



**XXII SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GMI/30
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO - XII

GRUPO DE ESTUDO DE ASPECTOS TÉCNICOS E GERÊNCIAS DE MANUTENÇÃO - GMI

**AValiação PELO MÉTODO DA ALTA FREQUÊNCIA DOS SISTEMAS DE ATERRAMENTO
DAS USINAS GERADORAS DE ENERGIA ELÉTRICA: UM IMPACTO DA NR-10.**

**Rodrigo Braun dos Santos(*)
COPEL GET**

**Faisal Ali Kassem
COPEL GET**

RESUMO

Neste trabalho é abordada a temática da manutenção do sistema de aterramento das usinas em concordância com o exigido na NR 10. Para atender as exigências que a norma regulamentadora preconiza em seu prontuário com respeito ao aterramento, em alguns casos se faz necessário efetuar uma análise completa do mesmo. Para que esta verificação possa ocorrer de fato, é necessário uma metodologia de avaliação que permita a realização dos ensaios com a planta em operação normal. Deste modo apresentaremos quais os pontos fortes que o método da alta frequência possui nesta situação.

PALAVRAS-CHAVE

Aterramento, NR-10, avaliação com alta-frequência.

1.0 - INTRODUÇÃO

Com o objetivo de atender as exigências legais e obter maiores conhecimentos técnico-científicos sobre a qualidade do comportamento operacional das malhas de aterramento das unidades geradoras, foi efetuado uma pesquisa literária para conhecer os métodos aplicáveis para a avaliação de grandes malhas de aterramento. Deste modo decidiu-se utilizar o chamado método de avaliação por alta frequência, haja vista que este método possui uma vantagem ímpar de possibilitar a execução da avaliação dos sistemas de aterramento com a planta em operação.

Atualmente Pouco se sabe sobre as condições operativas das malhas de aterramento das usinas depois de um longo período em operação; fatores como a resistência de aterramento da malha e a deterioração dos cabos e conectores raramente são revistos. Também há pouca literatura disponível para consulta, haja vista que este tópico desperta pouco interesse nas equipes de manutenção e pesquisa. Assim sendo, há muito pouca informação válida a respeito do comportamento elétrico dos sistemas de aterramento ao longo dos anos.

Deste modo, embora na grande maioria dos casos não foram constatadas perdas de eficiência na atuação das proteções, observou-se a necessidade de avaliar a qualidade dos sistemas de aterramento das usinas do plantel da Copel.

2.0 - A NORMA REGULAMENTADORA 10

A versão atual da Norma Regulamentadora Nº 10 (NR-10) SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE data de Dezembro de 2004. Seu foco principal é garantir a segurança dos trabalhadores no exercer de sua função nas instalações elétricas. No item 10.2.4 consta: "Os estabelecimentos com carga instalada

(*) Rua. José Izidoro Biazetto, nº 158 – sala 222 – Bloco A – CEP 81200-240, Curitiba, PR, – Brasil
Tel: (+55 41) 3331-3631 – Fax: (+55 41) 3331-3666 – Email: Rodrigo.braun@copel.com

superior a 75 kW devem constituir e manter o Prontuário de Instalações Elétricas, contendo... b) documentação das inspeções e medições do sistema de proteção contra descargas atmosféricas e aterramentos elétricos”.

O prontuário de instalações elétricas (PIE) é um documento que visa organizar as informações pertinentes às instalações e aos trabalhadores, sintetizando tudo o que foi efetuado e o que se planeja fazer em termos manutenção da instalação elétrica. Em relação ao sistema de aterramento das instalações, o objetivo maior é certificar que o aterramento esteja funcionando conforme projetado e que os serviços de manutenção estejam de acordo com o programado. Esta demanda é necessária devido a elevada importância que o sistema de aterramento possui numa instalação elétrica.

