



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

FI/GSE/25  
18 a 21 de Outubro de 2015  
Foz do Iguaçu - PR

**GRUPO – VIII**

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

**NOVA METODOLOGIA PARA MEDIDAS DE RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO EM SUBESTAÇÕES DE ENERGIA URBANAS**

**Adroaldo Raizer (\*)**  
Universidade Federal de  
Santa Catarina - UFSC

**Wilson Valente Júnior**  
Instituto Federal de  
Santa Catarina - IFSC

**Vilson Luiz Coelho**  
Faculdade SATC

**Carlos Iran Cardoso**  
Cia Estadual de Energia  
Elétrica-CEEE-GT

**RESUMO**

Este trabalho tem como principal objetivo, apresentar uma solução viável para a tomada de medições de resistência de aterramento em distâncias reduzidas, já que na prática, esta é a condição apresentada pela maioria das subestações urbanas. Um campo de prova com 4 malhas de aterramento com configurações geométricas distintas foi implementado para a realização de um grande número de ensaios de medição. Com base no tratamento dos resultados, um modelo matemático foi desenvolvido para estabelecer as distâncias corretas nas medições em condições de distâncias reduzidas. Ao final, apresenta-se uma discussão do método proposto, bem como sua validação em subestações reais.

**PALAVRAS-CHAVE**

Aterramento, Subestações, Proteção, Sistemas de Potência, Medidas Elétricas

**1.0 - INTRODUÇÃO**

A obtenção dos valores de resistência de aterramento constitui um dos fatores principais na análise da segurança elétrica de subestações de energia elétrica. Esta informação é tida como primordial, não apenas para manter um caminho de baixa impedância para a proteção do sistema elétrico em eventuais surtos, mas também para garantir que a elevação de potencial na superfície do solo não atinja níveis acima dos limites estabelecidos para tensões de toque e passo em subestações.

Haja vista a sua fundamental importância, é possível observar historicamente uma grande preocupação da comunidade científica e de engenheiros na obtenção de medidas que consigam definir com razoável precisão o valor correto da resistência do sistema de aterramento (1-9). Estes métodos são frequentemente escopo de trabalho para o estabelecimento de normas técnicas de segurança, com protocolos e métodos de medição bem estabelecidos (10-12).

Existem diversos métodos para medição de resistência de aterramento. Apesar disso, o método da queda de potencial é o mais utilizado [1-5]. Entretanto, este método e seus procedimentos normativos exigem determinadas condições que muitas vezes são de difícil obtenção quando aplicado em subestações em operação no sistema elétrico de potência, principalmente em ambientes urbanos. Via de regra, é necessária uma distância aproximada de 4 a 10 vezes a maior diagonal da malha de terra para posicionamento do eletrodo de corrente ( $d_A$ ) e de 2 a 6 vezes a maior diagonal da malha de terra ( $D$ ) para o posicionamento do eletrodo de potencial ( $d_P$ ). Este procedimento de medição torna-se muitas vezes inviável, seja por questões operacionais, ou por questões de ordem prática em subestações urbanas, dado a extensão de cabos e obstáculos físicos nos pontos de medição. Em uma tentativa de superar os aspectos supracitados, alguns métodos alternativos têm sido adaptados, utilizando-se de outras estruturas do sistema elétrico de potência como eletrodo auxiliar, por exemplo, torres de linhas de transmissão aterradas, subestações vizinhas, dentre outras. Nestes casos, as distâncias podem ser muito grandes e as medidas sofrer influência de fatores externos (interferências), como por exemplo, o acoplamento com

linhas de transmissão e distribuição. Assim, ou as avaliações são feitas fornecendo valores incorretos, o que contraria a segurança, ou as medições acabam não sendo realizadas.

Neste trabalho, propomos um método eficaz para avaliação da resistência de terra, e tensões de toque e de passo em subestações urbanas, a fim de contribuir com esta área de P&D. Trata-se de um modelo matemático com base em regressão linear que calcula a estimativa de erro e avalia a melhor posição do eletrodo de potencial para cada condição de medição. Neste sentido, o método desenvolvido é facilmente aplicado às condições de distâncias reduzidas e não tão suscetível a interferências externas, quando comparado aos métodos tradicionais (10).

## 2.0 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Geral

Diversos artigos apresentados na literatura técnica contribuem para a resolução de alguns dos problemas apresentados na seção anterior. Em (4) é apresentada uma extensa análise de medidas de impedância de aterramento utilizando o método da queda de potencial. Como resultado, um conjunto de curvas é apresentado para definir os locais exatos de instalação do eletrodo de potencial quando os eletrodos de corrente e potencial estão em diferentes direções. Além disso, curvas representativas do erro de medição são disponibilizadas para os casos em que o eletrodo de potencial é definido para locais onde é impossível sua instalação. Uma análise similar para medições de impedância de aterramento em solos multicamadas também é discutida. Em (9) está descrito um método e um instrumento para a medição das tensões de toque e passo próximas de um sistema de aterramento.

