

ATERRAMENTO EM ELEVADORES

Rodrigo D Carlo Bessa Rodrigues¹

Eduardo Henrique Gonçalves²

RESUMO: O trabalho em questão trata o tema aterramento de sistemas elétricos, sendo realizado um estudo geral sobre o tema, considerando seus conceitos, funções, tipos, importância e cálculos. Inicialmente é tratada a resistividade do solo, dado essencial para o desenvolvimento de um projeto de aterramento elétrico. É feita uma introdução sobre o assunto, abordados os fatores que a influenciam. O trabalho apresenta alguns meios de medição do aterramento, entre eles o método de Wenner, e de uma maneira especial o Loop de Impedância, uma vez que para medições de campo realizadas em elevadores foi utilizado esse método.

PALAVRAS-CHAVE: Elevador. Aterramento. Loop de impedância. Atlas Schindler. Estratificação. Neutro.

ABSTRACT: The work in question is the subject of grounding electrical systems, a general study being conducted on the subject, considering its concepts, functions, types, importance and calculations. Initially it is treated the soil resistivity, as essential to the development of a project of electric grounding. One introduction is made on the subject, addressed the factors that influence it. The paper has some means of measuring ground, including the Wenner method, and in a special manner the loop impedance, since for field measurements performed in elevators this method was used.

KEYWORDS: Lift. Grounding. Loop impedance. Schindler. Haste. Neutral. Cemig.

¹ Graduando em Engenharia Elétrica. UNIBH, 2014, MG. Email: rdcbr@hotmail.com

² Doutor em Engenharia de Elétrica. UFMG, Professor do Centro Universitário de Belo Horizonte UNI-BH. Belo Horizonte, MG. Email: ephpgp@yahoo.com.br

1 INTRODUÇÃO

O aterramento elétrico é um componente fundamental para os sistemas elétricos, além de apresentar elevado grau de importância para o bom desempenho do sistema aterrado e, principalmente, para a segurança de seres vivos (ALIPIO, *et. al.*, 2011). Devido a toda importância conferida a este, o quesito aterramento sempre deve merecer uma atenção especial em projetos elétricos, equipamentos em geral, inclusive elevadores.

Para garantir toda a atenção merecida pelo aterramento elétrico, considera-se a elaboração de projetos específicos onde devem ser ponderadas todas as possíveis condições a que os sistemas possam vir a serem submetidos e definidos os requisitos mínimos necessários para o equacionamento dos problemas com base em dados e parâmetros pré-fixados.

Analisando não somente sob o ponto de vista de segurança da instalação e dos seres vivos, mas também sob o ponto de vista econômico, a elaboração e execução de tais projetos de aterramento justificam a possibilidade de caracterização desses requisitos mínimos (MACEDO; GOMES, & GUILLIOD, 1990). O lado econômico deve ser levado em consideração pelo fato de serem feitos elevados investimentos para a obtenção de parâmetros bem mais rigorosos que os mínimos necessários em grande quantidade dos casos.

A principal função de um sistema de aterramento é dispersar a corrente de falta para terra sem causar diferenças de potenciais ou tensões induzidas perigosas para seres vivos ou que possam danificar equipamentos localizados nas proximidades (ALIPIO, *et. al.*, s.d).

O aterramento tem como principais objetivos:

- Obter um valor mínimo para a resistência de aterramento;
- Não permitir que os potenciais de tensão gerados pelas correntes de falta ultrapassem os limites de segurança e coloquem em risco os seres vivos próximos a este;
- Tornar os equipamentos de proteção mais sensíveis, isolando mais rapidamente as falhas a terra;
- Proporcionar um caminho para terra de descargas atmosféricas;
- Utilizar a terra como caminho de retorno para a corrente em sistemas monofilares.
- Escoar as cargas elétricas geradas nas carcaças de equipamentos (KINDERMANN & CAMPAGNOLO, 1995).

Um aterramento elétrico consiste em uma ligação elétrica proposital de um sistema físico (elétrico, eletrônico ou corpos metálicos) ao solo (FILHO, 2002). Este pode ser dividido fundamentalmente em três componentes conforme ilustra a Figura 1.

