

Copyright 2010, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2010, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2010.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Melhoramento de solos não corrosivos para uso em aterramento elétrico visando casamento de impedância com o cabo de descida de postes de distribuição.

José Maurílio Silva⁽¹⁾, Edson da Silva Dias⁽²⁾, Célio de Souza Brandão Filho⁽³⁾, Rodolfo Cesar Bathke⁽⁴⁾, Carlos Barros Rodrigues⁽⁵⁾, Dailton P. Cerqueira⁽⁶⁾, Flávio C. Andrade⁽⁷⁾, Rogério Salles⁽⁸⁾, Princia Ap. M. Pereira⁽⁹⁾, Rosane M. Ribas⁽¹⁰⁾, Mário S. Cabussú⁽¹¹⁾, Kleber F. Portella⁽¹²⁾, Carlos A. Sotille⁽¹³⁾.

Abstract

The current dissipation through distribution power during atmospheric discharges causes earth potential rise (EPR) on the shield wire. For distribution power it has been verifying of 1 to 2 kA circulating on the shield wire. The interligation cable of the equipment to the earth possess a typical inductance of 1,5 mH/m. The EPR developed in approximately 10 meters of the cable due inductance can be estimated. Supposing the transitory current of 2 kA with wave of approximately 1µs, happens 40 kV. In the earthing system with 200Ω, the stress potential can reach 400 kV. For the similary impedance among these two systems, it is necessary decreased up to 10 times for the earthing system. The backfill developed as 12,5 cm for canister diameter by 2,4 m in length in addition to 0,7 m for depth. The canister will be constituted of despolarization agent with 40 kg approached weight. The special despolarization will be developed starting from the soil classification. The soil classification based on corrosivity criteria existent in literatures.

Resumo

Neste trabalho, descreve-se o estudo feito no melhoramento do aterramento em Barreiras/Bahia/Brasil, local onde existem valores de resistividade maiores que 10 mil ohms metros. As tensões de passo e toque estão dentro do recomendado para a segurança humana. A suportabilidade dos equipamentos fica comprometida quando se analisa uma corrente transitória de 2 kA e frente de onda de 1µs. Caso essa corrente incida em um cabo de descida de 10 metros, a queda de potencial devido a reatância indutiva é próximo de 40kV. A queda de tensão nesse cabo que interliga um regulador de tensão e um sistema de aterramento com uma resistência de 200Ω, pode atingir 400 kV. O ideal seria manter a impedância do cabo de descida similar à impedância do sistema de aterramento. A utilização de poços redutores poderá reduzir o aterramento em até 10 vezes deixando o sistema seguro para os equipamentos. O poço redutor ou eletrodo de terra especial, ou agente redutor ou backfill desenvolvido foi montado a partir de um caníster de 12,5 cm de diâmetro por 2,5 metros de comprimento em adição a 0,7 metro de profundidade. O caníster foi constituído de um agente despolarizante de baixíssima resistividade com peso aproximado de 40 kilogramas. O despolarizante especial foi desenvolvido a partir da classificação do solo

¹ Dr. LACTEC; ² Engenheiro COPEL; ³ Engenheiro COPEL; ⁴ Engenheiro COPEL; ⁵ Engenheiro COELBA;

⁶ Engenheiro COELBA; ⁷ Engenheiro COELBA; ⁸ Engenheiro COELBA; ⁹ Mestre LACTEC;

¹⁰ Engenheira COPEL; ¹¹ Engenheiro COELBA; ¹² Dr. LACTEC; ¹³ Engenheiro SOTA.

local. Essa classificação foi feita após análise do solo local baseado em critérios de corrosividades existentes na literatura (critérios que usam os parâmetros físico-químicos extraídos de ensaios de laboratório e de campo).

Palavras-chave: corrosão pelo solo, aterramento elétrico, ensaios físico-químicos, ensaios eletroquímicos.

1 Introdução

Historicamente, a distribuição de energia era avaliada por um índice que otimizava a redução de falhas através do desligamento do trecho necessário para reparos. Atualmente, com a progressiva elevação da demanda de carga e necessidade de fazer reparos com o sistema energizado, fixa-se normas relacionadas à segurança⁽⁰¹⁻⁰³⁾. Tendo em vista o provimento das condições adequadas de segurança acima mencionadas, o aterramento de um sistema de distribuição deve atingir, cumulativamente, os seguintes objetivos: assegurar a operação rápida e efetiva dos dispositivos de proteção de sobrecorrente, na ocorrência de faltas à terra, limitando a valores não perigosos as tensões resultantes da passagem das correntes de curto-circuito; viabilizar adequado escoamento de sobretensões (menor que 80kV), limitando as tensões transferidas ao longo da rede, em consequência da descarga de surtos; garantir a segurança dos usuários do sistema através da limitação das diferenças de potencial entre o condutor neutro e a terra (menor que 10V), resultantes da circulação das correntes de desequilíbrio, em condições de regime.