O método sugere a injeção de uma corrente transitória entre o aterramento e um eletrodo auxiliar, permitindo medições de potenciais de terra em diferentes locais do sistema. O artigo apresentado em (8) propõe uma técnica para medições de resistência de aterramento sem a utilização de eletrodos auxiliares. Neste, uma técnica e uma ferramenta de medição são introduzidas e discutidas. Na referência (2), um método da queda de potencial modificado é apresentado. Trata-se de um método voltímetro/amperímetro que não requer o uso de eletrodos auxiliares. Usando apenas estruturas de aterramento próximas à subestação o método permite a determinação da resistência de aterramento de um ponto da malha e da resistência do eletrodo de terra efetivo da subestação. O método produz resultados precisos e tem aplicação nas medições de resistência de terra em locais onde é difícil a utilização de eletrodos auxiliares.

### 2.2 Método de TAGG

O método de TAGG, preconizado pela norma IEEE Std. 81-2012 (10) é baseado nos trabalhos desenvolvidos por G.F. TAGG (1), desde 1970, e também conhecido como o "método de declive". Neste método, os pressupostos de resistividade uniforme do solo e representação do sistema de eletrodo de aterramento como um eletrodo hemisférico equivalente são utilizados. Adicionalmente, este método permite realizar a medição dos valores de aterramento com eletrodos em distâncias mais convenientes, através da introdução do fator de erro das distâncias na equação de queda de potencial.

Em linhas gerais, o método de inclinação do Dr. TAGG (1) pode ser aplicado a partir do seguinte protocolo de medidas (10):

- Escolha de um ponto de partida conveniente para medições lineares e seleção de uma distância adequada para o posicionamento do eletrodo de corrente ( $d_A$ ).
- Medição de três valores de resistências  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  inserindo os eletrodos de potencial ( $d_P$ ) nas distâncias de  $0.2 \times d_A$ ,  $0.4 \times d_A$ , e  $0.6 \times d_A$ , respectivamente.
- Cálculo do coeficiente de variação de inclinação ( $\mu$ ), utilizando a expressão:  $\mu = (R_3 - R_2) / (R_2 - R_1)$ .
- Seleção do valor  $d_{PT} / d_A$  correspondente ao valor " $\mu$ " em uma tabela de correção proposta por TAGG (10) (para  $\mu$  variando de 0.4 a 1.59).
- Medição da resistência verdadeira de aterramento ao colocar a sonda de potencial  $d_{PT}$  na distância estabelecida pela tabela.

## 3.0 - FORMULAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

O método proposto, denominado RABIT (*Reference Averaged Boundary Infinite Transformation*) foi desenvolvido a partir de uma série de resultados experimentais e posterior tratamento analítico de dados. Este método apresenta uma abordagem diferente dos demais trabalhos encontrados na literatura técnica, a qual é apresentada nesta seção.

### 3.1 Levantamento dos Dados Experimentais

Para o levantamento de dados foi construído um campo de testes (CT UFSC) com 4 malhas de aterramento de diferentes geometrias (10 x 10 m, 5 x 10 m, 2,5 x 10 m, 5 x 5 m,) em um terreno do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, afastado e livre de interferências externas, localizado nas coordenadas Latitude 27°40'52", Longitude. 48°32'11". Os parâmetros de resistividade e estratificação do solo neste campo foram sistematicamente monitorados de modo a controlar as suas condições de contorno durante os ensaios.

Neste terreno, as 4 malhas de aterramento foram construídas com cabo de cobre nu, tempera meio dura, de 95 mm<sup>2</sup>, e conectores tipo compressão. A Figura 1 ilustra a configuração geométrica da malha 10 x 10 m, enterrada a 0,5 m da superfície do solo. As demais malhas seguem configuração similar e foram construídas espaçadas entre si no terreno disponível.

Após a implementação do campo de prova, foi realizada uma série de ensaios de medição de modo a constituir um banco de dados com informações características das malhas de aterramento. Estes ensaios seguem a configuração do método da queda de potencial (10) (12) apresentada na Figura 2. A variação sistemática das distâncias  $d_P$  e  $d_A$  permitem uma análise da influência da aproximação dos eletrodos de referência, principal foco deste trabalho.

