

Grupo de Estudo de Subestações e Equipamentos de Alta Tensão-GSE

Considerações sobre projetos de aterramento para sistemas de corrente alternada e de corrente contínua

**FERNANDO CHAVES DART(1); CARLOS KLEBER DA COSTA ARRUDA(2); PATRICIA DE LUGÃO(3);
BERTHOLD KRIEGSHÄUSER(3); JOÃO IGNÁCIO DA SILVA FILHO(1);
JISF1(1); CEPEL(2); Strataimage(3);**

RESUMO

O informe técnico (IT) apresenta considerações sobre práticas usuais em projetos de aterramento, especificamente no que diz respeito a medições, modelagem do solo e cálculo de parâmetros relevantes, aplicável tanto em instalações de corrente alternada quanto de corrente contínua. Através de recursos modernos pode-se obter um conjunto de resultados que permitem uma visão ampla do projeto. Como exemplo são apresentadas algumas aplicações recentes, como eletrodos de terra CCAT e injeção de correntes impulsivas em laboratório.

PALAVRAS-CHAVE

Aterramento, eletrodo de terra CCAT, método magnetotélúrico, estratificação do solo.

1.0 - INTRODUÇÃO

Num projeto de aterramento a modelagem do solo é de importância fundamental e diversos motivos podem levar a um desvio significativo entre valores de projeto e as grandezas medidas [1]. A título de exemplo, no sistema da subestação de Foz do Iguaçu, o valor da resistência de aterramento medida apresentou um valor cerca de 280% inferior ao valor calculado, cabe observar que, quando da fase de projeto as medições de resistividade do solo efetuados na região foram feitas pelo método de Wenner, com espaçamentos entre eletrodos variando de 1 m até 81 m, tendo sido estabelecido modelo de solo homogêneo [2], o dimensionamento da malha foi desenvolvido por um método apresentado por Heppe [3]. A discrepância do valor da resistência de aterramento foi atribuída ao modelo do solo considerado, cabe observar que as dimensões da subestação são da ordem de 1,5 km².

O modelo de solo do eletrodo de retorno de Foz do Iguaçu foi desenvolvido a partir de medições de resistividade do solo feitas na região do eletrodo pelos métodos de Wenner e de Schlumberger e de algumas medições de resistividade do solo feitas nas proximidades da região pela Paulipetro em prospecções petrolíferas feitas pelo método de Schlumberger com os eletrodos de medição dispostos na vertical e que constatou que o perfil de solo na região do Rio Paraná apresenta características de uma bacia sedimentar [4]. Ambos os casos apresentam desempenho adequado.

A mesma técnica de projeto empregada no sistema de transmissão de Itaipu foi utilizada no projeto do eletrodo de retorno do bipolo 2 do projeto do rio Madeira, originalmente situado a 17 km da estação conversora. Para os dados disponíveis, o eletrodo do bipolo 2 se mostrou adequado, fato que não se confirmou durante o seu comissionamento. O modelo de solo considerado, por ter sido obtido por medições de resistividade rasas, não permitiu identificar as reais características do solo nas camadas mais profundas, demonstrando a necessidade de medições mais extensas e uma modelagem integrada.

O novo local para o eletrodo do bipolo 2 considerou medições de resistividade do solo empregando os métodos Magnetotelúrico e Áudio-Magnetotelúrico em uma área extensa, de acordo com o perfil geológico previamente conhecido, permitindo estabelecer um modelo de solo abrangente, e com confirmação do novo local com um eletrodo protótipo.

Por outro lado, o projeto do bipolo 1 empregou medições profundas pontuais, resultando em uma instalação a 60 km da estação conversora.

O artigo descreve a metodologia que ajudou determinar o segundo local do eletrodo de retorno do bipolo 2 do sistema de transmissão do rio Madeira e que pode ser aplicada em sistemas de aterramento de grande porte tanto em corrente alternada quanto em corrente contínua, estabelecendo dessa forma projetos mais precisos e mais econômicos para sua implantação. Também é apresentado um modelo alternativo, aplicável para estudos de alta frequência.

2.0 - MODELAGEM

2.1 Medições e modelos de solo

O levantamento do modelo de solo é devidamente tratado em normas [5, 6], assim como o projeto das malhas de terra [7, 8]. Antes dos cálculos computacionais, era comum o uso de ábacos, como visto nas referências seminais [9, 10], com desenvolvimento meticuloso, mas limitadas na aproximação estratificada do solo.

O desempenho do aterramento para altas frequências é conhecido, sendo mencionado inclusive na norma ABNT [11], mas a obtenção dos parâmetros do solo nesta faixa é praticamente limitada no meio acadêmico, e.g. [12].

O levantamento de um modelo de solo não é restrito a Wenner – outros métodos de medição são o de Schlumberger, dipolo-dipolo, polo-dipolo e suas variações. Deste grupo, denominados de sondagem elétrica vertical (*vertical electrical sounding* - VES), são limitados aos comprimentos dos cabos. Outros métodos indiretos de sondagem utilizam campos eletromagnéticos, como o magnetotelúrico, aéreas, sísmica ou campos potenciais, como gravidade e magnetismo. Os métodos diretos consistem em perfurações para obtenção dos dados *in loco* ou na extração de amostras. Independentemente do método, deve-se sempre considerar o uso dos mapas geológicos da região.

