

Capítulo VI

Métodos normalizados para medição de resistência de aterramento

Jobson Modena e Hélio Sueta *

A ABNT NBR 15749, denominada Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento, foi publicada em agosto de 2009 e, finalmente, estabelece os critérios e métodos de medição de resistência de sistemas de

aterramento e de potenciais na superfície do solo, bem como define as características gerais dos equipamentos que podem ser utilizados nas medições, assuntos que se apresentam como polêmicos, interessantes e incrivelmente desconhecidos pela maioria dos profissionais que atua na área.

Quando há injeção de corrente elétrica na terra, seja pela ocorrência de uma falta na instalação ou por raios, as correntes dispersas pelo sistema de aterramento provocam o surgimento de diferenças de tensão entre pontos da superfície do solo (tensões superficiais). Dependendo da forma com que essas tensões forem referenciadas, aplicam-se os conceitos de tensão de passo e de toque, embora, conceitualmente ou não, os riscos oferecidos por esse fenômeno sempre serão consideráveis.

Há ainda o risco para os circuitos que, de alguma forma, estejam ligados ao sistema de aterramento e a pontos distantes da superfície do solo ou a outros sistemas de aterramento afastados (por potencial transferido).

Para determinação dos parâmetros com finalidade de pesquisa, verificação de níveis de segurança em instalações em funcionamento ou, ainda, no comissionamento de instalações novas, os ensaios de campo são uma forma eficiente para obtenção dos valores da resistência ôhmica do eletrodo de aterramento e dos valores dos potenciais de passo e de toque calculados em projeto. Portanto, a resistência do eletrodo de aterramento associada aos potenciais na superfície do solo de uma instalação elétrica são grandezas a serem medidas, visando a:

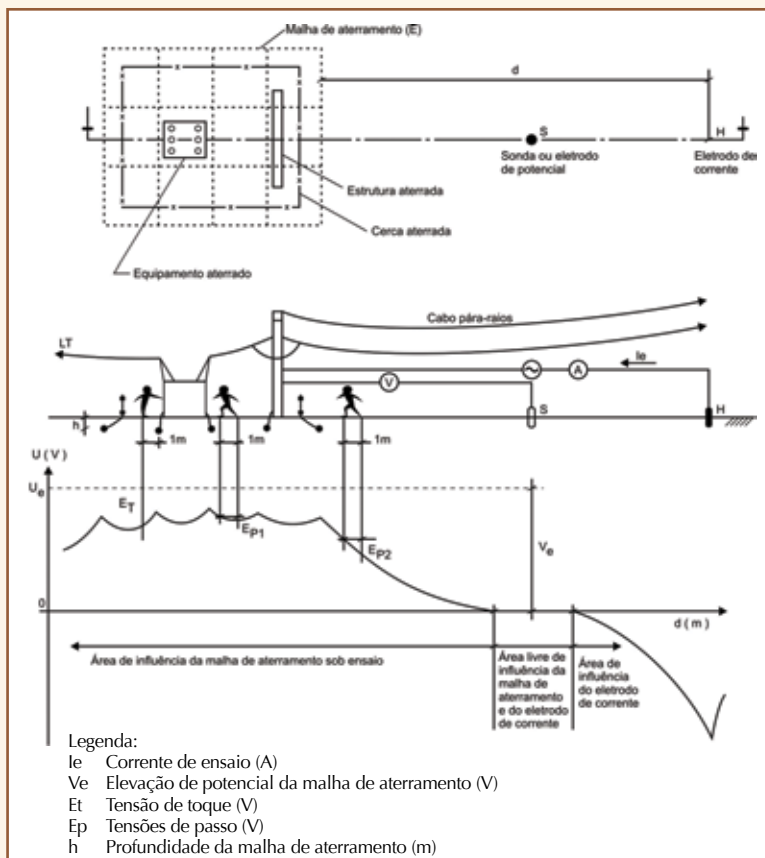


Figura 1 – Tensões que podem aparecer em uma instalação.

