UNIVERSIDADE DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
LABORATÓRIO DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

GUIA DE EXPERIMENTO: MEDIÇÃO DE RESISTÊNCIA DE UM SISTEMA DE ATERRAMENTO E RESISTIVIDADE DO SOLO

Autores:
Ana Vitória de Almeida Macêdo
Prof. Edson Guedes da Costa

Supervisão:
Prof. Edson Guedes da Costa

Revisão:
Felipe Lucena Araújo
João Marcelo Costa Leal
João Viniccius Gomes Alves
Renato Andrade Freitas

Agosto de 2011

Sumário

1. Objetivos do Sistema de Aterramento 2
2. Introdução 3
3. Topologias 3
4. Resistividade do Solo 5
5. Composição Geológica 6
6. Umidade 7
7. Composição Química (Salinidade) 8
8. Temperatura 9
9. Aterramento de Segurança 9
10. Procedimentos para Medição da Resistividade do Solo 10
    10.1. Objetivos 10
    10.2. Material Utilizado 10
    10.3. Procedimentos Experimentais 10
    10.4. Medições 14
11. Procedimentos para Medição de Terra 14
    11.1. Objetivos 14
    11.2. Material Utilizado 15
    11.3. Procedimentos Experimentais 15
    11.4. Medições 17
12. Análises das medições e comentários 18
13. Anexos 19
    13.1. Anexo I – TecAt Plus 5.2© 19
14. Bibliografia 20

1. Objetivos do Sistema de Aterramento

Aterrar os sistemas, ou seja, ligar intencionalmente à carcaça de um equipamento um condutor fase ou o que é mais comum, o neutro à terra, tem por objetivo controlar a tensão dentro de limites previsíveis. O aterramento também fornece um caminho para a circulação de corrente, o que irá permitir a detecção de uma ligação indesejada entre os condutores vivos e a terra, o que provocará a operação de dispositivos automáticos que removerão a tensão nos condutores.

O controle das tensões, em relação à terra, limita o esforço da tensão na isolação dos condutores, diminui as interferências eletromagnéticas e permite a redução dos perigos de choque para as pessoas que poderiam entrar em contato com os condutores vivos (SOUZA, 2007).

Diante do exposto, os sistemas de aterramento possuem como principais finalidades:

• Limitar as sobretensões em caso de faltas;

• Permitir a circulação da corrente de falta, com valores mais elevados, ocasionando a atuação das proteções de maneira mais rápida e eficiente;

• Manter os valores de tensão entre estruturas metálicas e terra dentro dos valores considerados admissíveis sob o ponto de vista de segurança;

• Proporcionar o devido escoamento de eletricidade estática para a terra;

• Proporcionar o escoamento para a terra das descargas atmosféricas e/ou sobretensões de chaveamento ou manobra;

• Obter uma resistência de aterramento a mais baixa possível para correntes de falta à terra;

• Manter os potenciais produzidos pelas correntes de falta dentro de limites de segurança de modo a não causar fibrilação do coração humano;

• Usar a terra como retorno de corrente do sistema MRT, isto é, Sistema Monofilar com Retorno por Terra;

A eficiência dos sistemas de aterramento depende fundamentalmente do método de distribuição nas estruturas, do sistema de eletrodos usado, da resistividade do solo e da eficiência em todas as conexões existentes na malha.

2. Introdução

As instalações elétricas de alta e baixa tensão devem ser conectadas a um sistema de aterramento eficiente. De acordo com Visacro (2002), entende-se aterramento pela ligação elétrica de um equipamento ou componente de um sistema elétrico à terra por meio de dispositivos condutores de eletricidade adequados. É válido observar que de acordo com Sotille & Hirakawa (2008), terra é massa condutora do solo num dado local ou, por extensão, uma massa metálica a ele ligada permanentemente. Sendo assim, um sistema de aterramento tem por finalidade: 1) segurança de atuação dos dispositivos e equipamentos de proteção; 2) proteção das instalações contra descargas atmosféricas; 3) e principalmente segurança de pessoas e animais. A segurança pode ser entendida como a proteção contra contatos com partes metálicas energizadas (tensão de toque) e a uniformização do potencial de uma malha de aterramento, prevenindo o crescimento dos potenciais elétricos na sua superfície (tensão de passo).

De acordo com Sotille & Hirakawa (2008), define-se um sistema de aterramento como o conjunto de todos os eletrodos e condutores de aterramento, interligados ou não entre si, assim como partes metálicas que atuam direta ou indiretamente com a função de aterramento, tais como: cabos pára-raios, torres e pórticos; armaduras de edificações; capas metálicas de cabos, tubulações e outros. Desse modo, entende-se eletrodo de aterramento como um condutor enterrado no solo, eletricamente ligado a ele, ou condutor embutido em concreto quer, por sua vez, está em contato com o solo através de uma grande área, conforme pode ser visto na Figura 1