Os modelos devem considerar variações estatísticas, não só da precisão dos aparelhos, mas também sobre a sazonalidade da região, incluindo os efeitos de temperatura e umidade no solo.

O método Magnetotelúrico (MT) e a variante, Áudio-Magnetotelúrico (AMT) [13-16], medem o campo eletromagnético natural da superfície da Terra, permite obter um tensor de impedância. Ambos os métodos verificam a variação temporal dos campos, cobrindo um intervalo aproximado de 10^{-3} a 10^4 Hz. No AMT, as principais fontes são as tempestades equatoriais, enquanto na MT a interação do campo magnético da terra com o vento solar. Ambos os métodos são não passivos e não provocam intervenção na natureza.

Junto com as medições é desenvolvido um pós-processamento, composto por uma análise espectral utilizando FFT ou DFT, filtragem, edição e processamento robusto para o cálculo dos tensores de impedância.

O processamento da massa de dados consiste em transformar as séries temporais em um arquivo contendo a resistividade aparente no domínio da frequência, entre outros dados relevantes. A etapa seguinte é estabelecer um modelo de subsuperfície 2D.

A inversão 2D assume um modelo mais realista, considerando variações verticais e longitudinais da resistividade. No processo de inversão 2D, todas as estações de medição do perfil contribuem simultaneamente para a construção do modelo de solo.

2.2 Projetos de eletrodos CC

O aumento de projetos em CCAT no Brasil colocou em foco o problema da construção dos eletrodos de retorno. Nos sistemas bipolares, sua condição nominal é que toda a potência se transmita pelos cabos condutores, no caso de desbalanço ou contingência com um polo, é necessário realizar o retorno pelo solo.

A diferença fundamental entre um eletrodo CC para CA é o ciclo de operação (podendo chegar a milhares de amperes durante várias horas). Esta forma de operação demanda que se observe a densidade de corrente nos elementos energizados, em contato com o solo. Outro ponto importante é da interferência – ao desprezar as indutâncias, a corrente no solo penetra nos enrolamentos dos transformadores pelos neutros aterrados, provocando a saturação dos núcleos. Este e outros aspectos podem ser vistos em [17, 18].

2.3 Aplicação do método de elementos finitos

O estudo de eletromagnetismo envolve grandezas elétricas como campo elétrico, potencial elétrico, campo magnético, potencial magnético, etc. Essas grandezas são utilizadas no comportamento de diversos fenômenos e

de dispositivos elétricos. Neste contexto a modelagem geralmente é feita a partir de equações diferenciais parciais de segunda ordem que em geral não são de solução trivial. O método dos elementos finitos (MEF), desenvolvido na década de 1960, devido as suas características como flexibilidade do método em problemas complexos e precisão dos resultados, originário na mecânica, possui grande aplicação no eletromagnetismo, e.g. [19, 20].

Alguns problemas envolvem o cálculo de potenciais elétrico e magnético, logo podendo ser representados pela equação de Laplace. Em particular para o caso de elementos em um meio resistivo, com uma injeção externa representada por uma densidade de corrente \mathbf{J}_e , obtém-se o seguinte sistema:

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} + \mathbf{J}_e \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{J} = 0 \quad (2)$$

$$\mathbf{E} = -\nabla V \quad (3)$$

Para um estudo no domínio da frequência, as componentes capacitivas podem se tornar significativas, trocando-se a equação (1) por:

$$\mathbf{J} = (\sigma + j\omega\epsilon)\mathbf{E} + \mathbf{J}_e \quad (4)$$

Sendo esta a modelagem no domínio da frequência, assumindo agora grandezas complexas representativas de fasores. Os parâmetros do solo, condutividade σ e permissividade ϵ , podem ser variáveis no espaço e no tempo, ou relacionados com outras grandezas como temperatura e umidade, de acordo com a disponibilidade de dados. O parâmetro de entrada principal é a densidade de corrente \mathbf{J}_e , a ser obtido da corrente injetada total em uma malha de terra. A resposta do sistema aterramento, representada por sua impedância, será a relação entre tensão em corrente em um nó específico.

Como exemplo teórico, pode-se emular o método de Wenner, cuja premissa de solo idealmente estratificado, em uma análise de comportamento na presença de um solo irregular [21], conforme visto na Figura 1 pode-se constatar uma baixa influência, mesmo para um corpo com resistividade muito superior ao meio a sua volta. Este exemplo percebe-se como é possível investir em problemas inversos, sabendo-se previamente o mapa geológico da região, pode-se convergir para um mapa de resistividade em um tempo relativamente curto.

A resposta em frequência pode assumir o modelo do solo variável, sendo sabido que suas propriedades elétricas (para campos moderados, abaixo do limite de ionização) são dependentes da frequência [12].