- Os eletrodos de aterramento, que podem ser consideradas quaisquer estruturas metálicas inseridas no solo;
- As ligações elétricas que ligam o sistema elétrico aos eletrodos de aterramento;
- A terra onde são inseridos os eletrodos de aterramento.

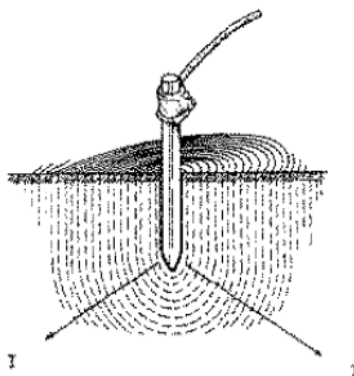


Figura 1 - Constituição de um aterramento
Fonte - FILHO, 2002.

Existem várias maneiras para aterrar um sistema elétrico, que vão desde uma simples haste, passando por placas de formas e tamanhos diversos, chegando as mais complicadas configurações de cabos enterrados no solo (KINDERMANN & CAMPAGNOLO, 1995).

O objetivo geral deste trabalho é resolver o problema encontrado pelos técnicos de qualidade da Schindler, a fim de garantir segurança para o equipamento e para os usuários em geral do equipamento. Em pesquisas de campo

com elevadores da Atlas Schindler, em vistorias de qualidade e segurança do produto realizada por inspetores de qualidade da Atlas Schindler, foi detectado que na grande parte dos equipamentos o teste de loop de impedância não era satisfatório, sendo assim reprovando o elevador e em alguns casos parando a vistoria pelo fato do aterramento não ser satisfatório.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 PROBLEMA ENCONTRADO

Em testes efetuados no estado de Minas Gerais, a grande maioria dos elevadores não atingiram o valor mínimo especificado pela Schindler para o teste de Loop de impedância. No estado natural, o solo apresenta baixa condutividade elétrica e no caso de estar livre de qualquer tipo de umidade, ou seja, totalmente seco, se comporta como isolante. Pode-se ter uma ideia do fato explicado por meio da Tabela 1 - Ordem de grandeza da resistividade de certos materiais exibida a seguir.

Tabela 1

Ordem de grandeza da resistividade de certos materiais

Condutor	Resistividade ($\Omega.m$)
Cobre puro	$1,6 \times 10^{-8}$
Alumínio	$2,7 \times 10^{-8}$
Solos mais comuns	5 a 20.000

Fonte – FILHO, 2002.

O estado de Minas Gerais constitui-se numa região cujos solos são compostos predominantemente de formações antigas, principalmente do período Pré-Cambriano (FILHO, 2002). A resistividade desses solos apresenta valor muito alto, com valores médios em torno de 2.500 $\Omega.m$. Nos locais onde são implantadas instalações elétricas são comuns solos com resistividades entre 5.000 e 10.000 $\Omega.m$ e chega-se até a encontrar resistividades superiores a 10.000 $\Omega.m$ quando essas instalações estão localizadas em formações elevadas, com solo seco e bastante afetado por erosões (FILHO, 2002). A Tabela 2 - Resistividades usuais de algumas regiões brasileiras, a seguir apresenta valores característicos de resistividade do solo em algumas regiões do Brasil. Deve-se mencionar que tais valores são apresentados simplesmente como uma referência, pois, um determinado local pode apresentar valores de resistividade bastante diferentes das médias regionais.

Tabela 2

Resistividades usuais de algumas regiões brasileiras

Região	Valores típicos de resistividade do solo ($\Omega.m$)
Minas Gerais	2.450
São Paulo	700
Paraná	200 - 1.000
Mato Grosso	500 - 2.000
Pernambuco	100 - 2.000

Fonte – FILHO, 2002.

O teste de Loop de impedância nada mais é que um meio de medir o fluxo de corrente de prospecção para a terra através do aterramento do elevador. Esse teste é feito através de um analisador de energia (geralmente são usados analisadores da marca *Fluke*), onde também são analisados valores de resistência dos cabos e partes metálicas do equipamento, continuidade dos cabos, tensão e corrente do equipamento.