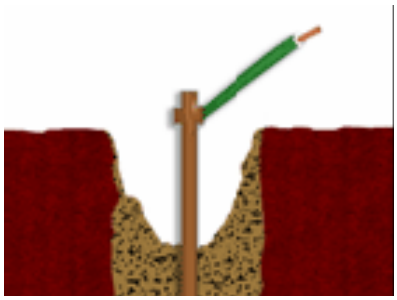

Figura 1 - Representação de um sistema de aterramento simples (um eletrodo). (SOUZA, 2007)

3. Topologias

As topologias de malhas de aterramento mais comuns são apresentadas abaixo:

- Uma haste cravada no solo, Figura 1;

- Hastes dispostas triangularmente, Figura 2;
- Hastes em quadrado, Figura 3;
- Hastes alinhadas, Figura 4;
- Placas metálicas enterradas no solo;
- Fios ou cabos enterrados no solo, formando várias configurações:
  - em quadrado formando uma malha de terra;
  - em cruz;
  - estendido em vala comum;
  - em estrela.

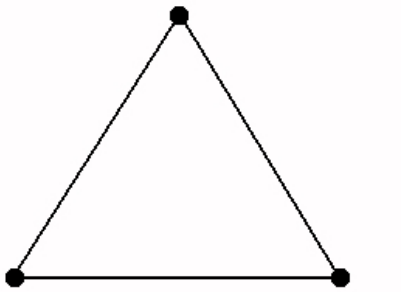

Figura 2 - Representação de um sistema de aterramento com hastes em triângulo.

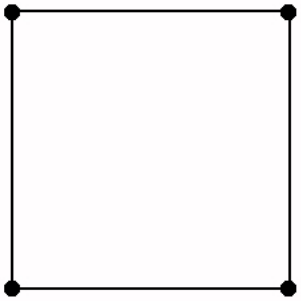

Figura 3 - Representação de um sistema de aterramento com hastes em quadrado.

Figura 4 - Representação de um sistema de aterramento com hastes alinhadas.

Normalmente as hastes de terra são cravadas de forma vertical. Elas são utilizadas principalmente quando as camadas mais profundas do solo apresentam maior condutividade. Já os eletrodos horizontais são utilizados quando a maior preocupação é o controle do gradiente ou diferença de potencial na superfície do solo. Os eletrodos horizontais são usualmente enterrados a uma profundidade de 50 cm.

O valor da resistência de aterramento (*Rt*) pode ser quantificado pela relação entre a tensão aplicada a um aterramento e a corrente resultante. A oposição do solo à injeção de uma corrente elétrica através dos eletrodos é expressa pela Impedância de Aterramento, visto que o solo, dependendo da frequência da corrente injetada, pode apresentar resistência, capacitância e indutância. Como neste guia a preocupação é estudar o comportamento da corrente em baixa frequência, dar-se-á ênfase à resistência de aterramento. Sendo assim, pode-se concluir que uma baixa resistência do solo é um fator primordial para se construir um sistema de aterramento eficiente, de modo a ocorrer mais facilmente o escoamento de correntes indesejadas nos circuitos presentes nas instalações elétricas.

4. Resistividade do Solo

O conhecimento das características intrínsecas do solo, onde a estrutura projetada será instalada é muito importante. De forma mais abrangente, as características podem ser representadas pela resistividade do solo, que por definição, é a resistência elétrica (*R*) medida entre as faces opostas do volume de solo, consistindo de um cubo homogêneo e isotrópico de dimensões unitárias, preenchido pelo solo a ser analisado (KINDERMANN, 2002), satisfazendo à seguinte equação:

$$\rho = R\frac{A}{l} \tag{1}$$

Vários fatores influenciam no valor da resistência do solo, tornando-se indispensável a execução de medições no local onde será implantado o sistema de aterramento, obtendo assim o dado mais importante para o projeto de sistema de aterramento: a resistividade do solo.

Diversos fatores têm influência direta no valor da resistividade do solo, entre eles podem-se citar: composição geológica do solo, umidade, salinidade, temperatura, compactação e acidez. Desta forma, a Tabela 1 mostra a faixa de variação da resistividade como função dos fatores mencionados, onde a composição geológica tem influência primordial em relação aos demais fatores.

Tabela 1. Fatores que afetam a resistividade do solo (VISACRO, 2002).

FATOR	FAIXA DE RESISTIVIDADE (Ω.m)
Composição geológica	De 5 a 20 000 (Ω.m)
Umidade	De 42 a 10 000 (Ω.m)
Salinidade	De 1 a 107 (Ω.m)
Temperatura	De 72 a 3 300 (Ω.m)

A resistividade do solo está diretamente relacionada ao seu grau de compactação, isto é, a uma maior ou menor área de contato entre os grãos que o compõe. Assim, o solo deverá ser compactado após o preenchimento das valas e orifícios feitos para implantação dos eletrodos de aterramento, além do cuidado de não misturar a terra original com escombros ou britas na operação de re-aterro.

De acordo com Visacro (2002), existem basicamente duas maneiras de se medir a resistividade do solo: 1) a medição por amostragem, que é realizada em laboratório através de ensaios de pequenas quantidades do solo cuja resistividade se deseja conhecer (coletados em certa profundidade, onde o terreno é mais imune às alterações ambientais); 2) medição local, desenvolvida por Wenner, a qual é realizada através de eletrodos adequadamente posicionados.

