) Primeiro Bipolo do Sistema de Transmissão das Usinas do Rio Madeira - Eletrodos de Aterramento - Investigações Geológicas e Critérios de Projeto – Paulo Edmundo Freire e outros, XXII SNPTEE, out./2013
- (4) Reinhold Rudenberg, Fundamental Considerations on Ground Currents, ANSI/IEEE Std. 80-1986 – Appendix H, p. 241-284.

9.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Paulo Edmundo da Fonseca Freire (paulofreire@paiolengenharia.com.br), Diretor da ELETRO-ESTUDOS Engenharia Elétrica Ltda. (PAIOL Engenharia - 19 3844-4488). Engenheiro Eletricista (1978) e Mestre em Sistemas de Potência (1984) pela PUC-RJ. Curso "Grounding & Eletromagnetic Fields" na Safe Engineering Services & technologies Ltd. (1994, Montreal, Canadá). Mais de 30 anos de experiência em estudos e projetos de sistemas de aterramento e de proteção contra descargas atmosféricas para redes de energia (SEs, LTs, Usinas Hidroelétricas, Termelétricas e Eólicas, Sistemas HVDC) e instalações comerciais, industriais e de transportes (metrô, monorail e ferrovia). Ex-professor da Universidade Gama Filho (RJ) e instrutor/palestrante de cursos e eventos sobre os temas aterramento e proteção contra descargas atmosféricas. Revisor dos temas aterramento e proteção contra descargas atmosféricas nos livros "Instalações Elétricas" do prof. Helio Creder (15/16ª Ed.) e do prof. Arnaldo Niskier (5ª Ed.), e autor de inúmeros trabalhos apresentados em congressos e seminários. Serviços prestados no Brasil, Angola e Chile.



Vera Lúcia F. Gribel Soares (vera.gribel@pcebr.com.br), Engenheira de projetos da PCE Engenharia e Consultorias de Engenharia Ltda (21 3554-5811). Engenheira Eletricista (1978) pela UVA, com cursos de especialização na FUPAI – EFEI, MG nas seguintes áreas: Projetos de Subestações; Proteção de Sistemas Elétricos; Comando e Proteção em BT e Projetos Industriais pela NTT. Com experiência de mais de 30 anos em projetos elétricos de consultoria, tendo prestado serviços em diversas empresas do setor (Sondotécnica, IESA, Engevix, Projectus, etc.), destacando-se os projetos de Usinas Hidroelétricas, Subestações e Sistemas de Abastecimento e Tratamento de Água. Com serviços prestados no Brasil, Angola, República Dominicana.



Marco Aurélio de Lima (marcolima@paiolengenharia.com.br), Técnico da ELETRO-ESTUDOS Engenharia Elétrica Ltda. (PAIOL Engenharia - 19 3844-4488). Eletrotécnico (ETEC Bento Quirino 2005), estudante de Eletroeletrônica (Cotuca – Unicamp) e Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário Salesiano – São José. Desde 2005 atuando e participando de estudos, projetos, medições e laudos de sistemas de aterramento e de proteção contra descargas atmosféricas para redes de energia (SEs, LTs, Usinas Hidroelétricas, Termelétricas e Eólicas, Sistemas HVDC) e instalações comerciais, industriais e de transportes (metrô, monorail e ferrovia).