2.2 SUGESTÕES PARA RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

2.2.1 MUDANÇA DO SISTEMA TN-S PARA TN-C-S

Depois de alguns estudos realizados em campo, constatou-se que o método mais simples, e até então mais eficaz para resolver esse problema é a mudança do sistema de aterramento de TN-S para TN-C-S, onde como mostra as figuras 2 e 3 a seguir.

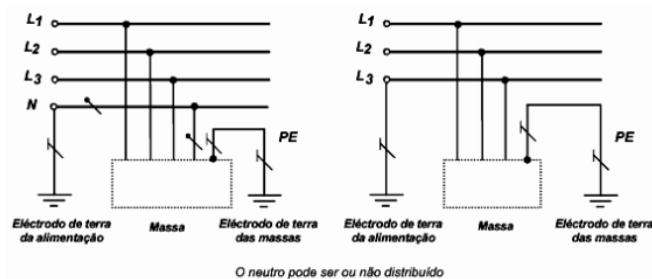


Figura 2 - Sistema T-N-S

Fonte –Acesso em: 07 nov. 2014.

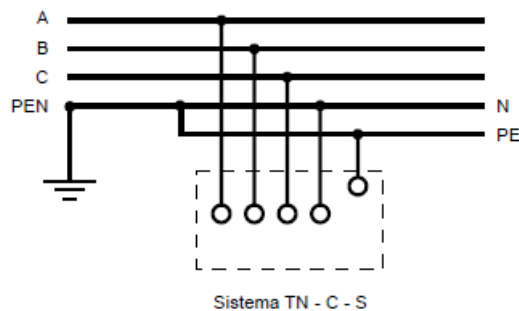


Figura 3 - Sistema TN-C-S

Fonte –Acesso em: 07 nov. 2014.

Como mostra claramente nas imagens, anteriormente o neutro da concessionária estava separado do aterramento do equipamento (hastes). Na figura 3 o neutro chega separado e antes de chegar no equipamento (no quadro elétrico do elevador, mais especificamente no barramento de terra dentro do quadro), o neutro se junta ao cabo de terra do equipamento, resultando em um cabo PEN e não somente PE. Essa mudança foi feita com os mesmos critérios da norma vigente, tais como bitola mínima do cabo, cor, entre outras.

2.2.2 ESTRATIFICAÇÃO DO SOLO

2.2.2.1 INTRODUÇÃO

Normalmente, atribui-se a resistividade de um material a resistividade de seus componentes. Na sua grande maioria, os solos não são homogêneos, mas sim formados por diversas camadas com resistividades e profundidades diferentes. Essas camadas são, em geral, horizontais e paralelas à superfície do solo, isso devido a sua formação geológica (FILHO, 2002).

Dessa maneira, a resistividade de um solo pode variar dependendo da direção considerada e, para tratar um determinado solo, deve-se atribuir-lhe o valor médio das resistividades das suas diversas camadas, denominado resistividade efetiva do solo. Podem existir solos com camadas inclinadas e até verticais, devido a falhas geológicas, porém, estudos apresentados para pesquisa do perfil do solo consideram que estes apresentam geralmente camadas horizontais. Os demais casos são menos típicos (FILHO, 2002).

Uma maneira que tem produzido resultados satisfatórios e comprovados na prática é a modelagem do solo em camadas estratificadas, isto é, em camadas horizontais. A Figura 4 mostra o solo com uma estratificação em camadas horizontais.

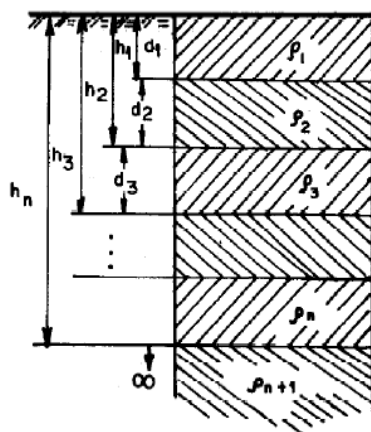


Figura 4 - Solo estratificado
Fonte - KINDERMANN & CAMPAGNOLO, 1995.