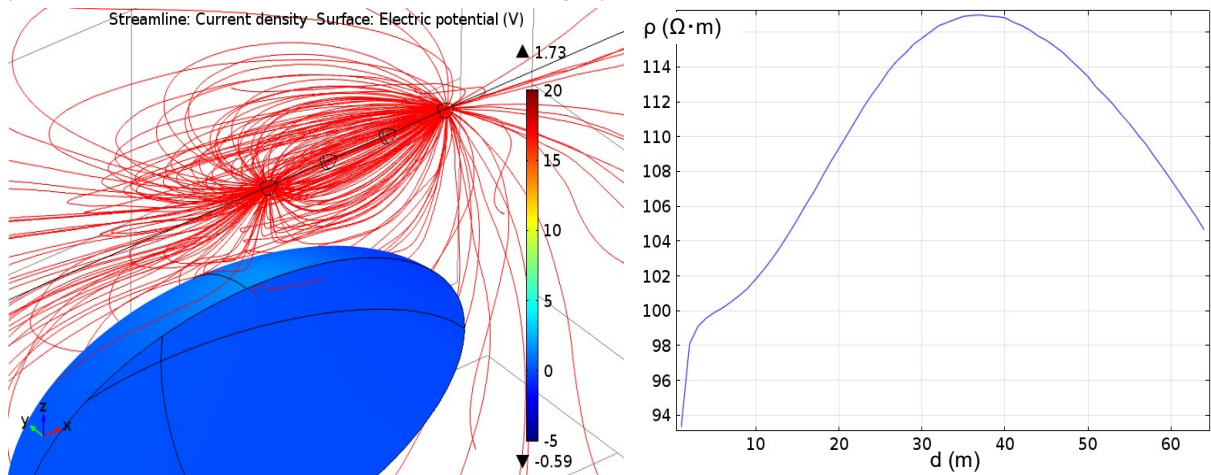


Figura 1 – Efeito de um elemento representativo de uma “rocha”, de alta resistividade, em uma simulação de medição por Wenner (resistividades: meio 100 $\Omega \cdot m$, rocha $10^6 \Omega \cdot m$, mapa de cores de potenciais somente na superfície da rocha) [21]

2.4 Método dos Momentos

O estudo em CC permite a representação do solo pelas suas componentes resistivas. Este modelo pode ser aplicado na frequência fundamental, denominado como aproximação quasi-estacionária. Conforme se eleva a frequência dos fenômenos envolvidos, métodos como de elementos finitos tendem a ficar numericamente onerosos, devido a necessidade de malhas muito densas. Uma alternativa para viabilizar o modelo é o uso de sistemas sem malha. Neste caso considera-se o meio do solo como homogêneo, sendo uma aproximação plausível se observar que os efeitos em causa se tornam mais localizados. Um exemplo é o método dos momentos, e.g. [22], aonde o sistema é definido como uma série de segmentos filamentos interconectados. O sistema implementado considera tanto as malhas de terra quanto as estruturas acima do solo, assumindo suas interações eletromagnéticas mútuas.

3.0 - APLICAÇÕES

3.1 Estudo em Eletrodo de retorno CCAT

O estudo do Eletrodo do Bipolo 2 do Complexo do Rio Madeira empregou uma visão sistêmica [23], envolvendo todas as medições de solo e malhas de terra, não só da estação conversora, mas das usinas e subestações

adjacentes. A partir destes modelos e do conhecimento preliminar da geologia local, definiu-se campanhas de medição MT em um raio de 80 km, obtendo-se um conjunto de perfis 2D, que foram interpolados em um perfil 3D da região.

Durante três levantamentos, foram adquiridos 58 estações de AMT e MT. A Figura 2 mostra os pontos de levantamento.

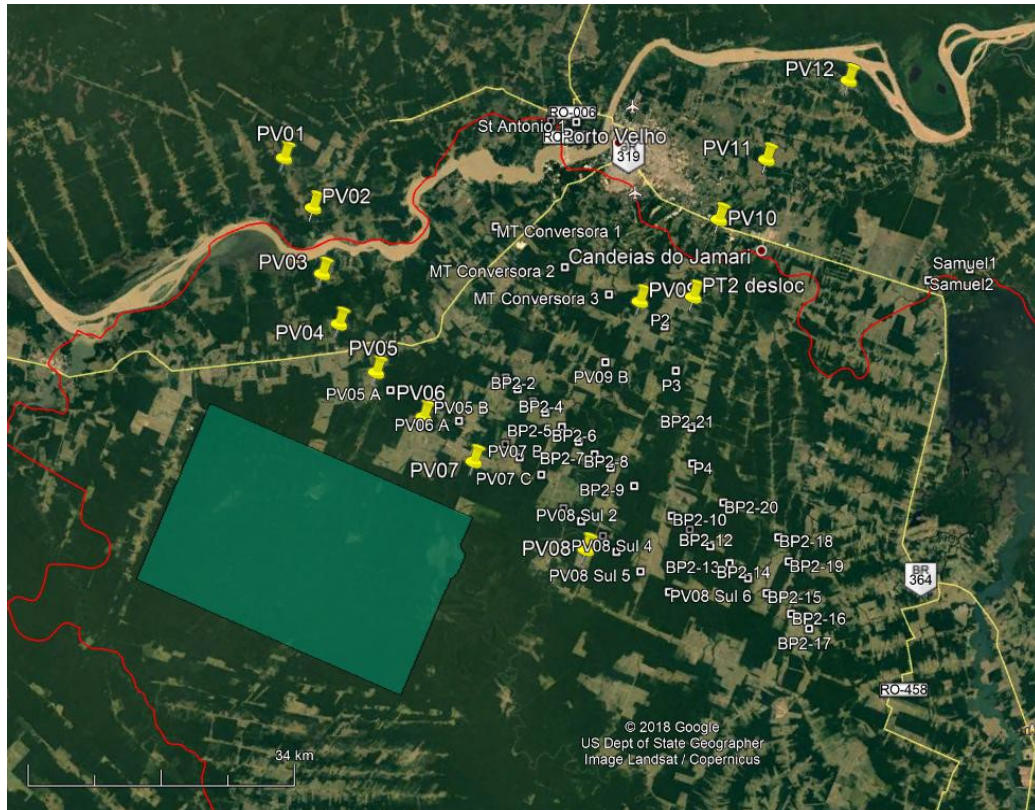


Figura 2 – Locações dos 58 estações de AMT e MT (mais 2 pontos próximos a UHE Jirau, fora do quadro).