Para garantir 10 V de tensão no neutro em condições de regime em linhas de distribuição elabora-se projeto para o sistema de aterramento. Sabendo-se a tensão da linha (13,8 kV ou 34,5kV), o comprimento, a potência do transformador que alimenta a linha e a resistência linear do cabo neutro é possível determinar a resistência equivalente do sistema de aterramento por km de neutro para manter os 10V circulando em condições de regime.

Partindo-se de um solo com uma determinada resistividade e supondo a utilização de uma única haste de aterramento comumente vendida no comércio, pode-se determinar a resistência equivalente do sistema de aterramento por km de neutro referente às entradas dos consumidores necessária à assegurar a efetividade do aterramento.

Caso a resistência equivalente das entradas dos consumidores forem menores que a resistência equivalente por km de neutro (que garante os 10V), significará que os aterramentos dos consumidores são suficientes para garantir a efetividade do aterramento do sistema. Portanto, mesmo usando uma única haste com uma resistência altíssima, a segurança humana estará garantida em condições de regime, porém a segurança dos equipamentos que estiverem instalados com apenas uma haste não estará garantida. Sabe-se que a vida média⁽⁰⁴⁾ dos transformadores está por volta de 10 anos e a primeira falha de 90% desses transformadores ocorre antes dos 20 anos de operação.

2 Desenvolvimentos Experimentais

2.1 O PROBLEMA

Inicialmente, foi feita medição da resistividade de solo em um local (linha de distribuição de energia) onde um regulador de tensão tinha sido retirado de operação devido avarias sofrida durante uma descarga atmosférica. Os valores das resistividades (vide Fig.1) obtidas foram altíssimos (por volta de 10 mil Ohm.m). O cabo de descida existente se rompeu. A temperatura foi tão alta que parte do poste também se rompeu. O sistema de aterramento do

regulador de tensão não suportou a descarga atmosférica ocorrida naquele local. O solo vizinho a malha de terra petrificou. Foi verificado uma cor preta no solo próximo ao cabo malha (vide Fig.2) devido a presença de óxido de cobre juntamente com a terra local. Portanto, além da petrificação, houve oxidação do cobre existente no cabo da malha transformando-o em íons cobre juntamente com terra, durante o processo de ionização do solo. Nesse sistema havia uma haste de aterramento conectada na malha através de conexão mecânica. O conector mecânico se fundiu na extremidade superior da haste, evidenciando que o conector mecânico não suportou o surto ocasionado naquela região. Uma outra haste de aterramento conectada na malha através de solda exotérmica, mostra que houve perda de massa na solda exotérmica, porém ela suportou o surto. Nas vizinhanças da haste o cabo da malha está totalmente danificado devido a alta temperatura atingida naquela região, porém o cabo não se rompeu. Ao percorrer o caminho da descarga, verificou-se que a descarga passou pela haste e seguiu o cabo da malha fechando a configuração do aterramento previamente construído. Isto é comprovado pela petrificação do solo abaixo do cabo da malha ao longo do anel do sistema de aterramento. Também foi verificado que a descarga atmosférica preferiu seguir o cabo da malha ao invés de se dissipar pela haste.

2.2 ANÁLISE DO SOLO

A agressividade específica do solo está intimamente ligada às propriedades locais, tais como: parâmetros químicos (pH e outros), parâmetros eletroquímicos (potencial de corrosão do aço, pH, sobretensão do hidrogênio e outros) e parâmetros físicos (resistividade vs quantidade de água e capacidade de retenção de água). Estes fatores atuam de forma conjunta e por este motivo a corrosividade dos solos não deve ser avaliada com base em propriedades isoladas. Foram feitas coletas de solos e as análises foram realizadas em laboratório. Após esta análise o solo foi classificado e em seguida desenvolveu-se um despolarizante específico através do melhoramento do solo.

2.2.1 Obtenção do pH

O principal uso do pH é como complemento do parâmetro “resistividade do solo”, pois com isso é possível identificar condições na qual a corrosão dos metais pode ser bastante acentuada. A medida do pH foi feita pelo equipamento eletrônico (pH-metro) e seguiu o procedimento enunciado na norma ASTM G-51/77⁽⁰⁵⁾.