3.0 - SISTEMA DE ATERRAMENTO

O sistema de aterramento de uma instalação elétrica visa estabelecer uma conexão intencional com o potencial elétrico da Terra. Esta conexão usualmente é realizada através da utilização de um ou vários eletrodos de cobre ou outro metal de boa condutibilidade, cravados no solo e interconectados, formando assim uma malha. O intuito da malha de aterramento é maximizar sua área de contato com o solo de modo a estar equipotencializado com o potencial da Terra, a qual é um elemento neutralizador de cargas muito bom para esta aplicação. A maximização da área de contato entre os eletrodos e o solo visa a obtenção da menor resistência de contato possível, a qual é a resistência do sistema de aterramento em si, haja vista que quanto maior a área de contato, menor o valor da resistência desta e assim maior a eficiência.

O aterramento é também responsável por manter as instalações elétricas em equilíbrio, possibilitando o controle e fornecendo uma “tensão referência zero”, ou seja, um sinal de potencial (zero) comum para todos os equipamentos a ela interligados. Com isso, possibilita a operação apropriada dos inúmeros equipamentos que trabalham em conjunto na usina.

Em uma usina geradora de energia elétrica, a malha de aterramento é projetada para suportar altíssimas correntes de falta. Estas podem decorrer de máquinas com correntes de curto circuito na ordem de centenas de milhares de Amperes.

O sistema de aterramento apresenta algumas funções primárias:

- Proteção - atua como proteção em casos de sobretensão;
- Estabilizador de tensão - servindo como referência comum aos sistemas elétricos de uma mesma planta;
- Segurança - provê segurança às pessoas ao equipotencializar os equipamentos com a terra, principalmente em ocasiões de falha de operação.

3.1 O Aterramento em Usinas

A casa de força de uma grande unidade geradora de energia elétrica, em especial as grandes usinas hidrelétricas, é normalmente construída em locais onde o solo é rochoso (usualmente de formação basáltica), visando obter assim a melhor base para a fundação do projeto civil e tem como um dos objetivos atender as demandas de esforço estrutural para abrigar geradores e turbinas de grande porte.

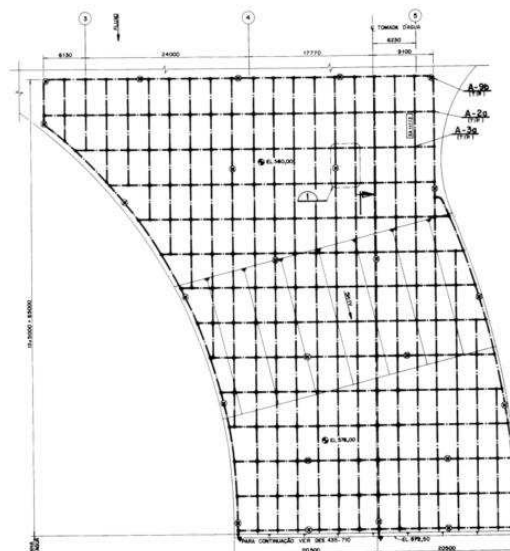


FIGURA 1 – Exemplo detalhando do reticulado da malha de aterramento de uma usina hidrelétrica

Entretanto, tais solos apresentam uma alta resistividade elétrica, o que implica em uma dificuldade proporcionalmente “maior” de dissipar as correntes espúrias a que são submetidas as malhas de aterramento, diminuindo a eficiência do sistema e aumentando a dificuldade de equalização do projeto. Deste modo, uma alternativa de projeto é a maximização da área de contato entre os eletrodos da malha de aterramento com o solo, conforme pode ser verificado na Figura 1, pois quanto maior a área de contato, melhores serão as chances de escoar as correntes intrínsecas e com isso, maior será a eficácia da malha de aterramento.