5. Composição Geológica

A composição geológica do solo, por mais que seja heterogênea, não se altera naturalmente em curto prazo de tempo. De acordo com sua natureza, a sua resistividade apresenta grandes variações e tende a diminuir nos solos mais profundos. Outra correlação pode ser feita com a idade geológica das estruturas do solo. Geralmente, regiões geologicamente mais antigas tendem a ter resistividades maiores.

Quando não se dispõe de medições confiáveis, pode-se usar a Tabela 2 que fornece a resistividade de diferentes tipos de solo. Para cálculos precisos de resistividade de solos, devem-se realizar medições com instrumento tipo Megger de terra (Terrômetro).

Tabela 2. Resistividade para diferentes solos (VISACRO, 2002).

NATUREZA DO SOLO	FAIXA DE RESISTIVIDADE (Ω.m)
Lodo/Limo	De 20 a 100 (Ω.m)
Húmus	De 10 a 150 (Ω.m)
Argilas compactadas	De 100 a 200 (Ω.m)
Areia argilosa	De 50 a 500 (Ω.m)
Solo pedregoso nu	De 1 500 a 3 000 (Ω.m)
Calcário fissurado	De 500 a 1 000 (Ω.m)
Calcário compacto	De 1 000 a 5 000 (Ω.m)
Granito e Arenito	De 1 500 a 10 000 (Ω.m)
Basalto	De 10 000 a 20 000 (Ω.m)

6. Umidade

A umidade, quando na faixa de 0 a 22%, produz um valor acentuado de resistividade do solo. Para valores de umidade superiores a 22%, a resistividade começa a diminuir mais intensamente (VISACRO, 2002). Para os solos áridos, às vezes, é necessária a utilização de hastes profundas com a finalidade de se atingir camadas com umidades adequadas. A construção de obras nas vizinhanças da malha pode rebaixar o nível do lençol freático, diminuindo a percentagem da umidade do solo. Observam-se também variações cíclicas do percentual da umidade com as mudanças climáticas. A presença de brita nas subestações reduz a evaporação, mantendo a umidade praticamente constante (VISACRO, 2002). A Figura 5 mostra o efeito típico da umidade sobre a resistividade de um dado solo.

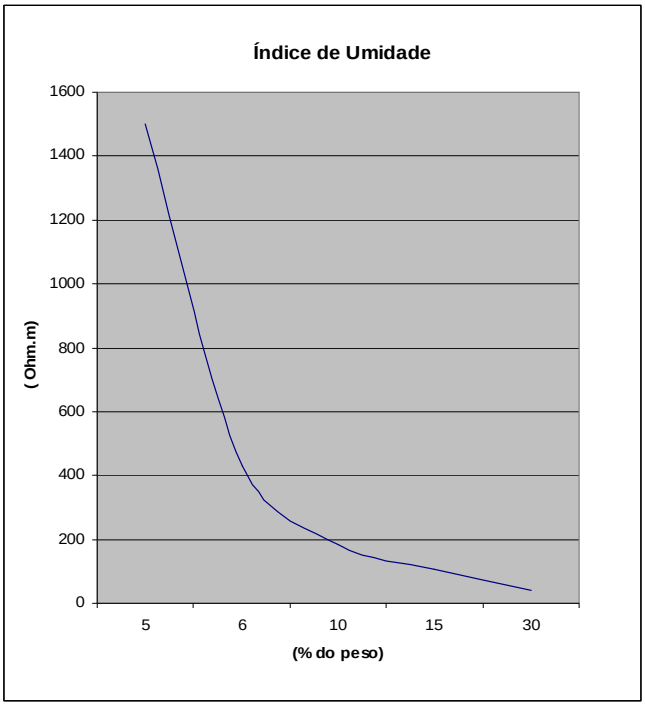

Figura 5 - Efeito da umidade na resistividade do solo (VISACRO, 2002).

7. Composição Química (Salinidade)

A alteração da composição química do solo, para alguns casos, ocasiona alterações da resistividade. Isto ocorre em situações em que o solo contenha sais que possam ser dissolvidos pelas águas pluviais. Havendo dissolução, o composto será retirado naturalmente e a resistividade do solo aumentará. A Tabela 3 dá um exemplo da influência da composição química do solo sobre a resistividade.

Tabela 3. Influência da composição química na resistividade do solo (VISACRO, 2002).

% SAIS	RESISTIVIDADE (Ω.m)
0,0	10 700
0,1	1 800
1,0	460
5,0	169
10,0	130
20,0	100

8. Temperatura

A temperatura afeta sobremaneira a resistividade do solo, a qual poderá atingir altos valores para temperaturas extremamente baixas. Para evitar tais variações, os eletrodos deverão estar a uma profundidade que apresente pequenas variações de temperatura. Maiores detalhes a respeito da variação da resistividade do solo com a temperatura pode ser vista em Visacro (2002).

9. Aterramento de Segurança

O aterramento de segurança visa à integridade física das pessoas. Preservar a integridade dos equipamentos elétricos e eletrônicos também é função do aterramento. A motivação básica para implantação do aterramento é questão da segurança, como é o caso das conexões à terra do sistema de proteção contra descargas atmosféricas e das carcaças de motores, que são projetadas especificamente para constituir um fator de segurança.

