

Capítulo II

ABNT NBR 7117 – Medição da resistividade e estratificação do solo

A função básica de um sistema de aterramento é dissipar para o solo correntes oriundas de curtos-circuitos, surtos de manobra de equipamentos, surtos de origem atmosférica, etc., o que faz com que o estudo do solo seja fundamental para o projeto de uma malha de aterramento que deva atender aos requisitos de segurança.

Raramente, o solo é homogêneo, ou seja, sua resistividade varia em função de diversos fatores, como: nível de umidade, idade e formação geológica, temperatura, salinidade, composição, profundidade das camadas e outros fatores naturais.

Um exemplo desta variação é mostrado na Tabela 1, em que se quantifica a resistividade do solo, medida em $\Omega.m$.

Fatores externos também podem alterar ou influenciar a resistividade do solo, como contaminação e compactação do mesmo.

A norma ABNT NBR 7117 tem como escopo “estabelecer os requisitos para medição da resistividade e determinação da estratificação do solo”, ou seja, fornecer um caminho para quantificação da resistividade das diversas camadas do solo e de suas espessuras.

Os cálculos para o projeto de um sistema de aterramento (geometria, dimensões, etc.) são estabelecidos em função das medições de resistividade e estratificação do solo (levantamento

das curvas de resistividade), dados estes também necessários na determinação dos potenciais de toque e passo admissíveis para uma pessoa que com as instalações mantenha contato.

A resistividade do solo pode ser obtida por meio de medições diretas (trataremos dos métodos de medições a seguir) e os resultados devem ser tratados matematicamente para se obter a estratificação do solo em camadas paralelas ou horizontais (ver Figura 1 – Solo real (a) e solo estratificado (b)).

Os métodos de medição por sondagem elétrica (tensão e corrente originadas e obtidas através de eletrodos colocados no solo) procuram determinar a distribuição vertical de resistividade abaixo do ponto em estudo. De acordo com a norma e as experiências de campo e pesquisas realizadas, em um solo considerado aproximadamente homogêneo, pode-se dizer que cerca da metade da corrente injetada no solo pelos eletrodos auxiliares circula a uma profundidade igual à metade da distância de separação dos eletrodos instalados e que grande parte da corrente flui acima da profundidade igual à separação entre eles. Para solos na condição de não homogêneos (a maioria dos tipos de solo no Brasil), essa distribuição não

TABELA 1 – VALORES TÍPICOS DE RESISTIVIDADE DE ALGUNS TIPOS DE SOLO

<i>Tipos de solo</i>	<i>Faixa de resistividade ($\Omega.m$)</i>
Água do mar	Menor do que 10
Alagadiço, limo, húmus, lama	Até 150
Água destilada	300
Argila	300 – 5.000
Calcário	500 – 5.000
Areia	1.000 – 8.000
Granito	1.500 – 10.000
Basalto	A partir de 10.000
Concreto ⁽¹⁾	Molhado: 20 – 100 Úmido: 300 – 1.000 Seco: 3k $\Omega.m$ – 2M $\Omega.m$

⁽¹⁾ A categoria molhado é típica de aplicação em ambientes externos. Valores inferiores a 50 $\Omega.m$ são considerados altamente corrosivos

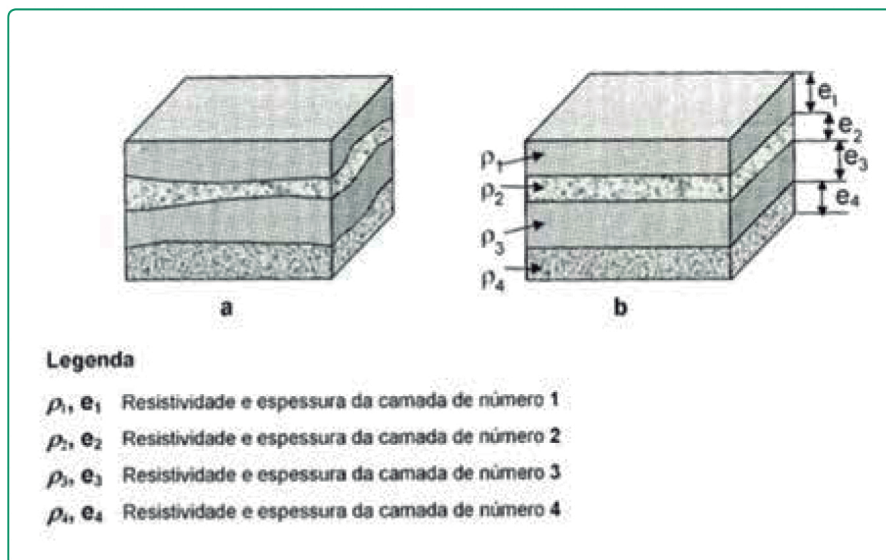


Figura 1 – Solo real (a) e solo estratificado (b).

é válida, pois a densidade de corrente varia de acordo com a distribuição das resistividades.