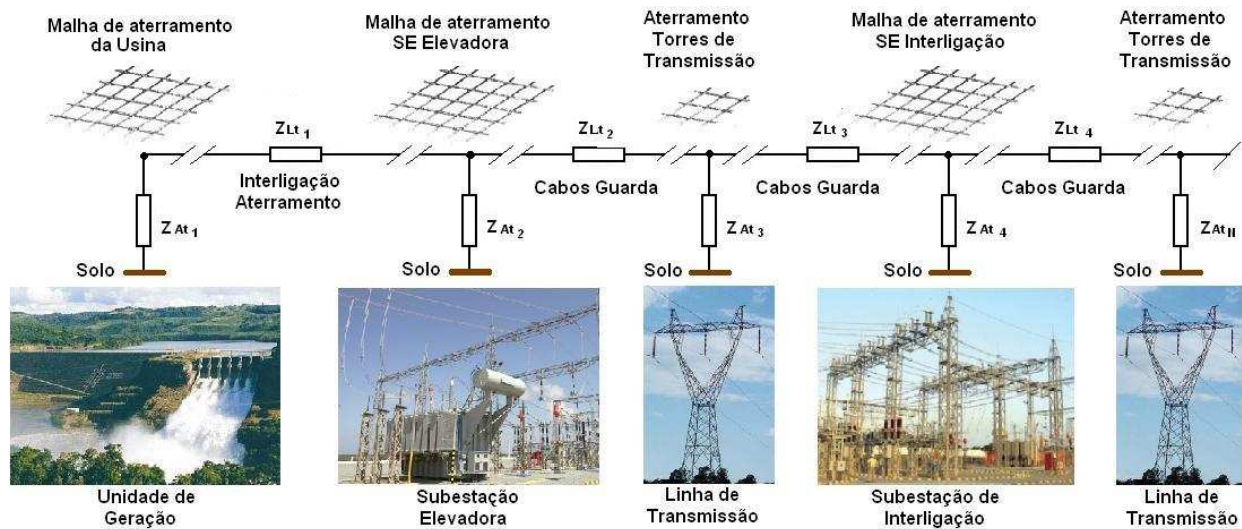


FIGURA 2 – Ilustração artística da interconexão das malhas de aterramento

É comum em instalações de grande porte cujas tensões de operação da subestação sejam superiores a 69 kV que as malhas de aterramento da usina, subestação e torres de transmissão estejam interconectadas por meios de cabos de interconexão das malhas e/ou pelos cabos-guarda das torres de transmissão e pórticos, conforme ilustrado na Figura 2. Tal associação entre as malhas é benéfica, pois diminui a resistência da malha de aterramento do sistema e equipotencializa todas as estruturas em um único potencial.

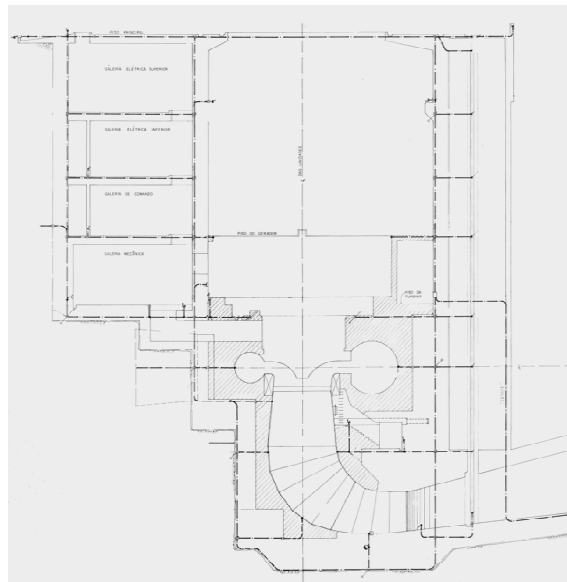


FIGURA 3 – Corte lateral do sistema de aterramento de uma usina hidrelétrica

Um detalhe que diferencia a malha de aterramento de uma usina em relação as malhas de aterramento de outras plantas com potência instalada elevada é o fato da malha de aterramento das usinas normalmente ser construída “abaixo” ou “embutida” nas paredes e áreas concretadas e construídas e estar distribuída ao longo de vários andares, conforme pode ser visto na Figura 3, como ocorre comumente em casas de força e barragens. Embora tal artifício exerça uma proteção mecânica extra a malha de aterramento, também implica em uma enorme dificuldade para efetuar inspeções e possíveis reparos quando necessários.