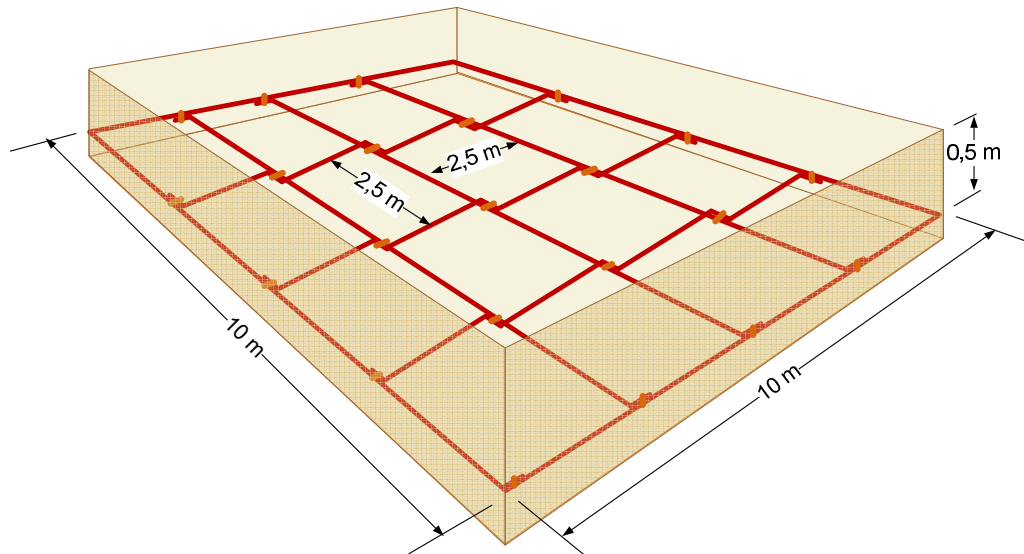


FIGURA 1 – Malha de Terra 1: 10 m x 10 m

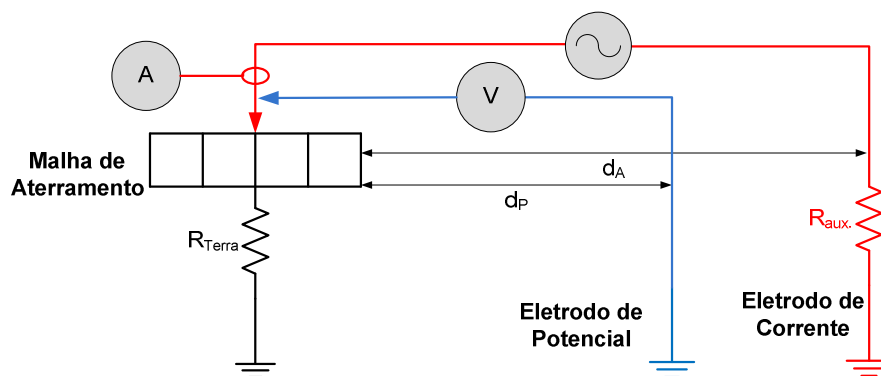


FIGURA 2 – Esquema de Medição

### 3.2 Tratamento Analítico dos Dados

Entende-se que, assim como TAGG realizou em seu trabalho (1) (10), o principal desafio na obtenção de valores de aterramento em curtas distâncias é a definição de equações ou modelos analíticos que corrijam o erro inserido pela utilização de eletrodos em regiões próximas. No método RABIT, esse tratamento foi realizado de forma analítica, através de regressão linear, conforme apresentado a seguir.

O gráfico da Figura 3 mostra o resultado das medições para a malha 10 x 10 m, sendo que para as demais malhas as curvas apresentam comportamento similar. Os valores estão em p.u. do valor teórico normativo (Método de TAGG) para valores de  $d_P$  iguais a 20, 40 e 60% de  $d_A$ . Foram utilizados valores de  $d_A$  entre  $6D$  e  $0,1D$ , onde  $D$  é o valor da diagonal da malha analisada. Percebe-se que para o intervalo de  $d_P$  entre  $0,2d_A$  a  $0,6d_A$ , a curva típica de resistência se aproxima de uma reta. Utilizando-se as técnicas de regressão linear é possível determinar os coeficientes lineares e angulares das retas para os diversos valores da relação  $d_A/D$ .

Para cada conjunto de medidas efetuadas para um mesmo  $d_A$ , determinou-se o  $d_P$  para  $R$  igual a 1 p.u. O gráfico da Figura 4 apresenta o comportamento dos valores de  $d_P$ , para  $R=1$  p.u., em função dos diversos afastamentos do eletrodo de corrente, nas quatro malhas do campo de teste. Neste, percebe-se uma forte correlação entre os valores para uma linha de tendência logarítmica.

### 3.3 Expressão Analítica do Método RABIT

Em função da análise efetuada na seção anterior, percebe-se que a equação logarítmica [1] pode determinar com alguma precisão a distância relativa entre o eletrodo de potencial e o eletrodo de corrente, para uma determinada distância entre o eletrodo de corrente e a malha.

$$d_P(R) = 0,14 \ln\left(\frac{d_A}{D}\right) + 0,41 \quad [1]$$

Esta equação poderá ser útil nas medições com pequenos valores de  $d_A$ , quando não se obtém um patamar na determinação da curva típica de resistência.