2.2.2 Obtenção do potencial de corrosão

Para a realização da medida do potencial de corrosão, introduziu-se um eletrodo de aço juntamente com o eletrodo de referência cobre/sulfato de cobre saturado em uma caixa padrão contendo o solo saturado com água. Os eletrodos foram conectados ao multímetro. O pólo positivo do multímetro foi conectado ao eletrodo de aço, enquanto que o pólo negativo do multímetro foi conectado ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre saturado. A leitura do potencial de corrosão foi feita em mV, através do multímetro e usando, pelo menos, 3 minutos como tempo de estabilização do potencial⁽⁰⁶⁾.

2.2.3 Determinação da sobretensão do hidrogênio

A determinação da sobretensão do hidrogênio (STH₂) foi feita a partir do pH com o potencial de corrosão. A partir do pH, determinou-se o potencial de equilíbrio do eletrodo de hidrogênio. O potencial de equilíbrio do hidrogênio foi obtido, multiplicando o valor do pH por 60 e somando 320. A diferença entre o potencial de corrosão e o potencial de equilíbrio do hidrogênio, forneceu a sobretensão do hidrogênio⁽⁰⁷⁾. A partir dos valores encontrados, o solo foi classificado, de acordo com o critério da tabela 1⁽⁰⁷⁾.

2.2.4 Obtenção da curva de resistividade do solo em relação a quantidade de água acrescentada

Para obter a curva de resistividade do solo em relação a quantidade de água, secou-se totalmente a amostra do solo em estufa e pulverizou-se em moinho. Mediu-se o valor da resistividade através de caixa padrão "soil box" com instrumentos adequados⁽⁰⁸⁾, voltímetro de alta impedância e fonte de corrente alternada. Adicionou-se água destilada à amostra, na proporção de 5% em volume, em relação ao volume do solo seco e mediu-se novamente a resistividade. Efetuou-se adições sucessivas de água destilada com incremento de 5% ou 10%, medindo-se os valores de resistividade para cada teor de água. Plotou-se gráficos com os valores de resistividades assim obtidos, em função do teor de umidade.

2.2.5 Obtenção da capacidade de retenção de água

Encheu-se um funil de "buchner" de aproximadamente 5 cm de diâmetro e 2,5 cm de profundidade, contendo um papel de filtro qualitativo em sua base interna. Sobre o papel de filtro qualitativo colocou-se solo. A quantidade de solo a ser colocada pode ultrapassar a sua capacidade. Esta deve estar seca e peneirada previamente em peneira de malha de 2mm. Compactou-se a amostra do solo, contida no funil, deixando-o cair três vezes, de uma altura de 1 cm em cima de uma superfície de madeira. Nivelou-se a superfície da amostra do solo com uma espátula. Colocou-se o funil cheio de solo em um bécher de capacidade de 400 ml, restando-o em posição para cima, pelas bordas do funil. Adicionou-se água ao bécher a uma altura ligeiramente superior ao do papel de filtro. Esperou-se a amostra do solo ficar úmida por capilaridade de modo a evitar encapsulamento de ar na coluna. Quando a parte superior da amostra de solo apresentou sinais de umidade, adicionou-se mais água até seu nível aproximar-se do topo do funil. Cobriu-se o bécher, deixando a amostra do solo umedecida no mínimo por 12 horas. Cobriu-se o funil com um pano úmido, no qual se colocou um vidro de relógio invertido. Colocou-se o funil coberto em um frasco de sucção, conectado a um aspirador de água. Após 15 minutos, removeu-se o funil do frasco de sucção, transferindo-se a amostra do solo em um recipiente previamente tarado e determinou-se o teor de umidade em porcentagem⁽⁰⁹⁾.

2.3 CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

Após realização dos ensaios de laboratório e complementados com ensaios de campo foi possível fazer uma análise da agressividade do solo baseado nos critérios existentes na literatura (vide Tabela 2). A classificação do solo foi: Pouco Condutivo, Seco, Ácido e com Poucos Cloretos.

2.4 MELHORAMENTO DO SOLO

Após realizado ensaios de caracterização de diferentes melhoramentos de solos, ora com solo pouco agressivo, ora com solo agressivo, ora com produtos sintéticos, foi possível definir um poço redutor a base de cimento.