4.0 - O MÉTODO DE AVALIAÇÃO POR ALTA FREQUÊNCIA

Ao verificar os métodos e os dispositivos comerciais existentes para avaliar a malha, poucos permitem realizar a avaliação de um sistema de aterramento como o de uma usina estando esta em operação normal. O método que comercialmente esta disponível para a utilização é o do emprego de terrômetros que empregam sinais em alta frequência (25 kHz) para executar o ensaio de queda de potencial, o qual é popularmente conhecido como “ensaio em alta frequência”.

A medição da resistência de aterramento pelo método de alta frequência ocorre de modo semelhante a tradicional medição pela queda de potencial, conforme pode ser visto na Figura 4, extraída da norma ABNT NBR 15749:2009. Este método também está prescrito nesta norma e sua aplicação é sugerida para, entre outros, ser utilizada em instalações energizadas.

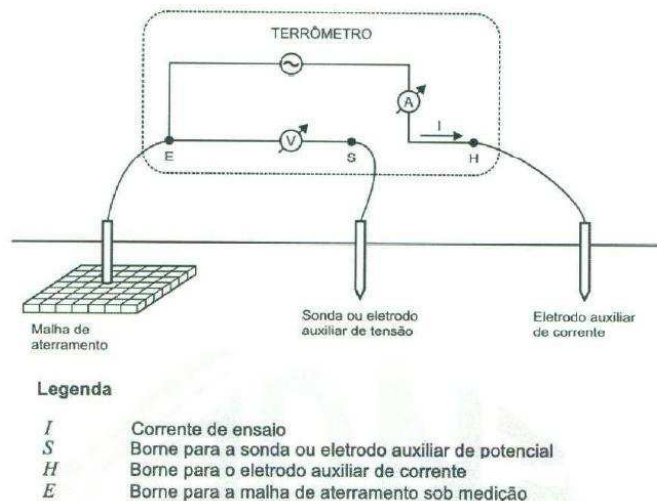


FIGURA 4 – Método da queda de potencial

Através da injeção de um sinal uniforme no eletrodo auxiliar de corrente, conforme demonstrado na Figura 4, é possível aferir com um instrumento especial chamado terrômetro, a queda de potencial e a corrente do sinal que esta circulando no ponto de aferição da malha de aterramento sob teste. Através do quociente destas grandezas mensuradas é possível obter a assim definida resistência aparente da malha.

4.1 Vantagens em relação aos métodos tradicionais

A utilização de um sinal operando em uma faixa de frequência múltiplas vezes acima da frequência industrial é trivial para possibilitar que as frequências espúrias decorrentes de chaveamentos e de operações padrões dos dispositivos de potência e eletrônicos não exerçam grande influência no sinal utilizado pelo equipamento de medição para efetuar a análise. Este artifício aliado ao fato da corrente de medição ser de no máximo na casa dos miliamperes é o que possibilita que esta avaliação possa ser executada mesmo com a planta aferida energizada e operando normalmente.

Entre as vantagens que o método de altas frequências possibilita estão:

- Diminuição da distância entre o eletrodo auxiliar de corrente e a malha de aterramento. Normalmente, nos métodos de queda de potencial, esta distância fica em média em torno de seis a dez vezes a maior distância entre dois pontos de uma mesma malha, o que em uma usina geradora de grande porte ser milhares de metros. Já com o emprego do sinal em alta frequência, a distância do eletrodo auxiliar de corrente é de uma vez e meia a maior distância entre dois pontos da malha de aterramento, facilitando o processo de medição.
- Possibilidade de realizar o ensaio com a planta em operação normal. No método tradicional, para um ensaio destas proporções de distância, normalmente é necessária a injeção de sinal com corrente alta (centenas de amperes) para que esta possa “circular” até a malha a ser aferida, o que pode prejudicar o correto funcionamento de alguns equipamentos. Nestes casos é necessário que a usina esteja desenergizada. Devido ao fato do sinal utilizado na medição por alta frequência ser de baixa corrente e com uma portadora múltiplas vezes acima da frequência industrial, não há necessidade de interromper a operação da planta geradora para realizar os testes já que o ensaio não prejudica a operação normal dos equipamentos. Outrossim, devido a atenuação do efeito do paralelismo, não há necessidade de efetuar o desacoplamento das malhas.
- Atenuação do efeito de paralelismo entre malhas de aterramento. O efeito de paralelismo é melhor descrito como o paralelo de várias resistências de várias malhas de aterramento que estão interligadas através de uma conexão elétrica, como o cabo guarda de torres de transmissão, vide Figura 2. Este fato é comum em