Considerou-se a topologia do sistema e suas variantes, e a partir dos valores de corrente obtidos no comissionamento determinou-se um novo ensaio, desta vez obtendo valores de correntes nos transformadores das usinas, subestações adjacentes e para-raios nas primeiras torres de cada linha na subestação conversora. A Figura 3 ilustra a execução das medições. Como todos esses dados, pode-se testar diversas hipóteses.



(a) Antenas MT



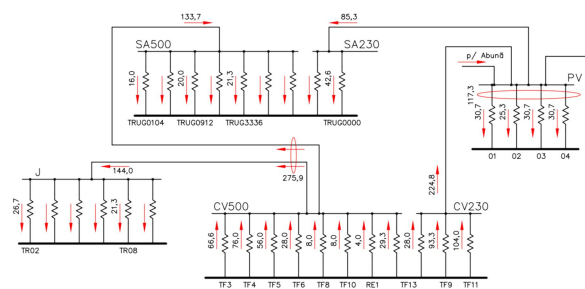
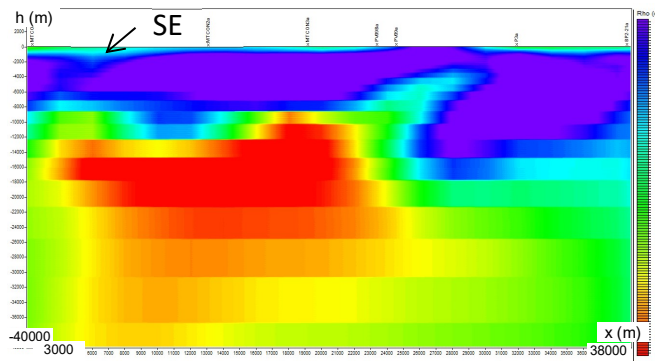
(b) Corrente CC no neutro



(c) Corrente CC nos cabos para-raios

Figura 3 – Alguns aspectos de medição

Foram levantados 6 perfis de medições de resistividade do solo pelo método MT/AMT para estabelecer os modelos 2D, como por exemplo na Figura 4. Para os resultados sintéticos, foi aplicado um algoritmo de inversão 2D, baseado no método de Tikhonov [15]. Este método impõe variações suaves na resistividade estimada, tanto longitudinal quanto em profundidade.



O modelo MEF incorporou o modelo de resistividade, obtido pela interpolação dos perfis MT, incluindo os modelos de medições rasas existentes, e a partir das locações das malhas e estruturas relacionou-se em um sistema equivalente, aonde pode-se relacionar a topologia dos circuitos com a resposta da corrente induzida em cada malha.

Para a corrente de ensaio (10% da corrente nominal), além das correntes pelos neutros dos transformadores e cabos para-raios das linhas de transmissão, também foram medidos os potenciais no solo a partir do eletrodo de retorno. Estabeleceu-se assim um modelo de circuito, Figura 5, utilizado para calibrar o modelo de solo. As simulações incluíram o eletrodo real para calibração e pontos dispersos na região selecionada, e a hipótese de operação simultânea com o 1º eletrodo. Após o levantamento de diversas alternativas, concluiu-se uma região propícia para um novo eletrodo, Figura 6.

Os resultados incluíram as correntes nos transformadores neutros em CV e nas usinas, correntes nos fios terra, elevação do potencial de terra e densidade de corrente. Por exemplo, a Figura 7 mostra uma injeção de corrente no eletrodo original, considerando as conexões entre as subestações e as torres. Os resultados mostram linhas equipotenciais sobrepostas com a densidade de corrente. O modelo de solo 3D causou uma distribuição de corrente irregular, juntamente com o efeito das conexões, causando uma transferência potencial entre locais, incluindo uma contribuição das fundações das torres. Pode-se inclusive detectar interferências que não foram originalmente previstas, como no sistema de 230 kV da Usina de Samuel.

Após a avaliação das alternativas, optou-se na implementação de um novo eletrodo, desativando o atual. A região escolhida a partir de diversos limitantes, como a proximidade de uma reserva indígena, as próprias estruturas das linhas CCAT, e o eletrodo do bipolo 1; chegando a uma região apropriada conforme Figura 6, sendo a locação final determinada por um eletrodo protótipo [23], cuja injeção preliminar de corrente confirmou seu desempenho.