2.4.1 Poço redutor a base de cimento

Levando em conta, as propriedades essenciais à serem seguidas para um adequado tratamento químico, tais como, estabilidade química, insolubilidade em presença de água, ser higroscópico, não ser corrosivo⁽¹⁰⁾, ter efeito de longa duração e não conter substâncias tóxicas, realizou-se vários ensaios de laboratório (ensaios mencionados no item 2.2 e outros) para diferentes proporções de materiais sintéticos.

Várias proporções de substâncias adicionadas na preparação do despolarizante foram testadas. A partir de um total de 12 composições, selecionou-se o seguinte melhoramento: 50% de solo local, dos 50% restantes, usou-se 25% de um produto comercial, 15% de cimento e 10% de carbono grafite.

Pelo modelo semi-esférico, a lei de Ohm, em sua forma pontual, estabelece uma relação entre o campo elétrico e a densidade de corrente em um meio de acordo com a sua resistividade, onde a queda de tensão decresce de forma inversamente proporcional ao aumento do raio de uma semi-esfera. Como uma haste de aterramento não é um eletrodo hemiesférico, é necessário efetuar um ajuste entre a área da haste e a área de uma superfície semi-esférica equivalente. Esta simplificação introduz um certo erro para a queda de potenciais na haste de aterramento, porém é possível estimar um gráfico teórico do percentual da queda de tensão⁽¹¹⁾ com o aumento do raio da haste de aterramento. Deste trabalho pode-se observar que a partir de 5 vezes o raio da haste de aterramento (eletrodo semi-esférico) o percentual é próximo de 20% do potencial que incide na haste. Com isto procurou-se construir um canister de 12 cm de diâmetro, pois o diâmetro da haste utilizada foi de 16mm. Com isso ficou garantido uma linha de fronteira maior que 5 vezes o raio da haste.

Para a construção do poço redutor a base de cimento, usou-se um material metálico (haste de aço cobreado de 2,4 metros por 16mm de diâmetro), imerso no despolarizante acima citado. O despolarizante foi colocado em um canister (saco de algodão), de modo que o material metálico ficou totalmente imerso no despolarizante. A região selecionada para a colocação do poço redutor foi escavada, perfazendo um buraco de 3 metros de profundidade por 25 cm de largura. O poço redutor ficou na profundidade de 70 cm abaixo do nível do solo e durante a sua instalação introduziu água e finalizou o reaterro com solo local. No total foram instalados 12 poços redutores.

2.4.2 Coeficiente de redução do tratamento químico

Para o solo em estudo cuja resistividade era muito alta, o sistema de aterramento através do paralelismo de hastes alinhadas mostrou-se inviável (vide Fig.3), pois a menor resistência esteve próximo de 220 Ohms, mesmo colocando uma série de 15 hastes. Ao manter hastes de 2,4 metros por 12,7 mm e variar o espaçamento entre elas, observou-se que não houve alteração no comportamento das curvas. Ao manter hastes de 2,4 metros e distância de 3 metros entre elas e variar o diâmetro delas, observou-se que não houve alteração no comportamento das curvas. Ao manter hastes com diâmetro de 12,7 mm e distância de

3 metros entre elas e variar o comprimento delas, observou-se que não houve alteração no comportamento das curvas.

Ao aplicar o melhoramento do solo ou tratamento químico observa-se alterações das características do solo ao redor dos eletrodos, resultando em redução do valor da resistividade traduzido por um "coeficiente de redução do tratamento químico" (KT). Este coeficiente é tanto menor quanto maior for a resistividade do solo, conforme diversas experiências já realizadas, e é determinado na prática através da relação entre a resistência do eletrodo tratado quimicamente e a resistência do eletrodo sem o tratamento. A título de exemplo, a resistência de uma haste tratada, em Ω , é dada pela equação:

$$R_H = \frac{kT\rho_a}{2\pi L} \ln \frac{4L}{d}$$

onde:

R_H é a Resistência da haste tratada

KT é o coeficiente de redução do tratamento químico e é dado pela razão entre a resistência após o tratamento e a resistência antes do melhoramento.

ρ_a é a resistividade aparente do solo em estudo.

L é o comprimento da haste de aterramento

D é o diâmetro da haste de aterramento

Para a determinação de kT, calcula-se a resistência do solo para uma única haste, a partir da resistividade obtida, antes e após o tratamento químico. A geometria da haste usada foi: comprimento de 2,4 metros e diâmetro de 15,9mm ou 5/8". Ao construir o gráfico da resistência em função dos poços redutores, observou-se sucesso no abaixamento da resistência vide (Fig.4), pois a resistência chegou à valores abaixo de 50 Ohms.

