



## **XIX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica**

**SENDI 2010 – 22 a 26 de novembro**

**São Paulo - SP - Brasil**

### **Medição da Resistência das Conexões Enterradas da Malha de Terra em Subestações Energizadas**

<b>Emerson Ivam R. dos Santos</b>	<b>Alexandre Gonçalves</b>
<b>EDP Bandeirante</b>	<b>EDP Bandeirante</b>
emerson.santos@edpbr.com.br	alexandre.goncalves@edpbr.com.br

#### **Palavras-chave**

Alicate terrômetro  
Aterramento equipamentos  
Aterramento  
Malha de aterramento  
Subestações

#### **Resumo**

Este trabalho procura atender exigências da NR - 10, que inclui a realização de medições e registro atualizado da malha de aterramento que compõe o sistema de proteção das instalações elétricas, como a NR – 10 não detalha métodos específicos para realização deste acompanhamento, algumas soluções alternativas foram buscadas.

Atualmente, além dos problemas normais de corrosão e de construção das malhas mais antigas, o sistema de aterramento das subestações tem sido exposto a condições muito perigosas em relação ao seu estado de funcionalidade, isso devido ao grande numero de ocorrências de vandalismo (furtos).

Não podemos deixar de lado, as condições de se desenergizar uma subestação, assim, surgiu a necessidade de buscar alternativas de medições viáveis, dando-se preferência aos métodos que é possível trabalhar com a subestação energizada.

Por não haver métodos normalizados para efetuar medições seguras com malhas energizadas, procurou-se adaptar técnicas simples e de fácil execução por pessoal técnico com treinamento específico, de forma atender as exigências, mesmo que parcialmente.

O método apresentado neste trabalho foi desenvolvido e apresentado pelo LACTEC em um treinamento realizado na cidade de Curitiba, o mesmo permite uma avaliação correta da condição de falha no aterramento dos equipamentos de uma subestação energizada, embora não indique com precisão o grau de corrosão de uma conexão que ainda esteja em boas condições de continuidade.

A principal vantagem é a obtenção rápida do estado da conexão enterrada de equipamentos para fins de segurança da equipe de operação e manutenção.

## 1. INTRODUÇÃO

Para a avaliação do estado das conexões enterradas, apresentamos como proposta, a aplicação do método desenvolvido pelo LACTEC e que esta sendo testado e implantado na EDP Bandeirante.

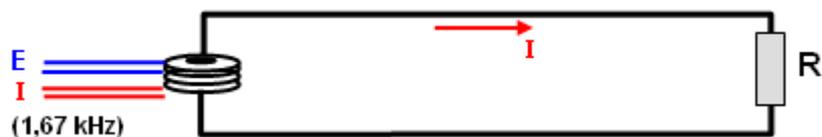
Outra opção para esta verificação seria o método convencional, para inspeção e medição da resistência das conexões enterradas precisaríamos abrir uma valeta, expondo a conexão de forma a viabilizar uma inspeção visual e a medição da resistência da conexão utilizando um microohmmetro, com certeza este método seria dispendioso e praticamente inviável.

O método proposto utiliza um alicate terrômetro que opera aplicando uma corrente, a corrente induzida neste “primário” depende da resistência  $R$  (imagem 1).

Um segundo enrolamento é montado no núcleo magnético do instrumento, que fornece a tensão  $E$ , proporcional ao valor fluxo magnético gerado pela corrente  $I$ .

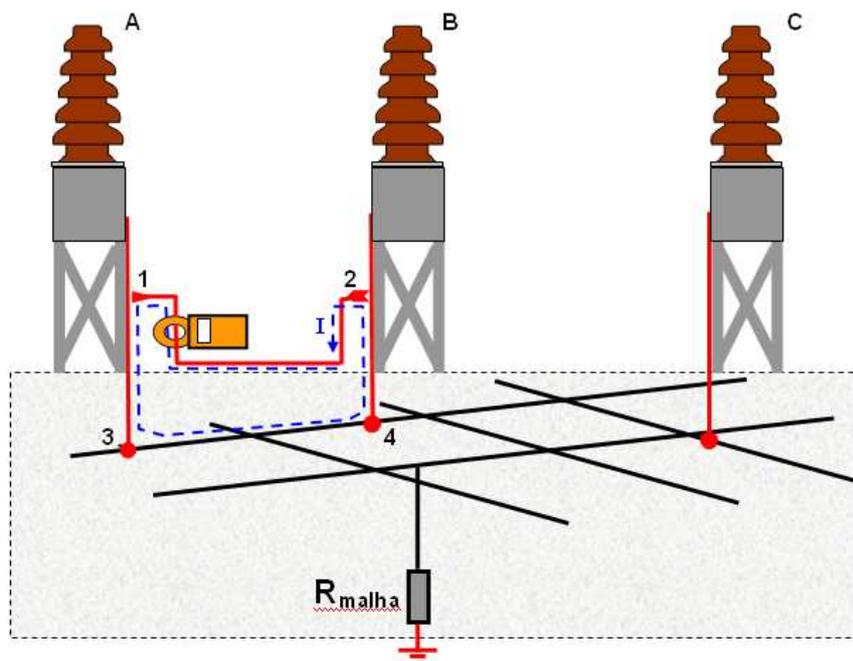
No display o instrumento entregará como resultado a medida da resistência  $R$ , a partir de  $E$  e  $I$ .