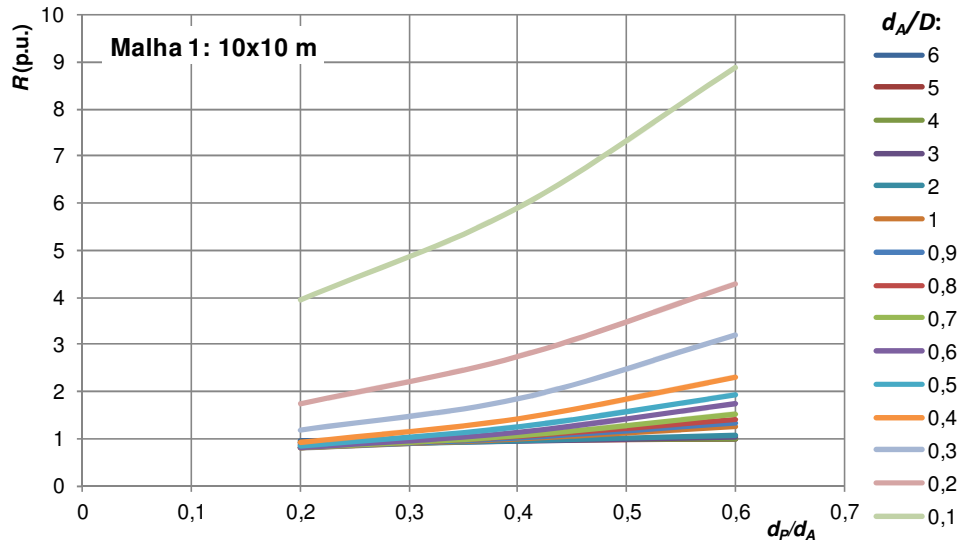


FIGURA 3 – Curvas Típicas de Resistência – Malha 10 x 10m

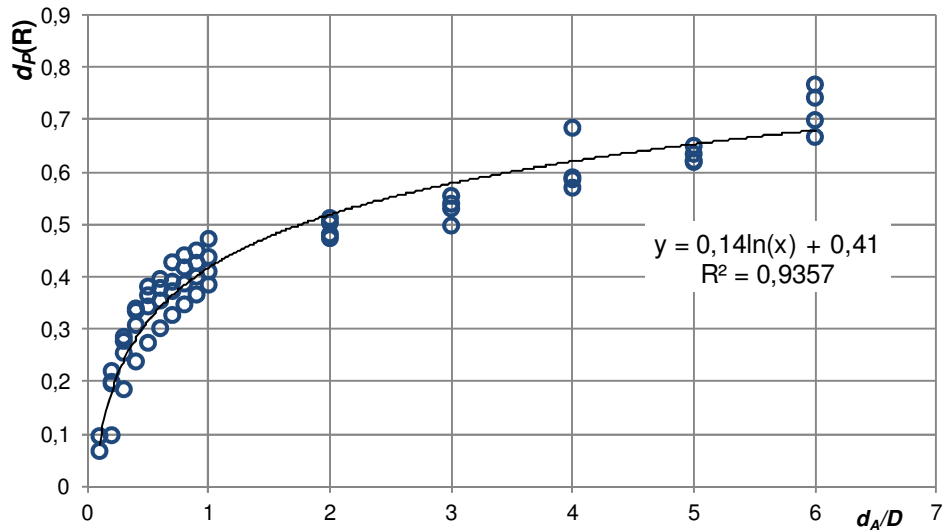


FIGURA 4 – Espaçamento  $d_P$  em função da relação  $d_A/D$  para  $R = 1$  p.u.

#### 4.0 - MEDIÇÃO DOS POTENCIAIS DE PASSO E TOQUE

Tradicionalmente, a análise das tensões de toque e passo é realizada a partir de procedimentos de medição e equipamentos de acordo com normas técnicas bem estabelecidas (10) (13).

Nestes procedimentos, o circuito de injeção de corrente é similar ao apresentado na Figura 3 com a injeção de corrente realizada em um ponto central da malha. Para a aquisição de dados, na medição dos potenciais de toque, um voltímetro é conectado entre um ponto exposto conectado a malha e um ponto a ser medido, afastados de 1 m, enquanto nas medições de potencial de passo as medidas de tensão são realizadas entre hastes localizadas em pontos predeterminados afastados de 1 m (vide Figura 5).