Figura 6 – Condições de contorno para a escolha do local do novo eletrodo

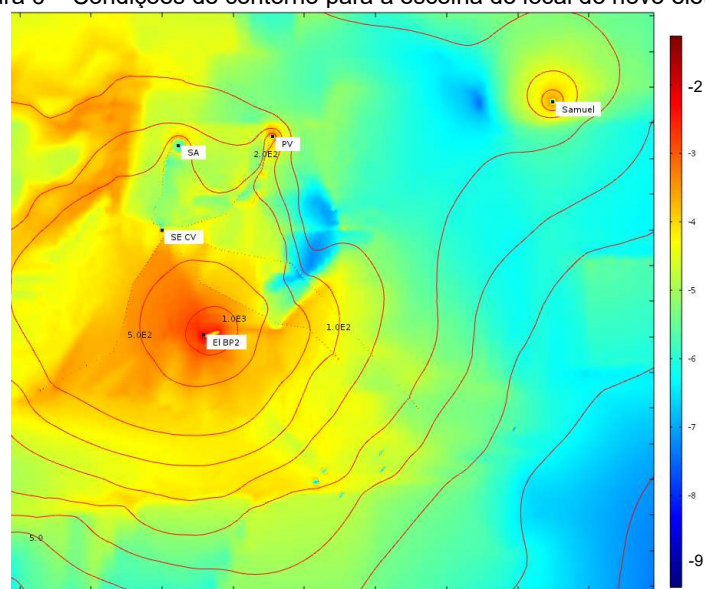
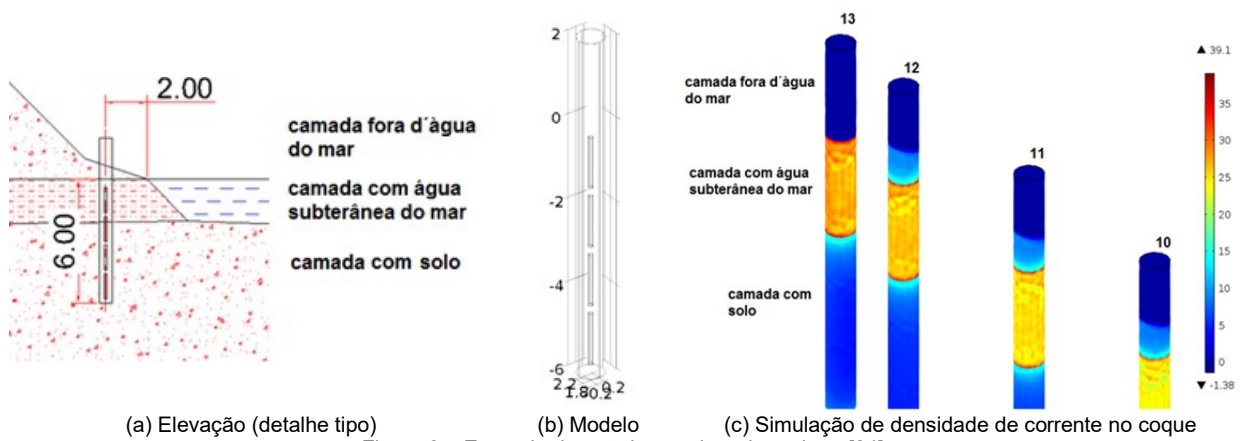


Figura 7 – Exemplo de curvas equipotenciais sobrepostas a densidade de corrente ($\mu\text{A}/\text{m}^2$, escala log), para condição nominal

3.2 Estudo de eletrodo marítimo

A metodologia pode ser aplicada em estruturas enterradas em outros meios, a exemplo do P&D sobre Eletrodo Marítimo [24, 25]. No caso a condutividade da água do mar (incluindo a camada subterrânea) e sua dissipação térmica são favoráveis, obtendo-se projetos bem reduzidos. Alguns limitantes são o campo elétrico obtido no mar, interferências no campo magnético da Terra e o custo, no caso de eletrodos distantes do litoral.

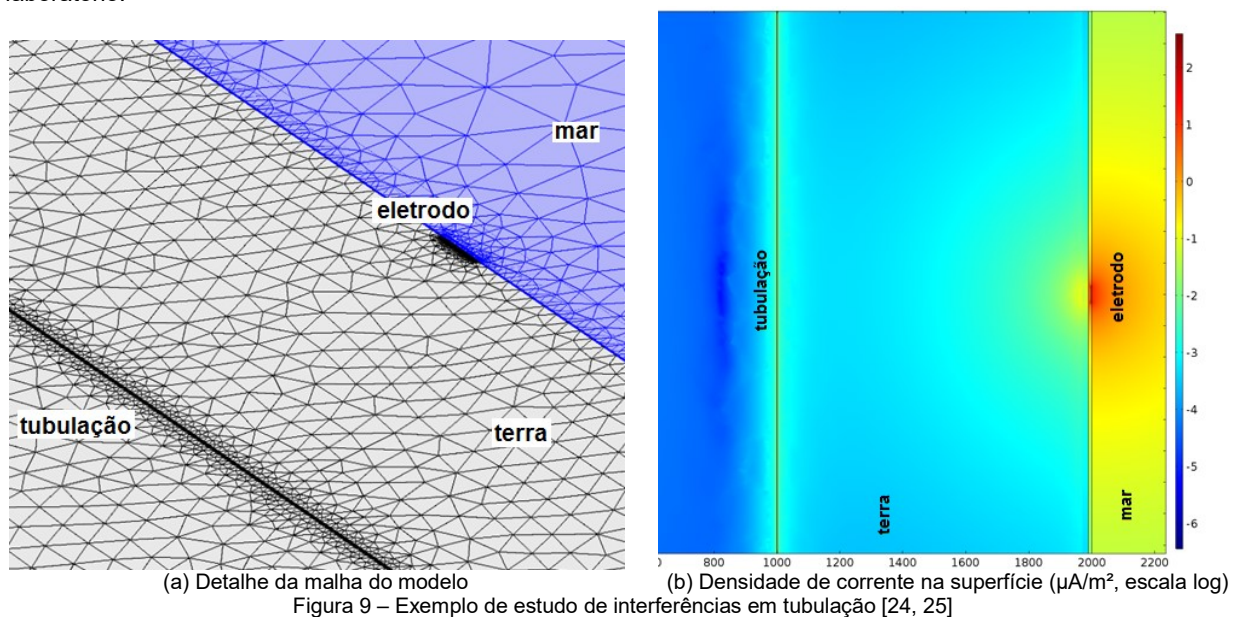
No exemplo da Figura 8, tem-se o exemplo do eletrodo praiano. Procurou-se obter a densidade de corrente no eletrodo em contato com o solo. Neste tipo de eletrodo, bem próximo ao mar, existirão camadas bem distintas, provocando uma distribuição irregular. Neste exemplo teórico pode ser realizado com os recursos providos pelo MEF.