2.5 CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA DE ATERRAMENTO

Com objetivo de definir a melhor configuração para o sistema de aterramento, baseou-se nas observações feitas durante a constatação do problema, que deixava claro a necessidade de um aterramento superficial. O formato de anel, foi decidido após realizarmos medições de potencial de toque e potencial de passo em um poste com um anel provisório. Ao comparar os parâmetros medidos na presença do anel metálico, concluiu-se que as benfeitorias com anel, aumentavam em 30% a melhora com respeito a segurança humana. Ao juntar as observações com anel temporário e com o problema existente no campo, decidiu-se que deveria ser dois semi-anéis, isto é, um anel seccionado no meio.

Após realizar simulações matemáticas envolvendo o software "Aterra D" onde fez-se análise da resistividade do solo, da resistência do aterramento e do mapeamento de potenciais de toque e passo, decidiu-se optar por uma configuração especial denominada de "dois pés de galinhas simétricos". Para se chegar à essa conclusão, inicialmente estudou-se a medição da resistividade e estratificação do solo em n camadas e em duas camadas, fazendo o cadastro do projeto e trabalhando com a janela "medidas" no software. A partir dos resultados de estratificação, estimou-se a resistividade equivalente do solo. Em seguida fez-se a configuração do aterramento envolvendo haste e condutor horizontal. Após realizada as configurações, iniciou-se a entrada de dados de potenciais, ora potenciais automático, ora parâmetros de malha, ora potencial normal. Em seguida processou-se o cálculo, visualizou e gerou a planilha de potenciais em excel. Assim foi otimizado a configuração do sistema de

aterramento, usando dois semi-aneis, constituídos por dois pés de galinhas simétricos com 12 poços redutores.

2.6 EFETIVIDADE DOS MATERIAIS

Para efetividade no uso dos materiais metálicos (condutor, hastes e conexões) com o solo, usou-se poço redutor a base de cimento, para aumentar o pH, diminuir a resistividade, absorver umidade e não lixiviar o despolarizantes através de sua petrificação. Foi usado solda exotérmica pela sua maior eficiência frente a surtos atmosféricos e foi usado o cabo de cobre nu 50 mm^2 (cordoalha), por apresentar maior área de contato.

3 Resultados experimentais

No período de 19 a 21 de outubro, estivemos à 15 km da cidade de Luis Eduardo Magalhães (região oeste da Bahia), local onde foi instalado um banco de reguladores de tensão em delta aberto no 34,5kV. Neste local instalou-se o sistema de aterramento desenvolvido, isto é, sistema de aterramento com 12 poços redutores, 8 hastes de aterramento, condutor de cobre nu de 50 mm^2 , configuração com 2 “pés de galinhas” simétricos em relação à estrutura dos reguladores.

3.1 INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE ATERRAMENTO

Inicialmente fez-se a mistura do produto com solo local (vide Fig.5a). Em seguida foram acrescentados: cimento e carbono grafite (vide Figs. 5b e 5c). Após a mistura do produto (vide Fig.6a), introduziu-o dentro do caníster (vide Figs.6b e 6c) e o saturou com água antes de finalizar através de reaterro com solo local. Após projetado a configuração do sistema de aterramento e instalados os poços redutores, realizou-se a interligação do sistema de aterramento com o cabo de cobre de 50 mm^2 como cabo condutor (vide Fig.7). Finalmente realizou-se as conexões através de soldas exotérmicas e isolando-as do solo com massa epóxi bicomponente (vide Fig.8).

3.1.1 Obtenção das características originais

No local da instalação do sistema de aterramento, a resistência de terra de uma única haste de aterramento ficou acima de 1500 Ohms, demonstrando um solo muito ruim na primeira camada do solo. A resistência de terra do primeiro poço redutor ficou em 627 Ohms. Os valores de resistências dos poços seguintes referente ao primeiro “pé de galinha” foram: 450 Ohms para o segundo; 611 Ohms para o terceiro; 780 Ohms para o quarto; 480 Ohms para o quinto e 370 Ohms para o sexto, perfazendo o “primeiro pé de galinha”.

Para o segundo “pé de galinha” os valores de resistência de terra foram: 615 Ohms para o primeiro; 500 Ohms para o segundo; 820 Ohms para o terceiro; 670 Ohms para o quarto; 298 Ohms para o quinto e 180 Ohms para o sexto.