A variação da resistividade nas diversas camadas do solo implica na variação da dispersão da corrente. A Figura 5 apresenta o comportamento dos fluxos de dispersão de correntes, em um solo heterogêneo, em torno do aterramento.

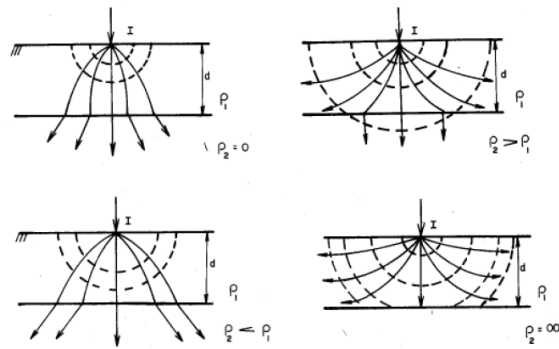


Figura 5 - Estratificação do solo em duas camadas
Fonte - FILHO, 2002.

Na figura, as linhas cheias representam as correntes elétricas fluindo no solo e as pontilhadas são as superfícies equipotenciais.

2.2.2.2 METODOLOGIA

O método de *Wenner*, mencionado anteriormente no item referente à medição de resistividade do solo, é frequentemente utilizado para se obter um modelo de estratificação do solo, quando este apresenta variações de resistividade com a profundidade (RAGGI, 2009). Na verdade, o método de *Wenner* considera o solo homogêneo, assim, o produto entre o valor da resistência medida pela aplicação do método e o fator geométrico corresponde à resistividade do solo. No entanto, pode-se estratificar o solo e obter o perfil de resistividade deste indiretamente por meio dos dados fornecidos pela aplicação do método (FILHO, 2002).

Raramente tem-se solos homogêneos. Na maior parte dos casos, os solos podem ser aproximados por um meio estratificado em duas camadas horizontais e, menos usualmente, em três camadas (FILHO, 2002). Os métodos mais conhecidos de estratificação do solo são:

- Método de Estratificação de Duas Camadas;
- Método de *Pirson*;
- Método Gráfico (KINDERMANN & CAMPAGNOLO, 1995).

2.2.2.3 ESTRATIFICAÇÃO EM DUAS CAMADAS

Pode-se encontrar a resistividade e a profundidade de cada camada do solo modelando este matematicamente em duas camadas horizontais utilizando as teorias do eletromagnetismo e com o auxílio das medidas efetuadas pelo Método de *Wenner* (KINDERMANN & CAMPAGNOLO, 1995).

A figura 6 mostra um solo modelado em duas camadas com uma corrente I penetrando no solo pelo ponto 0, onde a primeira e a segunda camada tem resistividades ρ_1 e ρ_2 respectivamente. A primeira camada tem profundidade h e a segunda se estende de h até infinito.

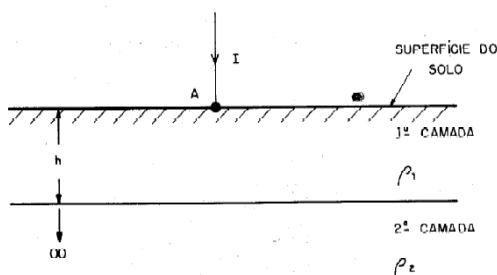


Figura 6 - Solo em duas camadas
Fonte - KINDERMANN & CAMPAGNOLO, 1995.

Desenvolvendo a Equação de Laplace, pode-se obter o potencial V em qualquer ponto p da primeira camada do solo, distanciada de r do ponto O conforme a equação 1.

$$V_p = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left[\frac{1}{r} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{\sqrt{r^2 + (2nh)^2}} \right]$$

(eq.1)

Onde:

V_A é o potencial de um ponto p qualquer da primeira camada em relação ao infinito;

ρ_1 é a resistividade da primeira camada;

ρ_2 é a resistividade da segunda camada;

h é a profundidade da primeira camada;

r é a distancia do ponto p a fonte de corrente A ;

k é o coeficiente de reflexão, definido pela equação 2 a seguir.