Os valores medidos das tensões de passo e toque referem-se à corrente de ensaio e devem ser corrigidos para a máxima corrente de falta da malha de acordo com [2].

$$V_R = \left( \frac{V_e}{I_e} \right) I_M \quad [2]$$

onde:  $V_e$  é o valor da tensão obtida no ensaio (toque ou passo),  $I_e$  a corrente utilizada no ensaio,  $I_M$  a máxima corrente de falta da malha e  $V_R$  a tensão (passo ou toque) real. Assim, o principal resultado deste ensaio são as relações entre os valores de tensão de toque ou passo e a corrente de teste, que representam estas tensões referidas a uma corrente unitária, ou a uma “resistência” de passo ou toque.

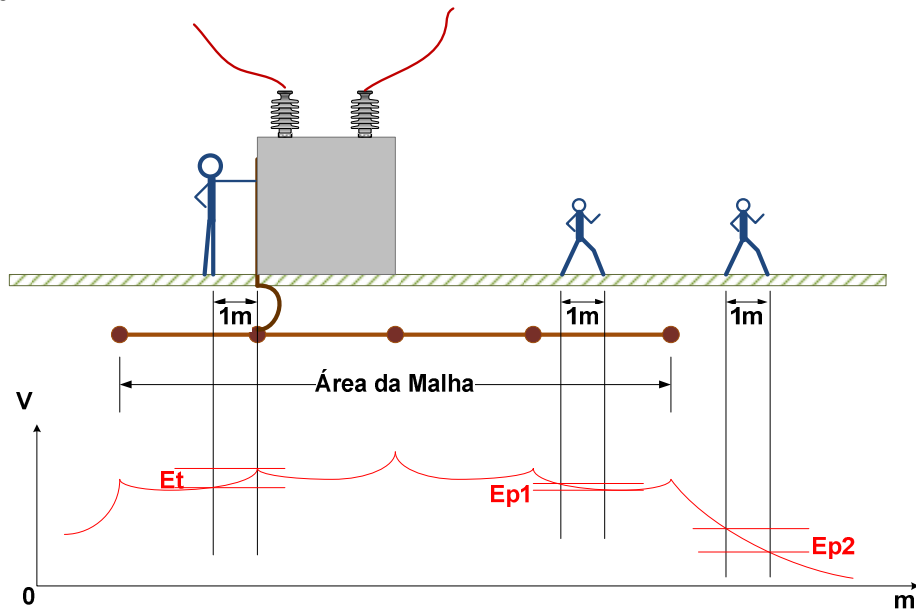


FIGURA 5 – Tensões de Passo e Toque na Área da Subestação

#### 4.1 Medição dos Potenciais na Superfície do Solo pelo Método RABIT

No ensaio de medição do potencial da malha o terminal de terra do voltímetro é conectado ao eletrodo de potencial ( $P_P$ ) localizado a uma distância  $d_P$  da malha, e o eletrodo de corrente ( $C_P$ ) posicionado a uma distância de referência  $d_A$ , é conectado ao gerador e ponto central da malha de aterramento, em um procedimento de medida similar a configuração apresentada na Figura 3.

Neste ensaio especificamente foram executadas medições para várias distâncias  $d_A$ , e as distâncias  $d_P$  foram determinadas de acordo com o método RABIT.

Por este método, os potenciais de passo e toque máximos podem ser determinados de forma indireta, utilizando-se a curva de potencial da malha e a aplicação de Lei de KIRCHOFF no circuito de medição. Da mesma forma que o método tradicional, os resultados referem-se a corrente de ensaio, e posteriormente também é aplicada a equação [2].

#### 5.0 - TESTES PARA VALIDAÇÃO DO MÉTODO RABIT

Esta seção apresenta os resultados das aplicações dos métodos de TAGG, prático (regra do 62%) e RABIT, tanto para obtenção da resistência de aterramento, quanto para obtenção das tensões de toque e passo. Para isto utilizou-se um grande conjunto de medidas realizadas em 8 diferentes malhas de aterramento, no sentido de comparar os resultados e suas características frente ao estabelecido como referencial teórico (obtido em condições ideais de medição, em distâncias suficientemente grandes para obedecer todos os critérios de conformidade quanto a geometria hemisférica (10).

##### 5.1 Validação das Medidas de Resistência

Para verificação do método, utilizou-se um amplo conjunto de medidas realizadas em malhas de teste e malhas de subestações em operação. O valor de referência utilizado foi a medição para  $d_A = 4D$  e  $d_P$  determinado conforme método de TAGG.

Observou-se que em condições hemisféricas os resultados apresentados pelo método RABIT aproximam-se daqueles obtidos com o método de TAGG, sendo o erro percentual entre eles menor do que 1%.