Deve-se ter em conta que os gradientes de potencial na superfície do solo, na área de ação de um eletrodo, são, principalmente, uma função da resistividade da camada superficial do solo. Já para a resistência do eletrodo de terra (especialmente se este for de grandes dimensões), os gradientes de potencial são função de suas dimensões e das resistividades das camadas mais profundas do solo.

A ABNT NBR 7117, em seu item 5.1.2, define as seguintes metodologias de medição:

- Por amostragem física do solo;
- Pelo método de variação da profundidade (ou dos três eletrodos);
- Pelo método dos dois eletrodos;
- Pelo método dos quatro eletrodos com arranjos do tipo central, de Lee, de Wenner e de Schlumberger – Palmer.

Abordaremos todos estes métodos, sendo que o arranjo de Wenner (ou de quatro eletrodos igualmente espaçados) é o método mais conhecido e mais utilizado em sondagens elétricas para determinar a resistividade específica do solo.

POR AMOSTRAGEM FÍSICA DO SOLO

Uma amostra definida é tomada do solo (deformada e/ou indeformada), podendo fornecer critérios comparativos com os resultados de medições em campo pelo método dos quatro eletrodos. Em laboratório podem ser levantadas as curvas de resistividade em função da quantidade de água adicionada ao solo. Também se pode determinar a capacidade de retenção de água da amostra, resultando em uma curva característica da resistividade versus percentual de água retida.

Como o efeito de absorção de água pelo solo está relacionado ao efeito de capilaridade, este ensaio de capacidade de retenção de água representa a umidade que o solo terá na maior parte do tempo, ou seja, a resistividade nessa porcentagem é a resistividade mais representativa do solo.

MÉTODO DA VARIAÇÃO DA PROFUNDIDADE (OU DOS TRÊS ELETRODOS)

Para fins práticos, a resistência de aterramento de uma haste enterrada em um solo uniforme é dada pela equação:

$$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot L} \left\{ \ln\left(\frac{4L}{r}\right) - 1 \right\} \quad (1)$$

Em que:

- R – Resistência da haste
- ρ – resistividade aparente do solo [$\Omega \cdot m$]
- L – comprimento da haste [m]
- r – raio da haste em metro.

Neste método, os eletrodos em forma de hastes de comprimento L e raio r são espaçados (espaçamentos compatíveis com a área que se está analisando para o projeto de aterramento).

Os eletrodos são aprofundados igualmente e suas resistências são medidas para cada uma destas profundidades (L). O valor de resistência medida para cada profundidade refletirá a variação da resistividade “aparente” em função do incremento da profundidade, a qual, se plotada em função de L, fornece uma ajuda visual para determinação da variação da resistividade do solo com a profundidade.

Os valores obtidos neste método devem ser entendidos como médios e não devem ser extrapolados.

MÉTODO DOS DOIS ELETRODOS (ANEXO D DA NORMA)

Este método é indicado quando se pretende avaliar a ordem de grandeza da resistividade de pequenos volumes de solo.

Ele consiste em cravar dois eletrodos iguais de comprimento L espaçados a uma distância maior ou igual a 5 x L interligados por meio de um cabo isolado. Utilizando um instrumento do tipo alicate terrômetro, mede-se a resistência em série dos eletrodos posicionando a pinça entrelaçada ao cabo de interligação.

Com esse arranjo, a resistência medida para os dois eletrodos (R_m) será

duas vezes a resistência de cada eletrodo (R_{1e}).

A resistividade média “ ρ_{2e} ” do solo entre os eletrodos será:

$$\rho_{2e} = \frac{R_m \pi L}{\ln\left(\frac{2L}{r}\right)} \quad (2)$$

MÉTODO DOS QUATRO ELETRODOS (GERAL)

Mais comum e mais aplicado para medição da resistividade média de grandes volumes de terra, este método consiste na cravação de quatro pequenos eletrodos a pequena profundidade, alinhados e espaçados em intervalos não necessariamente iguais. Injeta-se uma corrente “I” entre os dois eletrodos externos e a diferença de potencial

“V” é medida entre os dois eletrodos internos utilizando um potenciômetro ou voltímetro de alta impedância (Figura 2).

A resistividade será dada pela equação:

$$\rho_1 = \frac{2\pi}{\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_3} - \frac{1}{(d_1 + d_2)} - \frac{1}{(d_2 + d_3)}} \cdot \frac{V}{I} \quad (3)$$

O método permite variar os arranjos dos eletrodos. Neste capítulo iniciaremos abordando o arranjo do tipo eletrodo central.

Arranjo do eletrodo central

A Figura 3 exhibe o arranjo, o qual, pela sua configuração, é indicado para prospecção a grandes profundidades ou em locais em que a resistividade é elevada.