A resistência equivalente do primeiro pé de galinha foi de 102 Ohms, a resistência equivalente do segundo “pé de galinha” foi de 70 Ohms, e a resistência equivalente do conjunto foi de **50 Ohms**. É importante notar que durante a instalação dos poços redutores, houve um aperfeiçoamento no serviço, otimizando a estrutura do poço, de tal modo, que o penúltimo poço apresentou um valor de 297 Ohms (vide Fig.9) e o último poço a ser feito apresentou um valor de 180 Ohms, enquanto que o primeiro poço apresentou um valor de 627 Ohms.

3.1.2 Periodicidade das medições

Após um certo tempo de funcionamento deste sistema de aterramento, recomenda-se verificar as suas características originais, através de medições posteriores. Para a realização dessas medições, deve ser feito um estudo relacionando a época da execução das medições, assim como realizar um estudo da amostragem e da periodicidade das medições. A partir das medições posteriores, deverão ser estabelecidos critérios de manutenção deste sistema de aterramento. A manutenção deverá levar em conta o desempenho corrosivo e o desempenho elétrico, através de medições elétricas e eletroquímicas deste sistema de aterramento.

Independentemente da constatação ou não de possíveis irregularidades, a frequência de verificações através de medições elétricas e eletroquímicas não deverá ser superior a 30% da durabilidade prevista para este sistema de aterramento. Entretanto, recomenda-se a realização dessas medições com vistas a verificação da constância dos valores iniciais em períodos de aproximadamente 5 anos, para o caso em estudo, pensa-se em retornar ao local em abril de 2010 (final da época de chuvas na região) e retornar em agosto de 2010 (final da época de seca na região).

3.1.3 Critérios para manutenção

A partir das medições originais, serão fixados valores de referências, tanto para o desempenho corrosivo quanto para o desempenho elétrico. Após realização das medições elétricas e eletroquímicas, renovar-se-á o sistema de aterramento pela substituição de um novo aterramento se os valores se apresentarem superiores ao limite fixado pelos valores de referência, nenhuma providência se fará necessária, caso as medidas apresentarem valores inferiores ao limite fixado pelos valores de referências.

Agradecimentos

A equipe técnica agradece: À COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia); ao Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC; à Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, pelo apoio recebido, confiança depositada, liberação de recursos financeiros e disponibilização da infra-estrutura, para a realização deste estudo. Aos profissionais da coelba pelo apoio técnico disponibilizado durante os serviços de campo e a todos aqueles profissionais que, de forma direta e indireta, colaboraram para a conclusão deste trabalho.

4 Conclusão

Um sistema de aterramento projetado de forma convencional, ora por hastes alinhadas, ora por hastes profundas, ora por outra configuração similar, apresentará 220 Ohms como sendo o mínimo valor de resistência para a realidade daquele solo na região oeste da Bahia, onde a resistividade do solo local varia a partir de 5 mil Ohm.m passando por uma média de 10 mil Ohm.m e chegando (em muitos casos) à 20 mil Ohm.m. O sistema de aterramento desenvolvido neste trabalho, foi projetado, instalado e apresentou 50 Ohms.

5 Referências bibliográficas

- (01) SOTILLE, C..A; ALEIXO, A.N; MODENA, J; FREIRE P.E. Medição da resistividade e determinação da estratificação do solo. ABNT NBR 7117 (2009).
- (02) SOTILLE, C..A; ALEIXO, A.N; MODENA, J; FREIRE P.E. Aterramento de subestações. ABNT NBR 15751 (2009).
- (03) SOTILLE, C..A; ALEIXO, A.N; SILVA, J.M; MODENA, J. Medição de resistência do aterramento e dos potenciais na superfície do solo. ABNT NBR 15749 (2009).
- (04) RAVAGLIO, M.A; SCHAEFER, J.C.; GAMBOA, L.R.A; ARAÚJO, R.L. Proteção contra descargas atmosféricas de redes de distribuição de baixa tensão. IX SIPDA (IX International Symposium on Lightning Protection, Foz do Iguaçu, Novembro (2007), 6p.
- (05) Determinação do pH do extrato aquoso. ASTM G-51/77 (1984).
- (06) Obtenção do potencial de corrosão no solo. GCOI/SCM – Setor elétrico brasileiro (1995).
- (07) SILVA, J.M; BRASIL S.L.D.C. Critério de avaliação da corrosividade de solos baseado na sobretensão de hidrogênio. Corrosão e Proteção de Materiais. Lisboa. Portugal (2009).
- (08) PEABODY, A.W; BIANCHETTI, R.L. Control of pipeline corrosion. NACE International The Corrosion Society. Houston. Texas. (2001)p.127.
- (09) SERRA, E.T. Corrosão e proteção anticorrosive dos metais no solo. CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Rio de Janeiro (2006).
- (10) SILVA, J.M; TADEU, V; BRASIL S.L.D.C. Redutores de resistência de aterramento de baixa corrosividade para linhas de transmissão. 10ª COTEQ – Conferência sobre tecnologia de equipamentos. Salvador. Bahia. Maio (2009).
- (11) GAMBOA, L.R.A; SILVA, J.M; RIBAS, C.E; RIBAS, R.M. Medição da resistência de malha de terra energizada, em SE's 34,5/13,8kV e obtenção da resistividade de solos de SE's, em laboratório. XVIII SNPTTE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Curitiba. (2005).