sistemas de com tensões iguais e maiores que 69 kV. As resistências em questão são as impedâncias das malhas de aterramento das usinas, subestações e torres de transmissão. Sem um tratamento adequado, ao efetuar a avaliação da resistência de aterramento da malha de uma usina com estas características, a resistência aferida tende a ser o resultado da associação em paralelo das resistências de varias malhas de aterramento, e não somente da malha de aterramento em sob avaliação. Este erro certamente ocasionará em uma interpretação errônea do estado de deterioração dos eletrodos e da malha em si. Com a utilização do método de avaliação por alta frequência é possível a avaliar individualmente uma pequena malha de aterramento, mesmo que esta esteja interconectada com outras malhas. Tal análise é possível devido ao fato da impedância indutiva dos cabos de interligação das malhas ser elevada sob o “olhar” da alta frequência utilizada no ensaio e das distâncias entre as malhas. Isto possibilita que o efeito das resistências paralelas das malhas de aterramento interconectadas seja reduzido, conforme ilustrado na Figura 2, ocasionando que a resistência aferida seja referente apenas a porção da malha mais próxima do ponto de inserção do sinal de teste.

- d. Avaliação do comportamento da malha sob surtos de alta frequência. Outro aspecto positivo da utilização da avaliação com alta frequência é a análise do comportamento da malha em condições de dissipação de sinais de alta frequência, como por exemplo o de chaveamento de dispositivos eletrônicos e de potência além de descargas atmosféricas.

4.2 Escopo dos ensaios

Abaixo a relação de ensaios que podem ser executados no sistema de aterramento pelo método da alta frequência:

- Verificação de equipotencialização dos equipamentos a malha de aterramento
 - Serve para atestar que os equipamentos estão propriamente conectados a malha de aterramento.
- Verificação de continuidade e equipotencialização entre malhas de aterramento.
 - Serve para atestar que as malhas de aterramento de diferentes estruturas estão ou não interconectadas
- Medição da resistência de aterramento.
 - Serve para avaliar a degradação da estrutura do sistema de aterramento ao longo do tempo. Este teste precisa ser refeito periodicamente.
- Medição de resistividade do solo.
 - Serve para avaliar a modificação da composição do solo ao longo do tempo e assim verificar com maior exatidão os efeitos de degradação da malha.

4.3 Exemplo comparativo

Em 2008 foram efetuadas medições na malha de aterramento da subestação elevadora da pequena central hidrelétrica de Apucarantina, sendo duas medições com métodos distintos. Primeiramente, aproveitando uma oportunidade em que a usina estava desenergizada, foi efetuado um ensaio de queda de potencial tradicional, isto é, baixa frequência e baixa corrente. Após algum tempo foi efetuado o ensaio da mesma malha sob condições operativas normais e com o método de queda de potencial com alta-frequência.