- verificar a eficiência do eletrodo em dispersar corrente elétrica no solo em que está inserido;
- detectar tensões superficiais que ofereçam risco aos seres vivos e equipamentos;
- determinar a elevação de potencial do sistema de aterramento em relação ao terra de referência.

É importante ressaltar que o valor da resistência ôhmica do eletrodo não determina a sua integridade física, uma vez que os resultados obtidos dependem, além do eletrodo, das condições do solo em que este foi inserido.

Além dos métodos da queda de potencial e da queda de potencial com injeção de alta corrente, a ABNT NBR 15749 normaliza o método síncrono à frequência industrial; o método do batimento; o método de injeção de corrente com amperímetro, voltímetro e wattímetro adicional; e métodos alternativos de medição com as instalações energizadas. Trata ainda dos seguintes assuntos decorrentes: compensação capacitiva, especificação de equipamentos para execução dos ensaios e informações sobre o terrômetro alicate.

De forma geral, não importando o método escolhido – o que dependerá da situação de ensaio encontrada – certas regras técnicas e de segurança são recomendadas:

- utilizar calçados e luvas com nível de isolamento compatível com os

valores máximos de tensão que possam ocorrer no sistema sob medição;

- evitar a realização de medições sob condições atmosféricas adversas, tendo em vista a possibilidade de ocorrência de descargas atmosféricas;
- impedir que pessoas estranhas ao serviço e animais se aproximem dos eletrodos utilizados na medição;
- utilizar aparelhos compatíveis aos especificados no Anexo C da ABNT NBR 15749 a fim de garantir a segurança dos operadores e fidelidade dos resultados. A utilização de equipamentos de medição em desacordo com os requisitos do Anexo C torna necessária a adoção de medidas de segurança adicionais, tais como aquelas utilizadas para trabalhos em áreas energizadas.

Medição de resistência de aterramento utilizando o método da queda de potencial

Este método é recomendado para medições por meio de equipamentos específicos, por exemplo, o terrômetro. O método consiste basicamente em fazer circular uma corrente por meio de um circuito compreendido pela malha de aterramento que queremos saber o valor da resistência ôhmica de aterramento, um trecho da terra e um eletrodo auxiliar de corrente. Simultaneamente deve-se medir a tensão entre a malha e o terra de referência (terra remoto) por meio de uma sonda ou eletrodo auxiliar de potencial. A Figura 2 mostra, de forma esquemática, como é feita a medição.

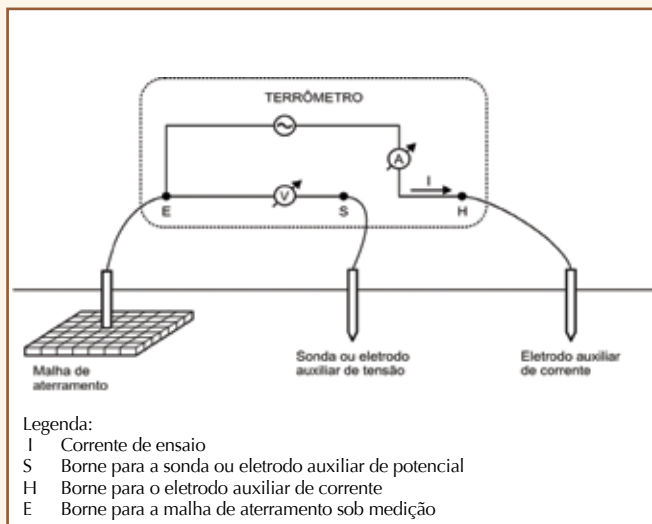


Figura 2 — Método da queda de potencial.

Os eletrodos auxiliares de corrente e de tensão são constituídos cada um deles por uma ou mais hastes metálicas interligadas e cravadas no solo, de forma a garantir a menor resistência de aterramento do conjunto.