Outra perspectiva refere-se aos riscos associados à implantação de um aterramento destinado especificamente a assegurar um bom desempenho para determinado sistema elétrico ou eletrônico (aterramento de serviço). Embora a segurança não seja a finalidade primeira da instalação do aterramento, também neste caso devem ser garantidas as condições de segurança, quando o aterramento é solicitado pelo fluxo de corrente pelos seus eletrodos (por exemplo, corrente de curto-circuito) e diferença de potenciais são estabelecidas no solo.

Caracterização de condições de risco

Quando as partes do corpo humano são submetidas a uma diferença de potencial, este é percorrido por uma corrente elétrica, que pode resultar em diversos efeitos para o individuo, configurando, em diversas situações, condições de risco. No que concerne ao aterramento elétrico, é possível caracterizar algumas dessas situações típicas quando flui corrente por ele, sendo usual classificá-las e referenciá-las como parâmetro de restrição nos projetos de aterramento.

- **Tensão de passo:** máxima diferença de potencial entre os pés (arbitra-se uma distância média de 1m entre os mesmos) a que ficaria submetida uma pessoa, eventualmente presente na região do aterramento, durante o fluxo de corrente pelo mesmo.
- **Tensão de toque:** máxima diferença de potencial entre mão e pés a que ficaria submetida uma pessoa, eventualmente presente na região do aterramento, que tivesse contato com

uma parte metálica ligada aos seus eletrodos, durante o fluxo de corrente pelo aterramento (consideram-se ambos os pés afastados de 1m da estrutura tocada).

A seguir temos a Figura 6 que mostra os dois tipos de tensão:

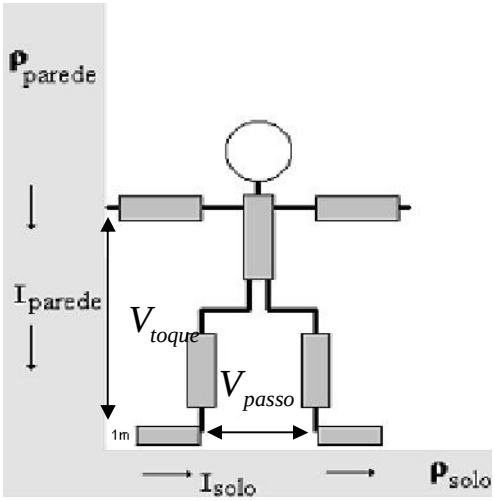

Figura 6 - Indivíduo sujeito a tensão de toque e tensão de passo.

10. Procedimentos para Medição da Resistividade do Solo

10.1. Objetivos

Aplicar o Método de Wenner para medição da resistividade do solo utilizando o aparelho Megger. O terreno a ser utilizado para a medição deverá ser definido pelo monitor ou professor.

10.2. Material utilizado

- Aparelho Megger;
- Condutores elétricos;
- Hastes de aterramento;
- Fita métrica.

10.3. Procedimentos Experimentais

A medição da resistividade do solo através do Método de Wenner apresenta um modelo eficiente e relativamente simples, ilustrados nas Figuras 7 e 8. O método utiliza um Terrômetro (instrumento de medição de resistência), que possui quatro terminais (dois de corrente e dois de potencial), os quais devem ser conectados a quatro eletrodos, distantes um

do outro de *a*. O aparelho faz circular corrente elétrica (I) nos dois eletrodos externos (C1 e C2). Desse modo, através das duas hastes internas (V1 e V2) o aparelho calcula a diferença de potencial (V) e pela relação V/I processa o valor da "resistência".

Neste experimento será utilizado o aparelho Terrômetro modelo DET 5/2 ou o Elohmi T. O esquema de ligação deve ser utilizado conforme a Figura 7

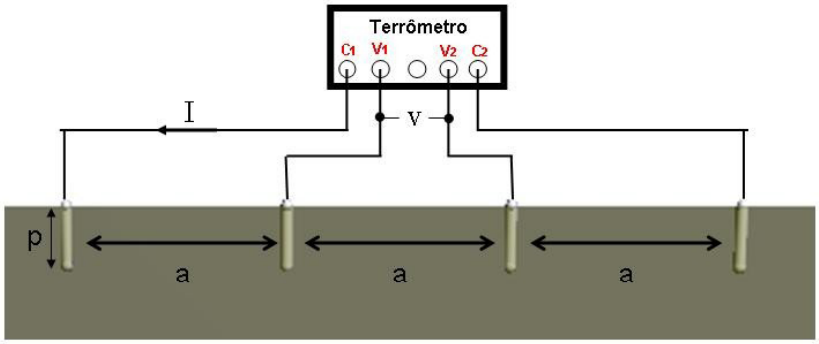

Figura 7 - Método de Wenner.