Outra saída obtida foi o efeito de interferência em uma tubulação próxima. O modelo neste caso possuía uma maior diferença entre escalas, devido à relação entre diâmetro e comprimento do tubo, devendo ser respeitada para chegar a uma boa qualidade nos resultados. Na Figura 9, pode-se observar a distribuição da densidade de corrente na superfície do solo e a influência da tubulação, paralela a 1 km da costa.

3.3 Efeito de impulsos em malhas de terra

Como exemplo de um estudo em alta frequência, apresenta-se uma simulação baseada no Laboratório de Ultra-alta Tensão do CEPEL, em Adrianópolis. No laboratório, constatou-se que em algumas configurações específicas o surgimento de oscilações na frente de onda. Desta forma, modelou-se a estrutura do laboratório considerando o *mockup* de uma linha CCAT 800 kV, fontes, eletrodos e o aterramento, Figura 10. Neste modelo, ao contrário do usual para descargas atmosféricas, a injeção de corrente é realizada no gerador de impulso, em um circuito fechado, e a medição é referenciada no secundário do divisor de tensão. Estas propriedades foram consideradas no modelo. A forma de onda de entrada neste exemplo possui um tempo de frente de 5 μ s, conforme obtido no laboratório.



A representação do solo é homogênea, que foi considerada apropriada devido ao efeito localizado do sistema impulsivo, e também se tratando de uma instalação solidamente aterrada.

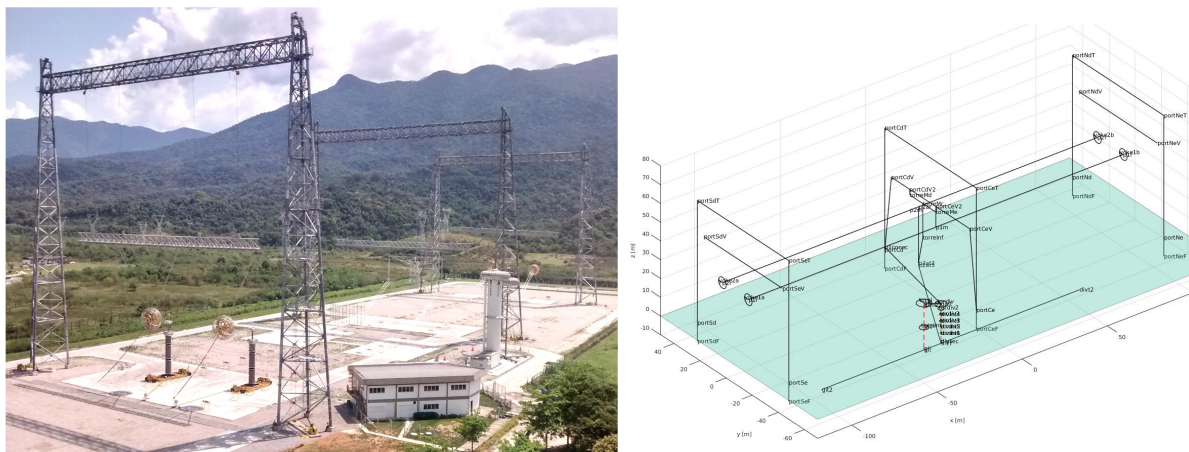


Figura 10 – Laboratório de Ultra-alta tensão e modelagem numérica do ensaio de impulso

A Figura 11 apresenta as tensões no topo do gerador de impulso e do divisor de tensão, reproduzindo a oscilação. Neste caso observa-se o limite da influência do sistema de aterramento, visto que mesmo com todas as estruturas solidamente aterradas ocorre o efeito de propagação entre o gerador de impulso e as terminações da linha de teste. A oscilação na frente de onda corresponde às dimensões da estrutura, considerando que os vãos no laboratório são de 110 m.