Considerando que o método tem como objetivo estimar valores de resistência de aterramento para condições em que grandes afastamentos dos eletrodos de corrente não são possíveis, apresenta-se na Tabela 1 resultados de testes em 5 diferentes malhas para  $d_A$  entre 2 e  $0,25D$ . Nesta,  $R_T$  refere-se aos valores medidos considerados corretos, e  $R_m$  aos valores medidos considerando o método RABIT. As malhas 3 a 5 são malhas reais de subestações em operação. No caso da malha 4, os valores referentes a  $2D$  e a  $0,25 D$  não foram obtidos em função de obstáculos físicos que impediram a medição.

O gráfico da Figura 6 mostra os erros relativos dos valores medidos em relação aos valores considerados corretos. Neste, percebe-se que o erro aumenta significativamente para as medições feitas com  $d_A$  igual a  $0,25D$ .

Para medições feitas num intervalo de  $d_A \geq 0,5D$  o erro médio fica inferior a 5% e o erro máximo encontrado é de 13,8%. Neste caso, percebeu-se que o erro absoluto foi muito pequeno, haja vista os baixos valores de resistência medidos (inferiores a 1 ohm).

TABELA 1 – Valores de Resistência Medidos pelo Método RABIT

MALHA:	D (m)	$R_T$ ( $\Omega$ )	$R_m$ ( $\Omega$ )				
			$d_A/D$				
			2	1	0,75	0,5	0,25
1	14,14	17,68	17,06	17,01	16,89	17,15	23,70
2	7,07	76,28	78,96	74,39	72,97	70,62	69,47
3	28,81	7,71	7,99	6,92	7,08	6,92	9,04
4	80,03	0,83	-	0,78	0,72	0,83	-
5	2,83	27,73	27,52	27,56	26,87	28,20	23,90

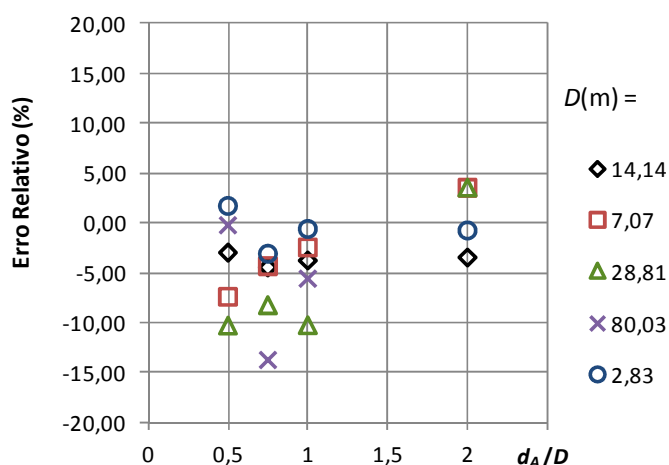


FIGURA 6 – Erro Relativo (%) nas Medições de Resistência de Aterramento

## 5.2 Validação das Medidas de Potencial na Superfície do Solo

Um segundo objetivo deste trabalho, é avaliar a aplicação do referido método para a obtenção dos potenciais de toque e passo, de modo a investigar se as distâncias de referencia necessárias para aplicação dos eletrodos de injeção de corrente possuem influencia na obtenção destes potenciais. Para tanto, as medições indiretas propostas pelo método RABIT são confrontadas com as do método tradicional estabelecido na norma ABNT NBR 15749 (12). A Figura 7 apresenta de maneira comparativa os valores de potencial de passo e toque, medidos segundo o método tradicional e o método RABIT na malha 1. No eixo vertical, a relação  $V_e/I_e$  representa os valores de tensão de passo e toque em relação a uma corrente unitária (p.u.).

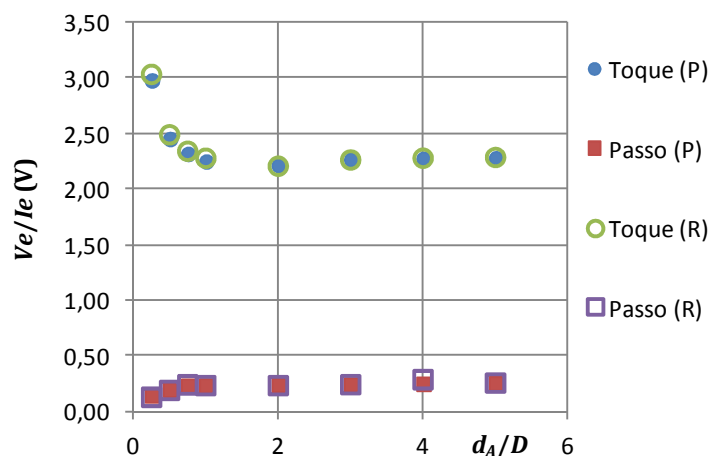


FIGURA 7 – Medições de Tensão de Passo e Toque (malha 1) – Método Padrão (S) e RABIT (R)