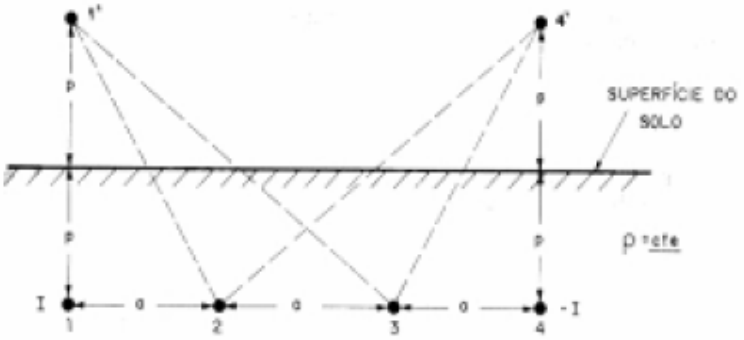

Figura 8 - Método de Wenner (GODOY & FRAGA, 2011)

Devido às características anisotrópicas e heterogêneas do solo, para se obter a resistividade do solo na região determinada, serão efetuados vários grupos de medições sucessivas (variando-se o afastamento), cobrindo toda a área de interesse, conforme ilustrado na Figura 9.

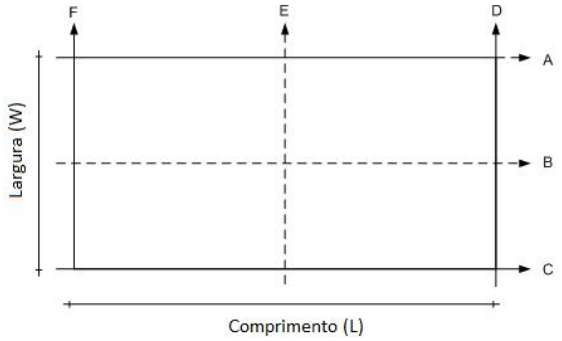

Figura 9 - Configuração da medição de resistividade pelo Método de Wenner.

De posse dos valores de resistência coletados em várias direções, aplica-se então a Fórmula de Palmer, que para um afastamento relativamente grande entre as hastes em relação à penetração dos eletrodos no solo, ou seja, ***a*** >> ***p***, tem-se:

$$\rho = 2\pi a R_T \tag{2}$$

A Fórmula de Palmer, apresentada na Equação 2, é a equação simplificada para o cálculo da resistividade do solo, ou seja, quando a distância entre os eletrodos é muito maior que a profundidade destes, em geral cerca de três vezes. A equação completa, com o auxílio da Figura 8, é obtida a partir de:

$$V_2 = \frac{\rho I}{4\pi}\left[\frac{1}{a} + \frac{1}{\sqrt{a^2 + (2p)^2}} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{\sqrt{(2a)^2 + (2p)^2}}\right] \tag{3}$$

$$V_3 = \frac{\rho I}{4\pi}\left[\frac{1}{2a} + \frac{1}{\sqrt{(2a)^2 + (2p)^2}} - \frac{1}{a} - \frac{1}{\sqrt{a^2 + (2p)^2}}\right] \tag{4}$$

$$V_{23} = \frac{\rho I}{4\pi}\left[\frac{1}{a} + \frac{2}{\sqrt{a^2 + (2p)^2}} - \frac{2}{\sqrt{(2a)^2 + (2p)^2}}\right] \tag{5}$$

$$R_T = \frac{V_{23}}{I} = \frac{\rho}{4\pi}\left[\frac{1}{a} + \frac{2}{\sqrt{a^2 + (2p)^2}} - \frac{2}{\sqrt{(2a)^2 + (2p)^2}}\right] \tag{6}$$

$$\rho = \frac{4\pi a R_T}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4p^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + p^2}}} \tag{7}$$

, onde as Equações 3 e 4 representam o potencial nos pontos 2 e 3, respectivamente; a Equação 5 representa a diferença de potencial entre estes dois pontos; e a Equação 7 é a equação completa para o cálculo da resistividade do solo.

A partir dos valores encontrados, obtidos através das medições realizadas em campo, é possível então mapear todo o terreno no qual se deseja implantar o sistema de aterramento. Tal mapeamento pode ser denominado de estratificação do solo, que é basicamente a identificação das várias camadas que compõem o mesmo. Existem várias técnicas de modelagem do solo, como a apresentada por Tagg (1964), dentre elas, destacam-se o método de estratificação de duas camadas, método de Pirson e o método gráfico.

Considerações importantes

Na execução do método de *Wenner*, as hastes verticais devem estar firmemente cravadas, assegurando-se que a superfície condutora esteja em contato com o solo em toda sua extensão. A profundidade recomendada para as hastes é da ordem de 50 cm, sendo aconselhável um valor maior para terrenos arenosos, aterros e brejos, de forma a assegurar um contato íntimo eletrodo-solo. No caso de terrenos de grande resistência mecânica, algumas vezes é difícil alcançar o valor, sendo aceitável profundidade um pouco menor (MEDEIROS, 1981).