Imagem 1 – Funcionamento do alicate terrômetro



Com base neste princípio podemos fechar um circuito elétrico entre a malha de aterramento da subestação e os cabos que fazem a conexão das estruturas ou equipamentos a esta malha, conforme apresentamos na imagem 2.

Imagem 2 – Detalhe do circuito de medição



Os fatos encontrados fazem com que o método proposto permita uma avaliação correta da condição de falha no aterramento dos equipamentos da subestação, embora não indique com precisão o grau de corrosão de uma conexão que ainda esteja em boas condições de continuidade.

A principal vantagem é a obtenção rápida do estado da conexão enterrada de equipamentos para fins de segurança da equipe de operação e manutenção.

Para efetuar medição das conexões enterradas, duas a duas, é necessário fechar um circuito entre as descidas de aterramento (imagem 2). A resistência total medida pelo instrumento será o somatório da resistência dos cabos de medição e os da malha, mais as conexões de ensaio (1 e 2) e as conexões enterradas da malha (3 e 4).

No caso, a medição mostrará o estado das conexões de aterramento dos equipamentos das fases A e B, o valor da resistência do circuito de medição (cabo mais conexões) tem um valor conhecido e como a resistência dos cabos de terra e das duas conexões enterradas em boas condições é muito inferior a  $100 \mu\Omega$ , encontramos assim um valor médio para o circuito formado, desta forma, valores considerados altos nesta medição podem ser caracterizar conexões enterradas com defeito.

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1. PROCEDIMENTO RECOMENDADO PARA VERIFICAÇÃO DAS CONEXÕES ENTERRADAS COM ALICATE TERRÔMETRO:

- Dispor do desenho da malha e de um esquema da subestação;
- Identificar as conexões de aterramento para facilitar o registro das medições;
- Verificar com a operação condições de serviço para evitar manobras voluntárias no pátio da subestação durante as medições, de modo a minimizar riscos de acidentes com potenciais de passo e toque;
- Ligar o alicate terrômetro na função  $\Omega$  e aguardar o fim da contagem regressiva de sua auto-calibração;
- Com o auxílio das resistências de calibração de  $0,5$  e  $100 \Omega$ , verificar se o alicate terrômetro opera normalmente, conforme imagem 3.

Imagem 3 – Verificação do desvio



· Após vestir o jogo de luva isolante de 7500 V, classe 1, tipo II, conectar a garra de corrente do cabo de medição numa das descidas de aterramento das conexões sob teste (imagem 4) e fazer a outra conexão na segunda descida. Neste caso pode ser usada uma segunda garra de corrente ou uma ponta metálica montada numa vara isolante para alta tensão (imagem 5). Um detalhe dos terminais empregados no exemplo é mostrado na imagem 6.

Imagem 4 – Ligação da garra jacaré



Imagem 5 – Fechamento do circuito de medição

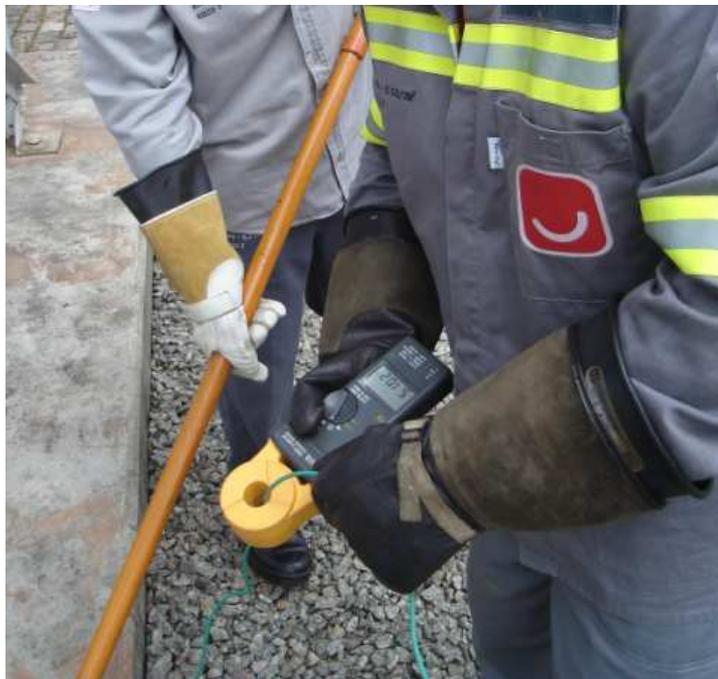


Imagem 6 – Detalhe dos terminais do cabo de medição



- Enlaçar o cabo de medição com o alicate terrômetro e realizar a medição do valor da resistência (imagem 7). Anotar o valor numa planilha;