Tabela 1 – Critério proposto para avaliação da corrosividade de solos, com base na sobretensão do hidrogênio.

STH₂	Corrosividade do solo
> 0	Pouco agressivo
0 a -150	Média agressividade
< -150	Agressivo

Tabela 2 – Classificação do solo em estudo através de critérios de literatura.

PARAMETROS		BAHIA OESTE	
		Valor obtido	Índice dos critérios
Trabanelli e/ou Steirath	Resistividade	500 Ω.m	Índice = -2 solo pouco agressivo
	Cloreto	6 mg/Kg	
	Potencial redox	315 (mV/NHE)	
	Sulfato	<1 mg/Kg	
	PH	4,55	
	Umidade	44 %	
Starkey & White	Potencial redox	315 (mV/NHE)	300 a 400 solo de média probabilidade de bactérias
Booth	Resistividade	500 Ω.m	Pouco agressivo
	Potencial redox no pH=7	315 mV/NHE)	
	Teor de água	44%	
Girard	Resistividade do extrato aquoso	500 Ω.m	C = 9 Baixa agressividade
	Umidade de saturação	44 %	
	Acidez total	1,8 (meq/litro)	
Sobretensão do H ₂	η _{H₂}	-120 mV	Pouco agressivo
Stratfull	Resistividade mínima	500Ω.m	50 μm/ano
	pH	4,55	
Dpto. Transp. USA	Resistividade mínima	500 Ω.m	30 anos de vida
	pH	4,55	
CLASSIFICAÇÃO FINAL		Pouco condutivo, Seco, ácido e com pouco cloreto.	



Figura 2: Petrificação juntamente com ionização do solo próximo à malha, vestígios de produto de oxidação de cobre.