Cada haste apresenta uma resistência própria de aterramento, cujo valor é próximo ao valor da resistividade do solo onde está colocada. No caso das hastes de corrente, hastes externas apresentadas na Figura 7, o problema é mais sério. As possíveis soluções para a questão podem residir no emprego de fontes de tensão de valor mais elevado. Uma configuração alternativa é o emprego de práticas do tipo umedecimento do solo nas proximidades das hastes de corrente. Os cuidados não são tão críticos com relação às hastes de potencial - hastes internas -, pois estas não são percorridas pela corrente principal do circuito. Devido às altas impedâncias do circuito de medição de tensão, a corrente que circula pelo mesmo é muito reduzida e a queda de tensão no aterramento de cada haste é desprezível em relação àquela que ocorre no circuito de medição.

Na aplicação do método, podem ser utilizadas hastes de aterramento nos diâmetros comerciais, pois a resistência R_T depende fundamentalmente da distância entre os eletrodos, da profundidade e da resistividade do solo, sendo pouco influenciada pelas dimensões dos eletrodos (IEEE Std 81, 1983).

Na prática, são usualmente adotados valores múltiplos sucessivos de afastamento para medição em uma dada direção: 1, 2, 4, 8, 16, 32 e 64 m. Assim, para cada espaçamento medido, é possível manter fixas as posições da primeira e da terceira haste da medição anterior e deslocar apenas as duas outras, pois os afastamentos sucessivos têm valor duplo do valor utilizado na operação precedente. Outra sequência usual é: 1,5, 3, 6, 9, 18, 36 e 72 m. No caso de projeto de instalações de grande porte, podem ser usados valores superiores de espaçamento.

10.4. Medições

Para obtenção dos resultados, realizam-se as medições observando a configuração apresentada na Figura 9 (caso a geometria da área seja diferente de um retângulo, deve-se traçar um retângulo imaginário circunscrito à mesma) e varia-se a distância ***a*** entre os eletrodos de acordo com os afastamentos que melhor se adequarem no terreno utilizado. A distância ***a*** bem como o comprimento e a largura do terreno devem ser obtidos utilizando a fita métrica. Anotam-se os valores medidos na Tabela 4:

Tabela 4: Resistências medidas no terreno

a (m)	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**

11. Procedimentos para Medição de Terra

11.1. Objetivos

Medir a resistência de um sistema de aterramento utilizando o aparelho Megger. O sistema de aterramento a ser medido deverá se definido pelo monitor ou professor.

11.2. Material utilizado

- Aparelho Megger;
- Malha de terra;
- Condutores elétricos;
- Hastes de aterramento;
- Fita métrica.

11.3. Procedimentos Experimentais

A medição da resistência de terra pode ser feita através do “Medidor de Resistência de Terra” tipo “Megger” ou similar. O processo consiste, basicamente, em se aplicar uma tensão entre o aterramento a ser medido e o aterramento auxiliar (eletrodos fixos ou eletrodos de corrente) e medir a resistência do terreno até o ponto desejado (eletrodo móvel ou eletrodo de tensão).

Neste experimento será utilizado o aparelho Terrômetro modelo DET 5/2 ou o Elohmi T. O esquema de ligação deve ser utilizado conforme a Figura 10. O ponto eletrodo T é o barramento de aterramento da malha, os eletrodos P e C são, respectivamente, os eletrodos de prova de tensão e corrente.

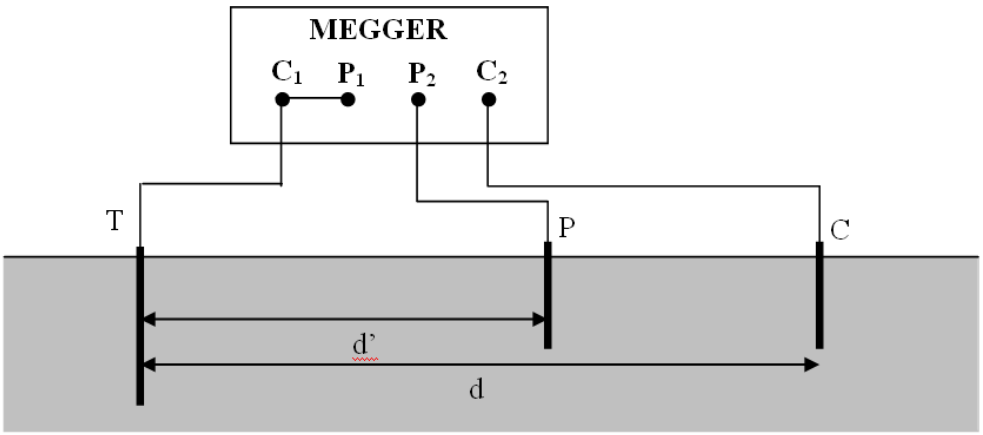

Figura 10 - Esquema de ligação para medição de resistência de aterramento.

O método de medição consiste em medir a resistência do aterramento em função da queda de potencial usando um eletrodo terra auxiliar, constituindo uma estrutura composta por uma haste de injeção de corrente C, uma haste de medição de potencial P e a resistência do aterramento a ser medida T, conforme a Figura 10.

O eletrodo de corrente C é cravado a uma distância ***d*** do aterramento e permanecerá fixo. O eletrodo de potencial P é cravado entre o aterramento T e a haste de corrente C, a uma

distância ***d'*** do aterramento. Injeta-se uma corrente no eletrodo de corrente C e é medida a diferença de potencial entre o eletrodo de potencial P e o aterramento T. O valor da resistência do aterramento é fornecido pelo equipamento de medição.