Imagem 7 – Medição da resistência com o alicate terrômetro



- Repetir este procedimento para outro par de conexões enterradas até completar o conjunto de medições programado.

Observação: Para minimizar o número de medidas em equipamentos monofásicos da mesma barra, como conjuntos de TP's e TC's, a seqüência mais prática é manter como referência a descida do cabo de aterramento a fase B e efetuar a medição contra cada uma das descidas das fases laterais, A e C ( $R_{A-B}$  e  $R_{B-C}$ ). Se nestas duas medidas for confirmada a continuidade (valor inferior a 500 m $\Omega$ ), pode-se considerar que as três conexões enterradas estão corretas e se dispensar a medição de  $R_{A-C}$ .

## **2.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Para valores acima de 500 m $\Omega$ , verificar o aperto das conexões do circuito de medição e a calibração do alicate terrômetro e repetir a medição. Se o valor da medida, após esta verificação se mantiver elevado, pode-se concluir que uma das conexões enterradas está comprometida. Vários casos podem ser encontrados e são descritos a seguir.

### **2.2.1. UMA CONEXÃO ABERTA**

Neste caso, será necessário testar cada uma das descidas contra uma terceira para saber qual das conexões suspeitas está com defeito. Por exemplo, num teste realizado pelo LACTEC, a equipe de manutenção verificou num conjunto de TC's uma medida de aproximadamente 14  $\Omega$  numa das medições. Após verificar as conexões de ensaio este valor foi repetido, por comparação, verificou-se que uma destas conexões devia estar aberta. As medições feitas foram:

$$R_{A-B} = 14 \Omega;$$

$$R_{A-C} = 150 \text{ m}\Omega;$$

$$R_{B-C} = 14 \Omega.$$

A interpretação destes resultados é simples, uma vez que sempre que a descida do cabo de aterramento do TC da fase B estava envolvida o valor da resistência medida era elevado (14  $\Omega$ ), portanto, muito acima do limite recomendado (500 m $\Omega$ ), enquanto que na medição que envolve as descidas dos cabos de aterramento dos TC's das fases A e C, o valor foi normal (150 m $\Omega$ ).

### **2.2.2. MAIS DE UMA CONEXÃO ABERTA**

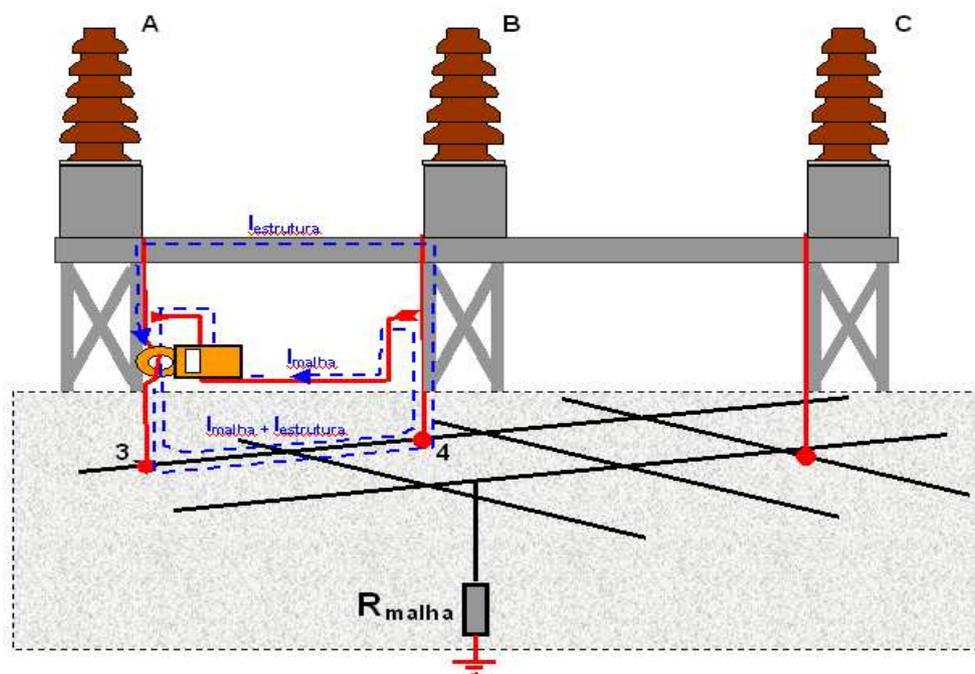
Se das três descidas de um determinado circuito, duas conexões estiverem abertas, aparecerão dois valores superiores a 500 m $\Omega$  e um terceiro valor ainda maior (aproximadamente o somatório deles). Para confirmar, será necessário empregar como referência uma conexão próxima, que tenha mostrado valor normal numa medição anterior e medir, com relação a esta, as três descidas deste circuito.