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

(eq.2)

Analisando a expressão (2) percebe-se que a faixa de variação do coeficiente de reflexão K é pequena e está limitada entre -1 e $+1$.

A aplicação da modelagem de duas camadas, exibida na figura 7 juntamente com a medição de resistividade pelo Método de *Wenner* pode ser representada pela figura 7 a seguir.

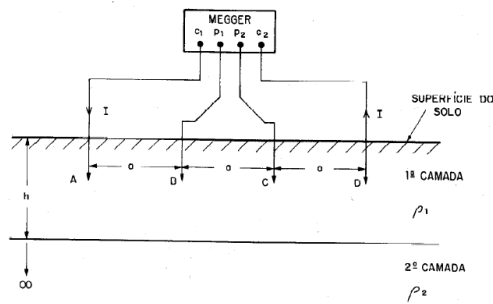


Figura 7- Configuração de *Wenner* no solo de duas camadas
 Fonte - KINDERMANN & CAMPAGNOLO, 1995.

Sabendo que a corrente elétrica I entra no solo pelo ponto D , retorna ao aparelho pelo ponto C e fazendo uso da expressão (2), pode-se obter os potenciais nos eletrodos de potencial B e C , exibidos em (3) e (4), respectivamente.

$$V_B = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left[\frac{1}{a} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{\sqrt{a^2 + (2nh)^2}} \right] - \frac{I\rho_1}{2\pi} \left[\frac{1}{2a} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{\sqrt{(2a)^2 + (2nh)^2}} \right] \quad (\text{eq.3})$$

$$V_C = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left[\frac{1}{a} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{\sqrt{a^2 + (2nh)^2}} \right] - \frac{I\rho_1}{2\pi} \left[\frac{1}{2a} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{\sqrt{(2a)^2 + (2nh)^2}} \right] \quad (\text{eq.4})$$

A diferença de potencial entre os pontos B e C é dada por:

$$V_{BC} = \frac{I\rho_1}{2\pi a} \left\{ 1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{K^n}{\sqrt{1 + \left(2n\frac{h}{a}\right)^2}} - \frac{K^n}{\sqrt{4 + \left(2n\frac{h}{a}\right)^2}} \right] \right\} \quad (\text{eq.5})$$

Por meio de manipulações algébricas na equação (5) e sabendo que a relação V_{bc}/i é representada o valor da resistência elétrica R lida no aparelho de medição, obtém-se a expressão (6).

$$2\pi a R = \rho_1 \left\{ 1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{K^n}{\sqrt{1 + \left(2n\frac{h}{a}\right)^2}} - \frac{K^n}{\sqrt{4 + \left(2n\frac{h}{a}\right)^2}} \right] \right\} \quad (\text{eq.6})$$

Sabendo que para um afastamento entre as hastes relativamente grande, isto é, $a > 20h$, onde h é a profundidade a qual a haste esta cravada no solo, a equação (7) reduz-se a:

$$\rho = 2\pi a R \quad (\text{eq.7})$$

Substituindo (7) em (6) obtém-se finalmente a expressão (8), fundamental na elaboração da estratificação do solo em duas camadas.

$$\frac{\rho(a)}{\rho_1} = 1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{K^n}{\sqrt{1 + \left(2n \frac{h}{a}\right)^2}} - \frac{K^n}{\sqrt{4 + \left(2n \frac{h}{a}\right)^2}} \right] \quad (\text{eq.8})$$

Sabendo que o coeficiente K pode apresentar valores positivos e negativos, pode-se obter curvas $p(a)$ x a ascendentes e descendentes. Para K variando na faixa negativa, tem-se a curva $p(a)$ x a descendente, apresentada na figura 8 e para K variando na faixa positiva, tem-se a curva $p(a)$ x a ascendente, apresentada na Figura 8.