Na Figura 11, é apresentado o gráfico da resistência do eletrodo P versus sua distância à haste de aterramento. Nesta figura pode ser observada uma região na qual a resistência medida se mantém constante (região de patamar), o valor medido da resistência na região de patamar é a resistência de aterramento.

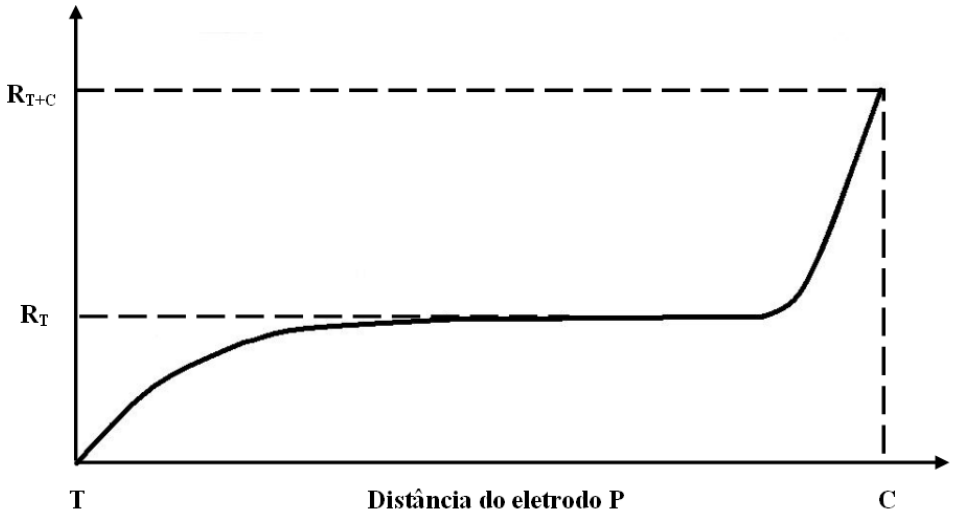

Figura 11 – Gráfico da resistência versus a distância.

Considerações importantes

Antes de iniciar a medição, deve-se calibrar o aparelho de modo a deixá-lo pronto. Conforme o local da medição, não se conseguirá o ajuste do zero e, às vezes, tem-se oscilação do ponteiro do galvanômetro. Isto ocorre devido às interferências e influências que o aparelho capta do solo, através do eletrodo móvel, pois a tensão que se aplica aos eletrodos fixos é baixa e resulta correntes da ordem de 1 a 10 mA. Porém, em condições normais, devido a correntes de desequilíbrio de carga em sistemas aterrados e correntes de consumidores monofásicos com retorno pela terra, circula uma corrente pela terra da ordem de várias centenas de miliampéres. A tensão resultante no eletrodo móvel será, pois, devido à soma vetorial da corrente injetada no solo e da já existente. Tem-se, portanto, erro de medição que é função da grandeza da corrente que causa a interferência.

A oscilação do ponteiro do galvanômetro é causada pela modulação resultante das ondas injetada e de interferência quando tiverem frequências próximas ou múltiplas. No caso mais crítico, poder-se-á encontrar valores de “resistência de terra” igual a zero, quando o valor da corrente injetada e a interferência forem iguais e defasadas de 180 graus, com a mesma frequência, pois a soma vetorial das correntes seria nula.

O Alinhamento do sistema de aterramento principal com as hastes de potencial e auxiliar deve ser respeitado para a obtenção de resultado confiável.

A distância entre o sistema de aterramento principal e a haste auxiliar deve ser suficientemente grande (20 m ou mais), para que a haste de potencial atinja a região plana do patamar. Diversas medições devem ser feitas para levantamento do gráfico (Figura 11).

Considerando que a resistividade do solo pode sofrer alteração, dependendo da sua localização, e para que se tenha o resultado mais próximo do seu valor real, o aparelho de medição deve ficar o mais próximo possível do sistema de aterramento principal.

As hastes auxiliar e de potencial devem estar limpas para possibilitar bom contato com o solo. Porém, para tal deve-se levantar o gráfico dos diversos pontos medidos no deslocamento da haste móvel, como também as medições devem ser feitas no período de solo seco, para se obter o maior valor da resistência de terra. Se não for o caso acima, devem-se relatar as condições do solo.

Outra observação importante é quanto à energização da malha de terra. A fim da realização das medições, o sistema de aterramento a ser medido deve estar desconectado do sistema elétrico.

Após levantamento do gráfico, o valor do patamar será a resistência de aterramento, ou seja, R_T .

11.4. Medições

Para obtenção dos resultados, admita a distância ***d*** = 20 m, varie ***d’*** (a partir do ponto de aterramento até o eletrodo de corrente) em intervalos de 2 m, com o uso de uma fita métrica. A distância ***d*** também deve ser obtida utilizando a fita métrica. Anote os valores medidos na Tabela 5.