### **2.2.3. ATERRAMENTO DE ESTRUTURAS METÁLICAS COM MAIS DE UMA DESCIDA**

É importante considerar que na subestação pode haver estruturas com mais de uma descida de aterramento (pórticos, travessas metálicas de equipamentos, etc.). Se as descidas estão interligadas via estrutura metálica comum, a medição normal conforme a imagem 2 acusará um valor baixo, independentemente das conexões enterradas estarem danificadas ou abertas. Para evitar isto, o alicate terrômetro deverá envolver uma das descidas de aterramento, logo abaixo da conexão do cabo de

ensaio, conforme mostra a imagem 8. Desta forma, para falhas nas conexões enterradas (pontos 3 ou 4), o instrumento acusará um valor elevado de resistência por que os dois caminhos de corrente ficarão interrompidos para o alicate terrômetro.

Imagem 8 – Ensaio em estruturas metálicas multiterradas



#### 2.2.4. AÇÃO ADOTADA

Após verificar a existência de conexões enterradas deficientes será necessária uma inspeção visual para dimensionar o problema e efetuar uma manutenção corretiva com a brevidade necessária.

### 2.3. OBSERVAÇÕES E CUIDADOS ADICIONAIS

#### 2.3.1. RUÍDO

Em alguns locais da SE, o campo eletromagnético pode ser muito intenso e gerar uma corrente induzida de 60 Hz circulando pelo cabo de medição. Dependendo do valor desta corrente o terrômetro alicate poderá acusar uma mensagem de ruído excessivo (“noise” ou algo similar, conforme o modelo que esteja sendo utilizado). Isto inviabiliza a medição, porém, indica algo muito importante em termos práticos: o circuito está fechado. Uma forma de minimizar este tipo de indução é tentar reduzir a área do loop formado pelo cabo de medição, as descidas e a malha de terra. Na imagem 4 esta idéia está implícita ao deixar o cabo de medição descer junto aos cabos de aterramento das carcaças sob teste. O posicionamento das conexões do cabo de medição (1 e 2) pode o mais baixo possível. (Na imagem 4 a altura destas conexões está exagerada).

### *2.3.2. DETALHES DO MATERIAL NECESSÁRIO*

- Alicate terrômetro;
- 10 metros de cabo isolado, flexível e com seção de pelo menos 4,0 mm<sup>2</sup>, com terminais tipo garra de corrente. A garra mostrada na imagem 6 é um modelo aplicado para carregamento de baterias. Um dos terminais pode ser similar às pontas de prova dos micro-ohmímetros convencionais. O modelo da imagem 6 foi adaptado de um segmento de conjunto de aterramento temporário, aguçando-se a ponta. A vantagem com este terminal é realizar uma boa conexão sem aproximar a mão, espetando o cabo de aterramento, mesmo que este esteja com a superfície suja, de forma mais segura;
- Jogo de luvas isolantes 7500 V, classe 1, tipo II.

### *2.3.3. EQUIPE DE TRABALHO*

Para a execução destes serviços são necessários dois técnicos com treinamento específico.

## **3. CONCLUSÕES**

Os resultados da aplicação desta técnica na EDP Bandeirante já geraram resultados, pois nos testes iniciais conseguimos localizar cabos de aterramento que estavam desconectados ou com alto valor de resistência com a conexão à malha de terra da subestação.

A rotina de manutenção terá início no mês de fevereiro de 2008, onde esperamos encontrar outras situações que comprove a funcionalidade deste ensaio.

Durante os ensaios realizados ficou claro a funcionalidade deste procedimento, aliado a facilidade de realização e interpretação dos resultados encontrados.

## **4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E/OU BIBLIOGRAFIA**

1. LACTEC – Apostila de treinamento de “Ensaio Elétrico e Diagnóstico em Equipamentos de Subestação”, Julho/2006;
2. NR – 10. “SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE”. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria n° 598, Dez/2004;
3. PROVA INSTRUMENTS. Manual de Instruções do Alicate Terrômetro, modelo 5600.
4. MAMEDE, João Filho – Instalações Elétricas Industriais. Editora LTC, 2005;