A sonda, ou eletrodo auxiliar de tensão (também chamado de eletrodo de potencial), deve ser deslocada (geralmente em uma reta entre a malha de aterramento e o eletrodo de corrente) a partir da periferia do sistema de aterramento sob ensaio em intervalos regulares de medição iguais a 5% da distância “d” mostrada na Figura 1. Dessa forma, é possível obter uma curva (Resistência X distância), conforme mostrado na Figura 3.

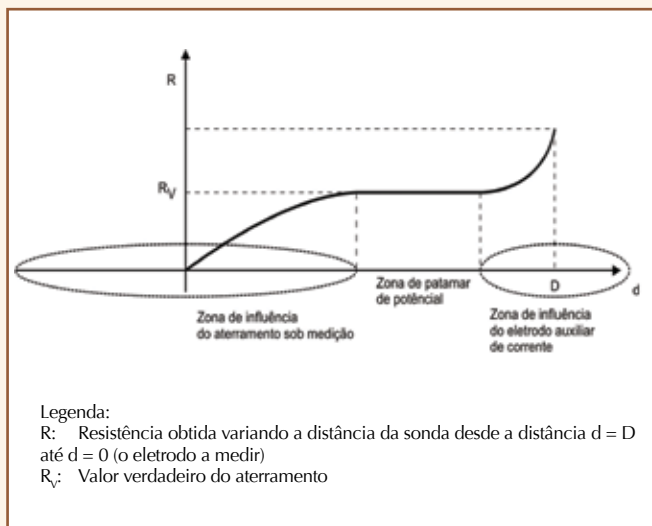


Figura 3 — Curva característica teórica da resistência de aterramento de um eletrodo pontual.

Esta curva característica teórica (Figura 3) apresenta duas partes curvas que são zonas de influência mútua entre a malha, o eletrodo auxiliar de corrente e a terra, e uma zona chamada de “patamar de potencial”, onde se pode encontrar o valor verdadeiro de aterramento.

A Figura 4 mostra curvas típicas de resistência de aterramento em função das posições relativas dos eletrodos auxiliares de potencial e de corrente.

Esta curva característica teórica (Figura 3) apresenta duas partes curvas que são zonas de influência mútua entre a malha, o eletrodo auxiliar de corrente e a terra, e uma zona chamada de “patamar de potencial”, onde se pode encontrar o valor verdadeiro de aterramento.

A Figura 4 mostra curvas típicas de resistência de aterramento em função das posições relativas dos eletrodos auxiliares de potencial e de corrente.

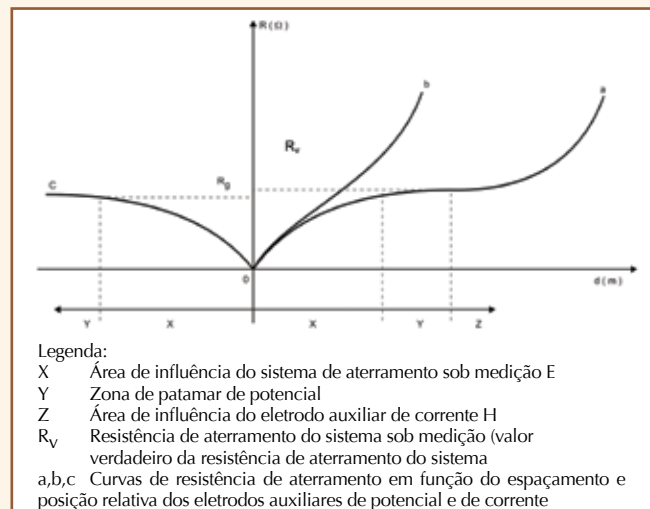


Figura 4 — Curvas típicas de resistência de aterramento em função das posições relativas dos eletrodos auxiliares de potencial e de corrente.