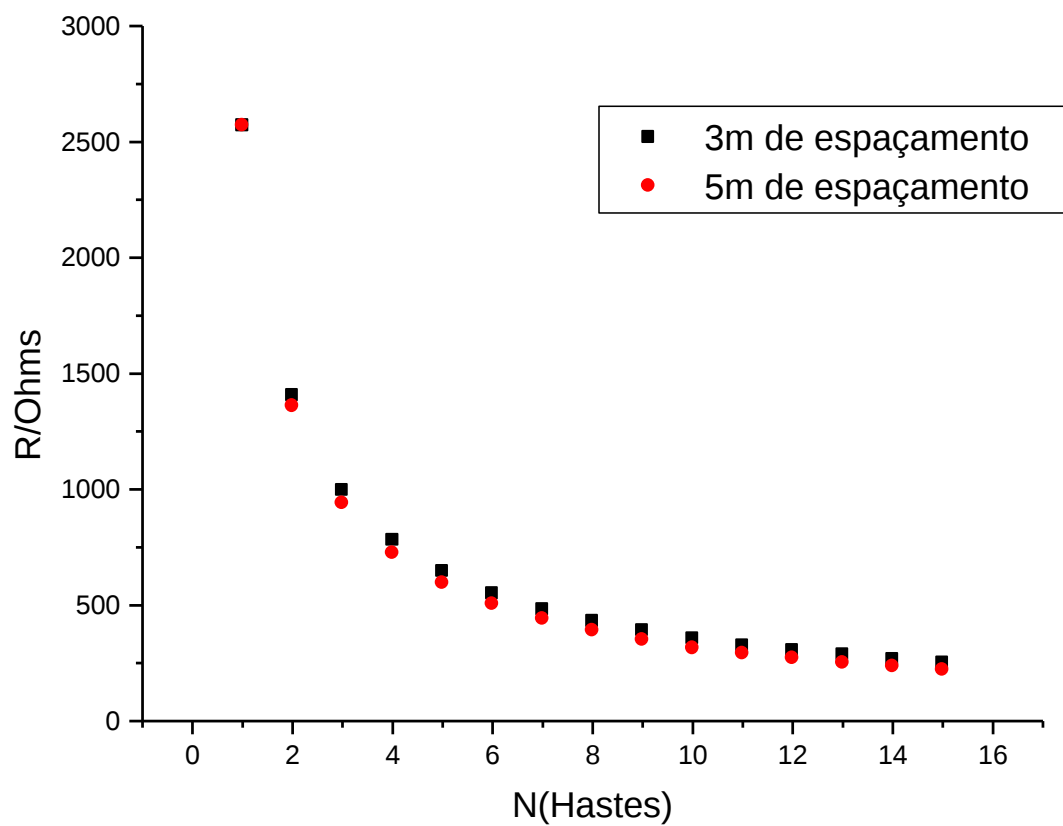


Figura 3: Resistência em função do número de hastes para um solo de resistividade de 6 mil Ohm.m, considerando hastes de 2,4 metros de comprimento e diâmetro de 12,7 mm.

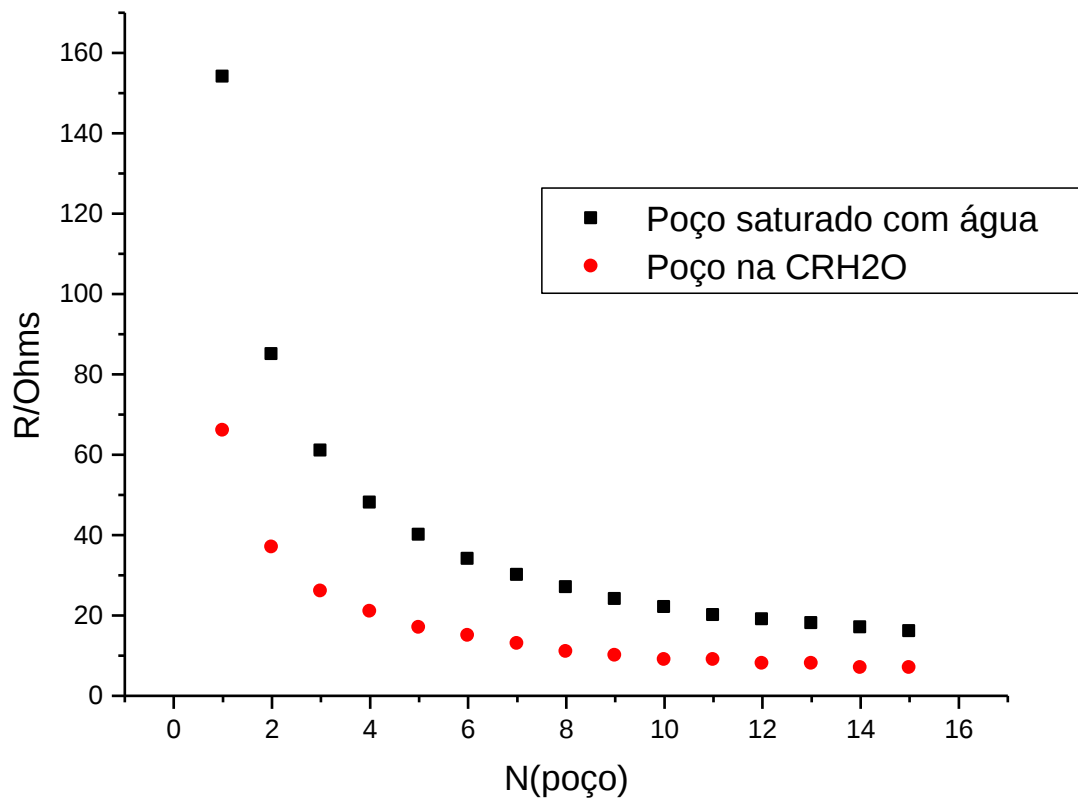


Figura 4: Resistência em função do número de poços para um solo de resistividade de 6 mil Ohm.m.



Figura 5: Mistura do solo local com produto e adição de cimento e carbono grafite.



a)

b)

c)

Figura 6: Enchendo e compactando caníster.



Figura 7: Vista geral dos trabalhos de escavações, e cabo de cobre de 50 mm².



Figura 8: Solda exotérmica e isolamento da região com massa epóxi.



Figura 9: Valor da resistência de um único poço redutor.

* * *