Tabela 5. Resistências medidas no sistema

d'(m)	R_T **(Ω)**
2,0	
4,0	
6,0	
8,0	
10,0	
12,0	
14,0	
16,0	
18,0	

12. Análises das medições e comentários

Para cada um dos valores de espaçamento ***a*** utilizados que compõem a Tabela 4, calcule a resistividade do solo por meio das duas equações apresentadas anteriormente, a simples e a completa. Além disso, calcule o erro percentual existente entre o uso dessas equações. Por fim, se o terrômetro utilizado fornecer valores de resistividade do solo, compare os valores obtidos com os valores fornecidos pelo mesmo.

Em seguida, a partir dos dados da Tabela 5, trace o gráfico Resistência versus Distância, semelhante ao apresentado anteriormente, identificando assim a resistência de aterramento da malha.

Depois de identificada a resistência de aterramento da malha, analise os resultados com base na NBR 5419.

Por fim, utilize o *software* descrito no Anexo I – TecAt Plus 5.2© de modo a obter a estratificação do solo de acordo com o número de camadas desejado. Apresente os valores sob a forma de tabela.

Faça as suas considerações sobre o experimento.

13. Anexos

13.1 Anexo I – TecAt Plus 5.2©

Os solos, em sua maioria, não são homogêneos e, sim, formados por diversas camadas com resistividades diferentes. Estas camadas são geralmente horizontais e paralelas à superfície. Como consequência, da variação de resistividade nas camadas do solo, tem-se a variação na dispersão da corrente (SOTILLE & HIRAKAWA, 2008). Ademais, a resistividade do solo destaca-se pelo grau de variação dentro de limites bem amplos, além de possuir extrema importância em problemas envolvendo a terra como condutor de retorno, como por exemplo, problemas de aterramento, proteção contra descargas atmosféricas, condução de corrente e interferências eletromagnéticas (GODOY & FRAGA, 2011).

Desse modo, define-se estratificação do solo como sendo a divisão do solo em camadas horizontais, determinando suas profundidades e as respectivas resistividades que o compõe.

O TecAt Plus 5.2© é uma solução completa para projetos de malha de terra, cobrindo a estratificação da resistividade do solo, resistência de malha e análise de potenciais em solos de até 4 camadas. Para estratificar a resistividade do solo em 2, 3 ou 4 camadas, entra-se com os dados em campo – até 32 espaçamentos e 8 linhas – e seleciona-se o número de camadas. É permitida a alteração para diversas configurações, como para o modelo usado (Wenner ou Schlumberger) e para a formulação (Equação simples ou completa).

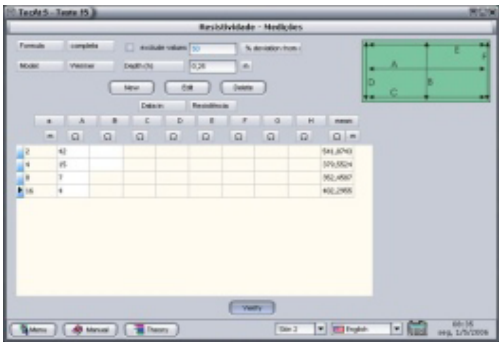

Figura 12 - Dados de resistividade.

14. Bibliografia

ARAÚJO, H. X. **Proposta de novas técnicas de modelagem para estudo da redução do potencial de passo e aterramento por elementos de circuito**, **2007.** 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Campus Universitário do Guamá, Universidade Federal do Pará, Belém do Pará.

COSTA, E. G.; NERI, M. G. G**. Relatório Técnico – Medição e Análise de Resistência do Sistema de Aterramento.** 2006. LAT- UFCG/ATECEL.

GODOY, A.V.; FRAGA, F.N. **Projeto de Sistemas de Aterramento**: Dimensionamento da Malha de Terra para Baixas Frequências**.** Cigré – Chesf, 2011.

IEEE Std 81. **IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System**, 1983.

KINDERMANN, G. **Aterramento Elétrico**. Porto Alegre: Sagra-DC Luzzatto, 2002.

MAMEDE, J. F. **Instalações Elétricas Industriais**. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

MATTOS, M. A. F. **Técnicas de Aterramento**. Campinas: Okime, 2004. 244 p.

MEDEIROS, S. F. **Fundamentos de Medidas Elétricas.** Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois, 1981.

SOUZA, E. S. J. **Simulação, em Ambiente Computacional, do Método de Wenner e Obtenção da Resistência de um Sistema de Aterramento Usando Fdtd, 2007**. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Campus Universitário do Guamá, Universidade Federal do Pará, Belém do Pará.

SOTILLE, C.A.; HIRAKAWA, W. **Critérios de Projetos e Procedimentos para Execuções de Aterramentos em Redes Aéreas e Subestações de Distribuição.** NTC-60, CELG Distribuição S.A., 2008.

TAGG, G. F. **Earth Resistances**. London: *George Newnes Ltd.,* 1964.

VISACRO, S. F. **Aterramentos Elétricos**. São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2002.

WENNER, F. A. Method of Measuring Earth Resistivity. **Bulletin of the National Bureau of Standards,** Washington D.C, v. 12, 1916.