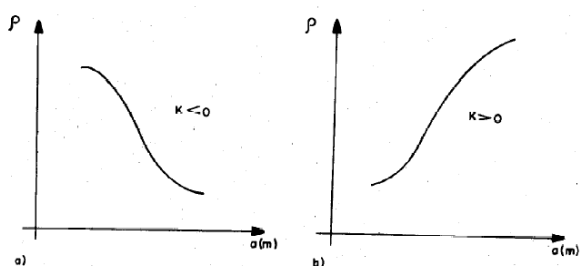


Figura 8 - Curvas $p(a)$ x a descendente e ascendente Fonte - KINDERMANN & CAMPAGNOLO, 1995.

2.3 TIPOS DE SISTEMAS DE ATERRAMENTO

2.3.1 INTRODUÇÃO

Os diversos tipos de aterramento devem ser realizados de modo a garantir a melhor ligação com a terra. O tipo de sistema de aterramento a ser instalado depende da importância do sistema de energia elétrica envolvido, do local e do custo. O sistema mais eficiente, evidentemente, é a malha de aterramento. Serão apresentados os sistemas de aterramento mais simples (KINDERMANN & CAMPAGNOLO, 1995). Os principais tipos são:

- Uma simples haste cravada no solo;
- Hastes alinhadas;
- Hastes em triângulo;
- Hastes em quadrado;
- Hastes em círculo;
- Placas de material condutor enterradas no solo;
- Fios ou cabos enterrados no solo, formando diversas configurações (KINDERMANN & CAMPAGNOLO, 1995).

2.3.2 HASTE VERTICAL

A Figura 9 mostra uma haste vertical cravada no solo, onde L é o comprimento da haste, "pa" a resistividade aparente do solo e d o diâmetro do círculo equivalente a área da seção transversal da haste.

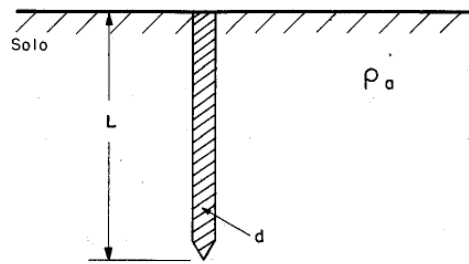


Figura 9 - Haste cravada no solo
 Fonte - KINDERMANN & CAMPAGNOLO, 1995.

A resistência elétrica da haste pode ser determinada pela equação (9).

$$R_{1haste} = \frac{\rho a}{2\pi L} \ln\left(\frac{4L}{d}\right) \quad (\text{eq.9})$$

Para haste com secção transversal diferente de um círculo, deve-se efetuar o cálculo da área da sua secção transversal e igualar a área de um círculo, como está exibido na eq 10. Tal procedimento deve ser realizado desde que a maior dimensão da secção transversal em relação ao comprimento da haste seja muito pequena.

$$S = S_{circulo} = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

$$d = 2 \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad (\text{eq.10})$$

O aterramento com uma única haste nem sempre fornece o valor de resistência desejado. Por meio de alguns procedimentos pode-se, então, reduzir o valor da resistência até atingir o valor desejado:

- Aumento do diâmetro da haste: Analisando a equação 9 percebe-se que, aumentando o diâmetro da haste, tem-se uma redução na resistência de aterramento. Esta redução apresenta uma saturação ao aumentar-se demasiadamente o diâmetro da haste. Um grande aumento no diâmetro da haste, sob o ponto de vista de custo-benefício, não seria vantajoso (KINDERMANN & CAMPAGNOLO, 1995).
- Interligação de hastes em paralelo: Este procedimento diminui sensivelmente o valor da resistência de aterramento. O cálculo da resistência equivalente não segue a lei simples de paralelismo de resistências elétricas, no entanto, tal cálculo não será evidenciado neste trabalho.
- Aumento do comprimento da haste: Aumentando o comprimento L da haste, tem-se uma redução no valor da resistência elétrica da haste, como pode-se notar analisando a equação 9. Além disso, hastes maiores atingem camadas mais profundas, com menores resistividades, em condição de temperatura mais constante e estável ao longo do tempo e produção de gradientes de potencial maiores no fundo do solo.
- Redução da resistividade aparente do solo utilizando tratamento químico no mesmo.