Percebe-se que os valores obtidos para os dois métodos são bastante similares, de onde se pode concluir que a preocupação com a posição do eletrodo de tensão é desnecessária, quando se objetiva determinar os potenciais

de passo e toque. Quanto ao eletrodo de corrente, percebe-se que para distâncias entre este e a malha, inferiores a  $1D$ , ocorre uma alteração dos valores medidos. Ou seja, as medições são uniformes até  $d_A=1D$  e abaixo disto ocorre uma pequena alteração nos valores que se acentua a medida que se reduz  $d_A$ . Assim, da mesma forma que para as medidas de resistência pelo método RABIT, para valores de  $d_A$  inferiores a  $0.75D$ , o erro de medição é significativo. Assim, sugere-se que para medições de potenciais de toque e passo, a mínima distância do eletrodo de corrente à malha seja 75% da maior diagonal da mesma.

## 6.0 - DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

A redução de distâncias de medição sempre foi um desafio técnico a ser superado nestas análises, pois as distâncias mínimas requeridas pelas normas técnicas são cada vez mais inviáveis em subestações urbanas. Além disso, grandes distâncias implicam na possibilidade de ocorrência de erros de medição, pois os efeitos dos acoplamentos e interferências aumentam significativamente.

Com relação aos métodos de medição de resistência de aterramento, explorados neste trabalho, método de TAGG e método RABIT, ambos permitem a tomada de medições de resistência de aterramento, de potencial de toque e passo em uma malha de terra, com eletrodos de corrente e de tensão posicionados a curtas distâncias em relação à malha de terra de uma subestação. Destaca-se que ambos os métodos conseguem obter resultados bastante satisfatórios, pois utilizam equações ou aproximações analíticas que corrigem o erro inserido pela utilização de eletrodos em regiões próximas. Entretanto, é importante destacar que apesar dos resultados similares, as abordagens matemáticas empregadas para cada um dos métodos são completamente distintas. Enquanto o método TAGG baseia-se na obtenção de um coeficiente de inclinação ( $u$ ) o método RABIT leva em consideração uma regressão linear e uma aproximação logarítmica que correlaciona o comportamento de variação dos eletrodos de potencial e de corrente quando aproximados da malha.

Em termos práticos, o método de TAGG requer a realização de 4 medições para estimativa do valor de resistência da malha. Neste aspecto, o Método RABIT leva uma vantagem considerável pois requer apenas um único ponto de medição para estabelecimento do valor correto da resistência de aterramento. Além disto, o ponto correto pode ser previamente calculado, bastando para isto o conhecimento antecipado da maior dimensão da malha  $D$ , o que em termos práticos torna muito versátil a aplicação deste método.

Ambos os métodos não apresentam bons resultados quando as distâncias de medição são extremamente próximas. De acordo com os resultados obtidos nesta pesquisa, pode-se estabelecer a distância de 0.75 vezes a maior dimensão da malha como um valor aceitável para implementação dos métodos.

No que tange aos aspectos de susceptibilidade frente à influência de interferências externas pode-se afirmar que o método RABIT é menos susceptível do que os métodos normativos tradicionais, haja vista que as pequenas distâncias implicam em menor área de susceptibilidade frente às interferências originadas pela indução de campos eletromagnéticos, acoplamentos, etc.

No tocante às tensões de passo e toque, conclui-se que a posição dos eletrodos de tensão não são fatores críticos quando se objetiva determinar estas tensões. Os resultados obtidos com o eletrodo de corrente em distâncias acima de  $0.75D$  são suficientes para a determinação destes coeficientes.

Apesar dos resultados desta pesquisa serem bastante promissores sobre o ponto de vista de contribuição ao estado da arte nesta área de pesquisa, estima-se que ainda é necessário algum trabalho para ajuste e validação definitiva do método desenvolvido.

Após uma série de análises técnicas, que envolveram, desde processos de medição de resistividade de solo, simulação computacional, tratamento matemático e de correlação de dados, foi possível levantar informações pertinentes para o subsídio de métodos de medição de resistência de aterramento em distâncias reduzidas. O método proposto passou por um processo de validação de resultados, e pode ser uma ferramenta funcional para profissionais das áreas de projeto, construção e manutenção de sistemas elétricos.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) TAGG, G. F., "Measurement of the resistance of physically large earth-electrode systems" Proceedings of the IEE, vol. 117, no. 11, pp. 2185-2190, 1970.
- (2) KORASLI C., "Ground Resistance Measurement with Alternative Fall-of-Potential Method" Proceedings of the Transmission and a Distribution Conference and Exhibition-IEEE-PES, pp. 942-946, 21-24 May, Dallas-TX, USA, 2006.
- (3) WANG C., TAKASIMA T. T., SAKUTA T., AND TSUBOTA Y., "Ground resistance measurement using fall-of-potential method with potential probe located in opposite direction to the current probe," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 13, pp. 1128-1135, Oct. 1998.
- (4) MA J. e DAWALIBI F. P., "Extended analysis of ground impedance measurement using the fall-of-potential method", IEEE Trans. Power Delivery, vol. 17, pp. 881-885, Oct. 2002.
- (5) MA J. e DAWALIBI F. P., "Influence of inductive coupling between leads on ground impedance measurements using the fall-of-potential method", IEEE Trans. Power Delivery, vol. 16, pp. 739-743, Oct. 2001.
- (6) HEPPE, R. J., "Computation of potential at surface above and energized grid or other electrode, allowing for non-uniform current distribution", IEEE PAS-98, No. 6, Nov/Dec. 1979.