4.0 - CONCLUSÕES

A evolução da instrumentação e dos modelos computacionais permitem sua aplicação em instalações de grande porte, como subestações, usinas e eletrodos de retorno. Constatou-se que os efeitos do aterramento não se limitam ao terreno do empreendimento, havendo a necessidade de uma compreensão do solo e evitando “valores sugeridos”, que dificilmente correspondem à realidade.

O MEF permite o estudo de malhas de terra, obtendo-se resultados em qualquer parte da região modelada. Além dos parâmetros usuais (resistência de aterramento, tensões de passo e toque), pode-se relacionar outras grandezas, como campo elétrico e densidade de corrente, com fenômenos como eletroosmose, ionização do solo e indução em estruturas enterradas.

Por outro lado, em se tratando em efeitos impulsivos, o ganho no desempenho ao aumentar a densidade da malha de terra é limitado. Em geral um projeto de malha consegue atender a todo o espectro de aplicação, mas eventuais problemas podem surgir, como interferências, que fogem do escopo de normas.

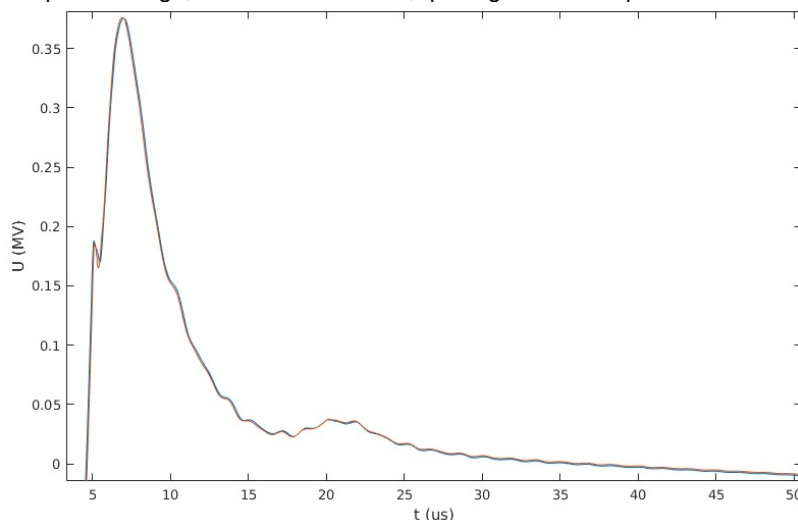


Figura 11 – Tensões no topo do gerador (vermelho) e no divisor (azul).

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Dart, F. C.; Fernandes, C.; Portela, C. M. “Sistemas de Aterramento – Discussão de Aspectos Básicos para Concepção e Dimensionamento Adequados,” GSU/06, XI SNPTEE, Rio de Janeiro, RJ, 1991.
- [2] Peixoto, C. A. O.; Fernandes, D.; Dart, F. C.; Rodrigues, A. F. “Desempenho da Malha de Aterramento da Estação Conversora de Foz do Iguaçu do Sistema CCAT de Itaipu,” GSE/19, VIII SNPTEE, São Paulo, SP, 1986.
- [3] Heppe, R. J. “Computation of Potential at Surface Above an Energized Grid or Other Electrode, Allowing for Non-Uniform Current Distribution,” in IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-98, no. 6, pp. 1978-1989, Nov. 1979.
- [4] Braga, A. C. O. et al. “Geofísica Aplicada no Controle Estrutural na Área do Domo de Piratininga (SP),” Revista Geociências, v. 35, n. 4, p. 598-608, UNESP, 2016.