Existem outros tipos de aterramento que não serão citados nesse artigo.

3 CONCLUSÃO

Por meio deste trabalho pode-se agregar um aprofundado conhecimento sobre o aterramento de sistemas elétricos, componente fundamental para o bom desempenho do sistema e, principalmente, para a segurança dos seres vivos.

A resistividade do solo do local onde será instalado o sistema de aterramento é de fundamental importância para a eficiência de tal. Este parâmetro é determinado por meio de medições, entre elas a realizada pelo Método de *Wenner*, que utiliza um aparelho chamado *Megger*, e apresenta grande influência na determinação da resistência de aterramento. Além do tipo, outros fatores causam grande alteração no valor da resistividade de um determinado solo, como teor de umidade, temperatura, etc.

Resistência de aterramento é o nome dado a grandeza que oferece resistência a passagem da corrente elétrica no solo por meio de um aterramento. De uma maneira geral, deve ser considerada uma impedância de aterramento, porém, para aplicações em baixas frequências, pode ser realizada uma simplificação do modelo matemático e utilizada somente a resistência do aterramento. Um método bastante utilizado para a medição dessa grandeza é o método da queda de potencial.

A estratificação é um dos fatores de influência da resistividade do solo mais importante, se não o mais importante. Devido à formação geológica, os solos, em sua maioria, apresentam camadas horizontais, onde as camadas mais profundas tem menor resistividade. Para tratar tal problema foram criados métodos de estratificação do solo em duas e várias camadas, onde são encontradas a profundidade e a resistividade de cada camada.

Também é citado o tipo do sistema de aterramento. Dependendo da configuração adotada, pode-se reduzir o valor da resistência de aterramento do sistema. Tem-se sistemas dos mais simples, como uma haste vertical cravada no solo, como sistemas bastante complexos, como as malhas de aterramento ou cabos enterrados no solo.

Por último, e não menos importante, fala dos Sistemas de aterramento TN-S e TN-C-S, que foi a solução usada no problema de campo encontrado pelos inspetores da Atlas Schindler em seus elevadores. Em 100% dos equipamentos que foi utilizada a teoria apresentada nesse artigo o resultado foi satisfatório e os equipamentos foram aprovados no teste de qualidade e segurança do produto Schindler, sendo assim, um trabalho de muita valia para a empresa, para os técnicos, para o equipamento e principalmente para os futuros usuários dos elevadores da Atlas Schindler.

REFERÊNCIAS

ALIPIO, R. S. **Modelagem Eletromagnética de Aterramentos Elétricos nos Domínios do Tempo e da Frequência**. Belo Horizonte, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, 2008.

ALIPIO, R. S., *et al.* **Modelagem de Aterramentos Elétricos Para Fenômenos de Alta Frequência e Comparação com Resultados Experimentais**. 2011.

ALIPIO, R. S., *et al.* **Modelagem Computacional de Aterramentos Elétricos**. (s.d.).

FILHO, S. V. **Aterramentos Elétricos: Conceitos Básicos, Técnicas de Medição e Instrumentação, Filosofias de Aterramento**. São Paulo: Artliber Editora Ltda., 2002.

KINDERMANN, G., & CAMPAGNOLO, J. M. **Aterramento Elétrico**. 3ª Edição ed.(Sagra, & D. Luzzatto, Eds.) Porto Alegre, 1995.

MACEDO, F. F., GOMES, D. S., & GUILLIOD, S. M. **Aterramento e Proteção Contra Sobre-Tensões em Sistemas Aéreos de Distribuição**. Volume 7. Niterói: EDUFF, 1990.

RAGGI, L. M. **Projeto de Malha de Aterramento: Contribuição ao Cômputo da Estratificação do Solo**. Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, 2009.

(EN81-1 e a NBR NM207)