- (7) PARISE, G; LUCHERONI, M, "Measurements of Touch and Step Voltages Adopting Current Auxiliary Electrodes at Reduced Distance", Proceedings of the Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference, pp. 191-198, 8-12 May, Saratoga Springs-NY, USA, 2005.
- (8) MURAKAWA, K.; YAMANE, H.; HATTORI, M.; "Earthing Resistance Measurement Technique Without using Auxiliary Electrodes", Proceedings of the IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Vol.1, pp. 213-216, 16 May, Instabul, Turkey, 2003
- (9) MELIOPOULOS, A.S., PATEL S., COKKINIDES G. J., A new method and Instrument for touch and step voltage measurements, IEEE trans. on Power Delivery, v. 9, n. 4, 1994.
- (10) IEEE Std. 81-2012, "IEEE Guide for Measurement Earth Resistivity, Ground impedance, and Earth Surface potentials of a Grounding System", IEEE Power and Energy Society, New York, USA, 2012.
- (11) LEE C. H. AND MELIOPOULOS A.P.S., "Comparison of touch and step voltages between IEEE Std 80 and IEC 479-1" IEEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution, Vol. 146. No. 5, pp. 593-601, Sept. 1999.
- (12) ABNT NBR 15749-2009, Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento, 2009.
- (13) ANSI / IEEE Std 80-2000 - IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, 2000.
- (14) ANSI / IEEE Std 81.2 - IEEE Guide for Measurement of Impedance and Safety Characteristics of Large, Extended or Interconnected Grounding Systems, 1991.

## 8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Adroaldo Raizer**, nascido em 1963 em Lages/SC, possui graduação (1985) e mestrado (1987) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina e Doutorado (1991) em Engenharia Elétrica pelo Institut National Polytechnique de Grenoble-França. Atualmente é Professor Titular do Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica da Universidade Federal de Santa Catarina, onde atua desde de 1992. Publicou mais de 30 artigos em periódicos especializados, mais de 170 trabalhos em anais de eventos, 4 capítulos de livros especializados e 1 patente. Foi coordenador e pesquisador de mais de 20 projetos de pesquisas e de desenvolvimento tecnológico. Orientou 22 dissertações de mestrado e 14 teses de doutorado em Engenharia Elétrica. Atua na área de Engenharia Elétrica e Eletrônica com

ênfase em interferência e compatibilidade eletromagnética, campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos e sistemas de aterramento.

**Wilson Valente Júnior**, nascido em 1979 em Florianópolis/SC, possui graduação (2002) e mestrado (2006) e doutorado (2011) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina. Atualmente é professor efetivo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC), onde atua desde 2011. Desenvolve trabalhos nas seguintes linhas de pesquisa: simulação computacional, interferência eletromagnética em equipamentos eletromédicos, risco biológico em seres vivos, avaliação de campos eletromagnéticos em ambientes de risco (estabelecimentos assistenciais de saúde, plantas industriais, subestações de energia, linhas de transmissão, sistemas de telecomunicações).

**Vilson Luiz Coelho**, nascido em 1956 em Ibirama/SC, possui graduação (1979), mestrado (2005) e doutorado (2010) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina. Atualmente é professor da Faculdade SATC e diretor técnico da empresa Power Engenharia ME. Entre 1980 e 2003 atuou na Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A./CELESC na função de engenheiro e gerente de normas e padrões de materiais e equipamentos do sistema de distribuição. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Transmissão e Distribuição da Energia Elétrica.

**Carlos Iran Cardoso**, nascido em 1952 em Santa Maria/RS, possui graduação (1977) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria-RS. Engenheiro Eletricista. Funcionário da CEEE – De 1978 a 1998 e de 06/03/2007 até os dias atuais, atuando nas áreas de Engenharia de Manutenção de Subestações Convencionais e Isoladas a Gás SF6; Projeto e Construção de Sistemas de Aterramento de Subestações e Linhas de Transmissão.