As curvas “a” e “b”, apresentadas na Figura 4, mostram a configuração do resultado quando o deslocamento do eletrodo de potencial foi coincidente com a direção e o sentido do eletrodo de corrente. Na curva “c”, o sentido do eletrodo de potencial foi contrário ao do eletrodo de corrente. Desta análise também podemos verificar que nas curvas “a” e “c” temos o patamar que corresponde ao valor da resistência de aterramento da malha sob ensaio. No caso da curva “b”, o eletrodo de corrente está em uma distância insuficiente, sendo que as zonas de influência do sistema de aterramento e do eletrodo de corrente podem estar se sobrepondo, não sendo possível obter um valor confiável da resistência de aterramento. Neste caso, para viabilizar o ensaio, é necessário um afastamento do eletrodo de corrente ainda maior que o utilizado para a medição. Esse expediente pode ser utilizado também para obtenção das curvas “a” e “c” dependendo das condições do local.

Tomemos como referência a Figura 2. Em geral, a distância “d” da periferia da malha de aterramento sob ensaio até o eletrodo de corrente deve ser de, no mínimo, três vezes a maior dimensão da malha. Para verificar o trecho horizontal da curva (patamar em que deve ser tomado o valor da resistência de aterramento), devem ser tomadas algumas medições variando a posição do eletrodo de potencial em 5% de “d” para a direita (S1) e para esquerda (S2) do ponto de medição inicial S. Se este ponto não estiver na área de sobreposição das áreas de influência e a porcentagem entre a diferença dos valores medidos com o eletrodo de potencial em S1 e S2 e o valor medido em S não ultrapassar 10%, podemos tomar o valor de resistência medido em S como a resistência de aterramento da malha.

Uma medida importante para evitar erros na medição é verificar

as influências externas no local de instalação do eletrodo de corrente. É muito importante que entre este eletrodo e o sistema de aterramento sob ensaio não existam condutores metálicos enterrados, tubulações metálicas, contrapesos de linhas de transmissão ou armações de fundações de edificações. Assim, torna-se muito difícil, na maioria das vezes, impossível a medição por meio deste método em locais em que haja áreas urbanas densamente ocupadas ou indústrias com eletrodos de aterramento interligados, etc.

Em relação ao sentido de movimentação do eletrodo de potencial, existem vantagens e desvantagens nas duas formas de medição. Na teoria, o deslocamento do eletrodo de potencial no mesmo sentido do eletrodo de corrente apresenta, para um determinado ponto S, o valor verdadeiro da resistência do sistema de aterramento sob ensaio. Assim, como referência, temos que, para solos homogêneos, sistemas de aterramentos considerados pequenos (maior dimensão inferior a 10 metros) com distância de afastamento “d” adequada entre o sistema (ponto E) e o eletrodo de corrente (ponto H), o ponto S dista de E aproximadamente 62% da distância “d”.

Em solos não homogêneos ou em sistemas de aterramento complexos, a determinação adequada de S é mais difícil. A norma ABNT NBR 15749 apresenta um exemplo (Figura 5) para sistemas de aterramento pequenos (para fins teóricos, um eletrodo hemisférico) por meio de um gráfico relacionando p/d (em valores percentuais) com h/d (sendo h a profundidade da primeira camada do solo não homogêneo) para diversos valores do coeficiente de reflexão K, dado por:

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$$

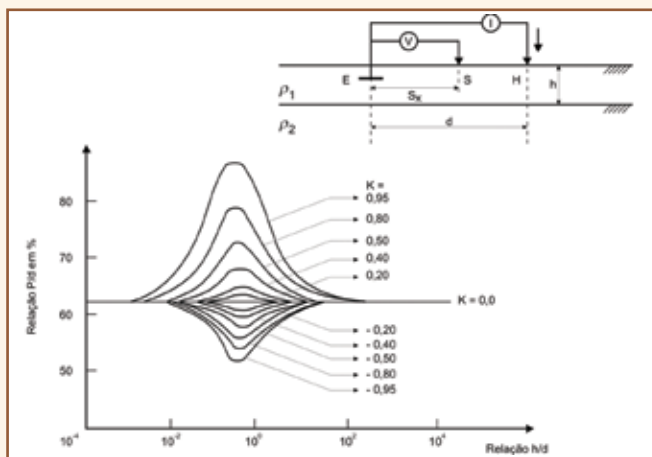


Figura 5 — Posição do eletrodo auxiliar de potencial para um solo de duas camadas.