- [5] ABNT. Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento, NBR 15749, 2009.
- [6] IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System, Std 81, IEEE Standards Association, New York, EUA, 2012.
- [7] ABNT. Sistemas de aterramento de subestações – Requisitos, NBR 15751, 2013.
- [8] IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, Std 80, IEEE Standards Association, New York, EUA, 2013.
- [9] Sunde, E. D. Earth Conduction Effects in Transmission Systems, Dover Publications, New York, EUA, 1968.
- [10] Tagg, G. F. Earth Resistances, George Newnes Limited, London, 1964.
- [11] ABNT. Proteção contra descargas atmosféricas Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida, NBR 5419-3, 2015.
- [12] Gertrudes, J. B.; Tavares, M. C.; Pissolato Filho, J.; Portela, C. M. “Medição e Avaliação da Condutividade e Permissividade no Domínio da Frequência de Amostras de Solo da Região de Cachoeira Paulista SP,” GSC/32, XVIII SNPTEE, Curitiba, PR, 2005.
- [13] Tikhonov, A. N. On determining electric characteristics of the deep layers of the earth's crust. Dokl. Acad. Nauk. SSSR, v. 73, p. 295-297, 1950.
- [14] Chave, A. D.; Jones, A. G. (Ed.). The magnetotelluric method: Theory and practice. Cambridge University Press, 2012.
- [15] Cagniard, L. Basic theory of the magneto-telluric method of geophysical prospecting. Geophysics, v. 18, n. 3, p. 605-635, 1953.
- [16] Gomes, K.C.P.; Corrêa, E.O.; de Lugão, P.P.L.; Kriegshäuser, B.F.; Menezes, A.M.C.; Nunes, D.F.; de Oliveira, A.R.R.; da Rocha, L.M.S., Modelo 2D de resistividade para o Campo de Carmópolis, Bacia SEAL, utilizando o Método Magnetotélico, VIII Simpósio Brasileiro de Geofísica, Salinópolis, 2018.
- [17] CIGRÉ Working Group B4.61, General Guidelines for HVDC Electrode Design, Brochure 675, January 2017.
- [18] IEC. Design of earth electrode stations for high-voltage direct current (HVDC) links – General guidelines, Technical Specification IEC/TS 62344, Edition 1.0, 2013.
- [19] Reddy, J. N., An Introduction to the Finite Element Method, 3rd ed., McGraw-Hill, New York, EUA, 2006.
- [20] Jin, J. M. The Finite Element Method for Electromagnetics, 3rd ed., John Wiley & Sons, Hoboken, EUA, 2014.
- [21] Arruda, C. K. C.; Silveira, A. A.; Vieira, L. C. R.; Dart, F. C., “Study of HVDC Grounding Systems Using Finite Element Methods,” COMSOL Conference, Curitiba, PR, 2015.
- [22] Arruda, C. K. C. “Desenvolvimento de Modelagem para o Desempenho de Linhas de Transmissão Frente a Descargas Atmosféricas,” GSC/12, XVIII SNPTEE, Curitiba, PR, 2005.
- [23] Arruda, C. K. C.; Dart, F. C.; Lugão, P. P.; Kriegshäuser, B., Morais, F. J. B. “Investigations on Interferences caused by Current Injection in HVDC Ground Electrodes at Rio Madeira,” Ground 2018, Pirenópolis, GO, 2018.
- [23] Paol Engenharia. Rio Madeira HVDC System – Porto Velho Bipole 2 – Site 1 Geoelectric Modelling – Electrode 2 Design, 2018.
- [24] Silva Filho, J. I. “P&D ANEEL Eletrodo Marítimo,” Workshop sobre o uso de Eletrodos Marítimos em Elos de CCAT, State Grid, Rio de Janeiro, Março 2017.
- [25] Graham, J.; Guijun, L.; Esmeraldo, P. C. V.; Carmello, M.; Silva Filho, J. I. “Metodologia de Dimensionamento de Eletrodos Marinhos em Sistemas CCAT,” GSE/14, XXIV SNPTEE, Curitiba, PR, 2017.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Fernando Chaves Dart, engenheiro eletricista (1976) pela UFRJ, começou a carreira como engenheiro de Furnas Centrais Elétricas, tornando-se pesquisador do CEPEL entre 1986 e 2017, atuando nas áreas de linhas de transmissão, aterramento e compatibilidade eletromagnética. Atuou na linha de pesquisa das Linhas de Potência Natural Elevada (LPNE), e recentemente gerenciou a implantação do Laboratório de Ultra-alta Tensão em Adrianópolis, RJ. Atualmente trabalha como consultor independente.

Carlos Kleber da Costa Arruda, nascido no Rio de Janeiro, RJ, engenheiro eletricista (1999) pelo CEFET/RJ, D.Sc. (2012) pela COPPE/ UFRJ, pesquisador do CEPEL desde 2000 trabalhando em modelos numéricos de linhas de transmissão, efeito corona, aterramento e descargas atmosféricas. Possui experiência em diversos métodos, como elementos finitos, elementos de contorno, dos momentos e simulação de cargas, com prática de implementação em diversas linguagens, como C++, Java e Fortran.

Patricia Lugão fundou a Strataimage Consultoria Ltda. em 2003. Durante o período 2003 a 2006, a Strataimage trouxe para o Brasil empresas como AGO (Marine Controlled Source Electromagnetics) e Oedegaard (inversão elástica), as duas últimas hoje parte da Schlumberger. Patricia possui experiência em processamento, desenvolvimento de software para modelagem e inversão e interpretação de dados sísmicos e eletromagnéticos, adquiridos durante seu trabalho na Western Geophysical/Schlumberger e Landmark. Possui PhD em geofísica pela University of Utah, mestrado em geofísica pelo Observatório Nacional no Rio de Janeiro e bacharelado em Engenharia Ambiental e de Recursos Hídricos pela University of South Carolina. Patricia liderou os recentes levantamentos MT no Brasil.

Berthold Kriegshäuser é sócio-gerente da Strataimage Consultoria Ltda. Berthold possui mais de 25 anos de experiência na indústria de petróleo e gás tendo trabalhado para a Baker Hughes em Houston e Rio de Janeiro para a CETCO do Brasil. Berthold recebeu o M.Sc. em Geofísica em 1992 pela Universidade de Colônia, na Alemanha, e o Ph.D. em Geofísica pela Universidade de Utah, nos USA em 1997, trabalhando em pesquisa de métodos eletromagnéticos (EM). É autor e co-autor de 22 patentes e mais de 50 artigos relacionados com métodos EM.

João Ignácio da Silva Filho, nascido em Guaratinguetá, SP, engenheiro civil (1978) pela UFRJ, M.Sc. (1981) pela COPPE/ UFRJ na área de recursos hídricos, com especialização em análise estatística de dados pela ENCE. Exerceu por 33 anos atividades profissionais no CEPEL, na

área de linhas de transmissão com ênfase em estudos da ação do meio ambiente em instalações elétricas e vice-versa. Tem várias publicações em seminários e revistas nacionais e internacionais sobre a ação do meio ambiente em LTs, ampacidade determinística e estatísticas de LTs, entre outros.