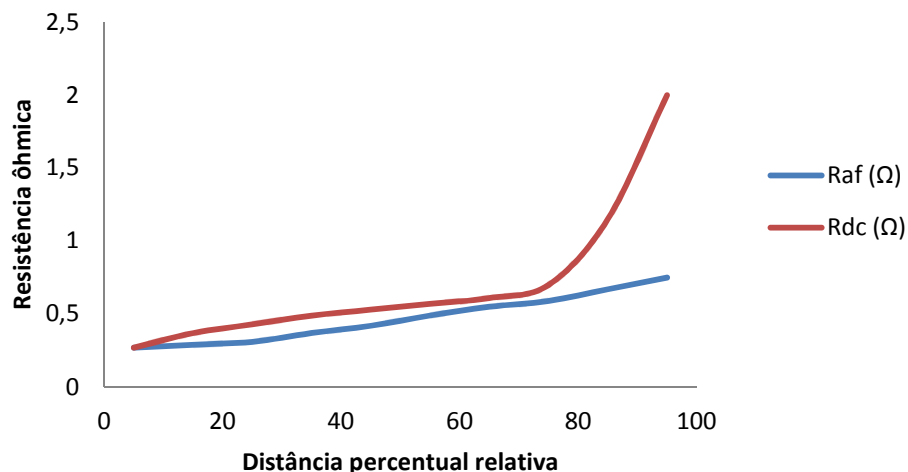


Figura 5 – Gráfico comparativo das medições sob uma mesma malha

Devido às demandas de distância dos dois métodos de testes serem diferentes, para fins de comparação na Figura 5, foram colocadas no eixo horizontal as variáveis referentes à distância relativa percentual. Deste modo pode ser facilmente comparada a região de definição de resistência, normalizada em 62 %.

A resistência obtida através do método de alta frequência (Raf) foi de 0,55 Ω , já a resistência obtida pelo método tradicional (Rdc) foi de 0,60 Ω . Como há várias variantes que podem influenciar nesta medida, é possível considerar que os resultados obtidos pelos distintos métodos chegaram a um mesmo resultado.

5.0 - CONCLUSÕES

Neste trabalho abordamos sobre a avaliação de malhas de aterramento em usinas geradoras de energia elétrica utilizando o método de alta frequência. Após todas as informações levantadas por meio de pesquisa bibliográfica e a constatação em campo, pode-se comprovar que o referido método apresenta muitas vantagens interessantes para o uso em campo, dentre elas destacam-se a possibilidade da realização dos testes com a planta em operação normal e a atenuação do efeito de resistências de malhas em paralelo, não necessitando com isso que as malhas sejam desacopladas fisicamente, o que nem sempre é possível ou exequível.

Os resultados obtidos no teste comparativo demonstraram que o método apresentou resultados confiáveis. Entretanto este método permite que apenas alguns testes relativos ao sistema de aterramento sejam executados e deste modo, há ensaios importantes que não são possíveis de serem efetuados somente com um terrômetro. Outrossim, embora este método demande menor distância para o eletrodo de corrente e dispense o desacoplamento das malhas, ainda é um método deveras trabalhoso e que demanda um elevado número de homens/hora para ser executado propriamente, independentemente das dimensões e da geometria da planta avaliada.

Devido a carência de informações a respeito deste tema, muito ainda precisa ser feito. Embora o método aqui exposto seja muito útil, novos métodos de trabalho precisam ser desenvolvidos, visando principalmente tornar a avaliação mais simples e rápida e buscando ampliar o espectro de informações que podem ser obtidas a respeito das malhas sob teste.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento – NBR 15749. Brasil.
- (2) MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Segurança em instalações e serviços em eletricidade - NR 10 Portaria nº 3214/78, 2004. Brasil.
- (3) GAMBOA, L.R.A., SILVA, J.M., RIBAS, C.E. Medição da resistência de malhas de terra energizadas, em SES 34,5/13,8 kV e obtenção da resistividade de solos de SES, em laboratório. Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Curitiba-PR, 2005.
- (4) MORENO, H., COSTA, P.F. Aterramento elétrico. São Paulo: Procobre, 1999. 39 p.
- (5) MARIANO, C.A.S., LEAL, E. M., MOURA, M.S., QUEIROZ, F.B. Technical Analysis of electrical ground system in hydroelectric power plant, on normal operation with low risk factor. X International Symposium on Lightning Protection, Curitiba-PR, 2009.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Rodrigo Braun dos Santos (*), nascido em 06 de Abril de 1983, natural de Cascavel no estado do Paraná. Graduado em 2009 como Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal do Paraná – UFPR. Engenheiro de manutenção de equipamentos elétricos da geração da Companhia Paranaense de Engenharia – Copel.