A movimentação do eletrodo de potencial S em sentido contrário ao eletrodo de corrente H apresenta, teoricamente, valor de resistência inferior ao verdadeiro, denominado como limite inferior da resistência real. Apesar disso, este valor pode ser perfeitamente aceitável, desde que H esteja adequadamente afastado de E, uma vez que o valor da resistência dentro dos procedimentos globais de análise dos sistemas pode ser considerado com alguma aproximação. A grande vantagem deste procedimento é a minimização dos efeitos

de acoplamento entre os circuitos de corrente e potencial, sendo esta, em muitas situações, a única alternativa prática viável pelo método de queda de potencial. Para os sistemas maiores (dimensões superiores a 10 metros), não se recomenda este procedimento e, assim, as medições devem ser executadas com os eletrodos de corrente e de potencial alinhados e na mesma direção e sentido.

Para sistemas de aterramento com valores de resistência muito baixos, o efeito do acoplamento entre os cabos de interligação dos circuitos de corrente e potencial é um fator importante nas medições, principalmente nos sistemas de grande porte, pois estes necessitam de cabos com grandes comprimentos.

Regra prática:

- os problemas de acoplamento são desprezíveis nas medições de resistências de aterramento acima de 10 Ω;
- são importantes para as medições abaixo de 1 Ω; e
- são passíveis de análise, caso a caso, nas medições envolvendo valores entre 1 Ω e 10 Ω.

Em muitas medições é necessário o aumento da corrente de ensaio. A forma mais simples quando se usa equipamento que não permite variação de corrente é reduzir a resistência de aterramento do eletrodo de corrente, o que pode ser feito diminuindo a resistência de contato entre o eletrodo auxiliar e o solo, aumentando-se o número de hastes em paralelo, utilizando-se hastes de maior comprimento ou diminuindo-se a resistividade do ponto de instalação do eletrodo auxiliar de corrente. O valor máximo admissível da resistência de aterramento de cada eletrodo auxiliar é geralmente especificado pelos fabricantes dos instrumentos de medição.

Outro problema que pode interferir seriamente nas medições com instrumentos de corrente contínua são os potenciais galvânicos, polarização e correntes contínuas parasitas. De forma geral, os instrumentos utilizam corrente alternada. Mesmo estes podem ser afetados por correntes parasitas que circulam no solo, no sistema de aterramento ou nos circuitos sob ensaio. Como uma forma de minimizar este problema, pode-se utilizar uma frequência de ensaio diferente das frequências das correntes parasitas. Alguns instrumentos permitem variar a frequência da tensão aplicada sendo mais adequada, para estes casos, a utilização de filtros. Instrumentos de banda estreita são alternativas viáveis.

Como vimos, o método apresentado é bastante limitado e não deve ser utilizado indiscriminadamente. É importante lembrar que em qualquer tipo de ensaio um dos fatores que mais contribuem para o seu sucesso é a experiência e o bom senso de quem o realiza. Outros métodos para medições de resistência de ôhmica em eletrodos de aterramento serão apresentados em capítulos futuros.

JOBSON MODENA é engenheiro eletricista, membro do Comitê Brasileiro de Eletricidade (Cobei), CB-3 da ABNT, em que participa atualmente como coordenador da comissão revisora da norma de proteção contra descargas atmosféricas (ABNT NBR 5419). É diretor da Guismo Engenharia.

HÉLIO SUETA é engenheiro eletricista, mestre e doutor em Engenharia Elétrica, diretor da divisão de potência do IEE-USP e secretário da comissão de estudos que revisa a ABNT NBR 5419:2005.

Continua na próxima edição
Confira todos os artigos deste fascículo em www.osetoreletrico.com.br
Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para o e-mail redacao@atitudeeditorial.com.br