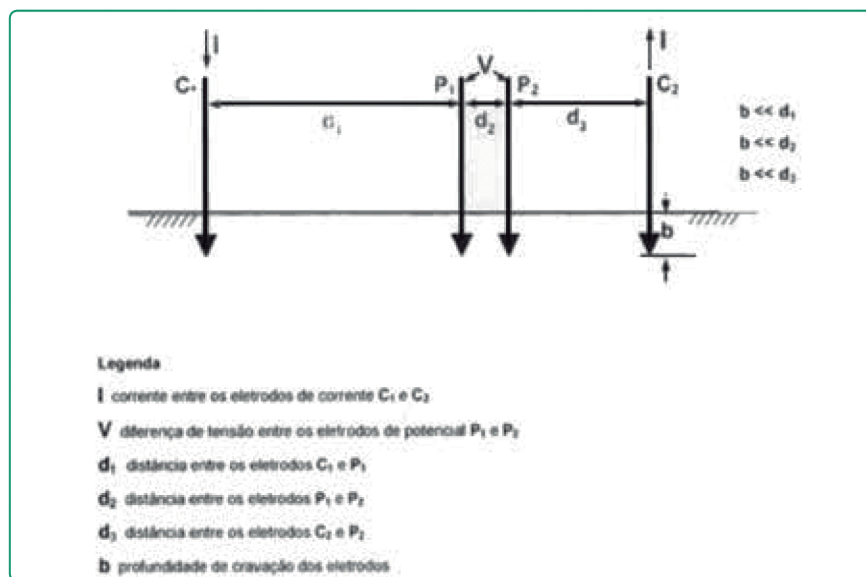


Figura 2 – Método dos quatro eletrodos (geral).

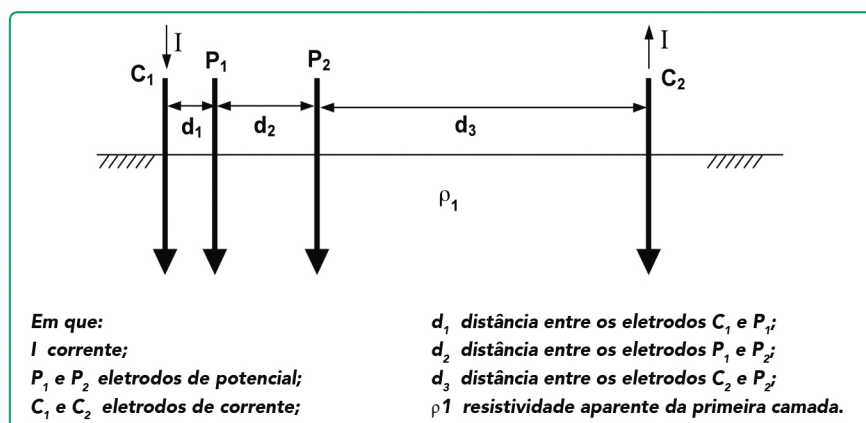


Figura 3 – Arranjo do eletrodo central.

O eletrodo C_2 é fixado no centro da área a ser medida, variando-se a posição dos eletrodos C_1 , P_1 e P_2 , obedecendo-se sempre a condição de " d_3 muito maior que d_1 e d_2 ".

A resistividade para uma profundidade H (dada pela média aritmética das distâncias d_1 , d_2 e d_3) é obtida pela equação (4), admitindo-se erro de 1%:

Em que:

$$\rho_{(H)} = \frac{2\pi \cdot d_1 \cdot (d_1 + d_2)}{d_2} \times \frac{V}{I} \quad (4)$$

No caso particular de $d_1 = d_2$, a expressão da resistividade é simplificada e reduz-se a:

$$\rho = 4 \cdot \pi \cdot d_1 \cdot \frac{V}{I} \quad (5)$$

No próximo capítulo serão abordados os demais arranjos, assim como alguns elementos de estudo e novas propostas para inclusão de outros métodos de medições.

**Carlos Alberto Sotille é engenheiro eletricista, mestre em ciências pela COPPE – UFRJ, pesquisador, foi professor do curso de graduação em Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de Lins. Atualmente é Diretor Técnico da Sota Consultoria e Projetos Ltda. e membro da CE-03:102 – Comissão de estudos "Segurança em Aterramento elétrico de Subestações C.A.", do Cobei/ABNT.*

Luis Alberto Pettoruti é engenheiro eletricista e eletrônico e pesquisador. Foi membro do Laboratório de Alta Tensão da Universidade Nacional de La Plata – Argentina. Atualmente, é sócio fundador e diretor técnico da Megabras Indústria Eletrônica Ltda. e membro da CE-03:102 – Comissão de estudos "Segurança em Aterramento elétrico de Subestações C.A." do Cobei/ABNT.

João Henrique Zancanella atua há mais de 30 anos no ramo elétrico em geração, transmissão e distribuição de energia. É superintendente de Marketing e Vendas da Intelli Indústria de Terminais Elétricos Ltda., membro e coordenador da CE-03:102 – Comissão de estudos "Segurança em Aterramento elétrico de Subestações C.A.", do Cobei/ABNT.

CONTINUA NA PRÓXIMA EDIÇÃO

Acompanhe todos os artigos deste fascículo em www.osetoreletrico.com.br

Dúvidas, sugestões e outros comentários podem ser encaminhados para redacao@atitudeeditorial.com.br