*Por Rinaldo Botelho, Rosane Ribas e José Maurílio da Silva**

Capítulo I

Introdução

A proposta desta série de artigos é levar aos leitores o conhecimento obtido ao longo do tempo e detalhar pontos importantes de cada norma ligada ao assunto "aterramento elétrico".

A Comissão de Estudos que atua na área especifica de "aterramentos elétricos" é a CE-03.102, reativada em setembro de 2004, após desenvolvimento de trabalhos árduos e extremamente produtivos no âmbito do Comitê de Distribuição (CODI) nos anos de 1980. Daquele comitê participaram profissionais de todas as empresas de distribuição de energia elétrica do país sendo os trabalhos interrompidos no início do processo de privatização destas empresas.

A nova comissão, integrada por representantes de empresas concessionárias de energia elétrica, projetistas, consultores, fabricantes de equipamentos de medição e materiais para aterramento e instituições de pesquisa, teve então como escopo a normalização sobre assuntos relacionados a aterramento. Este tema inclui resistividade de solos, medições em sistemas de aterramento de qualquer natureza energizados ou não energizados, projetos de aterramentos para sistemas de distribuição de energia elétrica, critérios de projetos para subestações de energia elétrica, materiais de aterramento, etc.

Ao longo dos anos, o tema "aterramento elétrico" vem exigindo cada vez mais estudos e incorporação de novas técnicas alinhadas à evolução do conhecimento e dos dispositivos e equipamentos que devem ser protegidos.

Mas um sistema de proteção e aterramento não visa apenas atender às necessidades de proteção de equipamentos, mas, fundamentalmente, a proteção à vida. Para tanto, há que se estabelecer normas que tornem os sistemas mais seguros e confiáveis

É de suma importância destacar que as revisões das normas internacionais (IEEE e IEC) também impactam nossas normas e a comissão atua na vanguarda destas atualizações. A norma IEEE 80, por exemplo, (serviu e serve como guia para projeto de sistemas de aterramento em subestações) indicou em sua revisão de 2012 a necessidade de medir as componentes reativas das resistências de aterramento com alta frequência (dezenas de kilohertz).

A versão de 2012, parágrafo 12.1, traz: "Traditional ground test instruments operate using a low-frequency ac balanced bridge or other similar methods, and the impedance measured is the resistance nearly equal to dc, thus, not including high-frequency reactance components. Testers used to evaluate the high-frequency reactance of a ground electrode system apply either a high-frequency current in the tens of kHz range or a sharp impulse with a fast rise time (1 μs). The three-point method or the fall-of-potential method test configurations are typically used for this type of tester".

A norma brasileira ABNT NBR 15749:2009 – Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento já apresentava um anexo com esta orientação, indicando a necessidade de medição com terrômetro de 25 kHz, apresentando um grande avanço em nível mundial.

Outra inovação foi o estabelecimento de uma norma de "materiais de aterramento" e mais ainda, incluir nesta norma "tratamento para solo de alta resistividade", que também está muito alinhada às internacionais IEC 62305 e IEC 62561.

As normas desenvolvidas pela comissão e já publicadas pela ABNT são:

NBR 7117 – Medição de resistividade do solo pelo método dos quatro pontos (Wenner);
NBR 15751 – Sistemas de aterramento de subestações – Requisitos;
NBR 15749 – Medições de potenciais superficiais – Toque e Passo;
NBR 16527-1 – Aterramento para sistema de distribuição – Parte 1;
NBR 16254 -1 – Materiais para sistema de aterramento – Parte 1.

A norma ABNT NBR 16527-1 foi publicada em 06/10/2016 sendo, portanto, o mais recente trabalho da comissão. As demais estão em revisão e complementação, conforme tabela a seguir:

Tabela 1 – Cronograma das normas em revisão na área de aterramentos elétricos

Título		*NBR*	*POSIÇÃO*
Materiais para sistema de aterramento - parte 1	Requisito Gerais	NBR 16254-1	Publicado em 08/01/2014
Materiais para sistema de aterramento - parte 2	Hastes de aterramento		Em estudo
Materiais para sistema de aterramento - parte 3	Condutor de aterramento		Em estudo
Materiais para sistema de aterramento - parte 4	Conector de aterramento		Em estudo
Materiais para sistema de aterramento - parte 5	Práticas recomendadas		Em estudo
Aterramento para sistema de distribuição - Parte 1	Requisitos Gerais	NBR 16527 -1	Publicada em 06/10/2016
Aterramento para sistema de distribuição - Parte 2	Procedimentos construtivos		Em estudo
Aterramento para sistema de distribuição - Parte 3	Sistema monofilar com retorno pela terra		Em estudo
Sistema de aterramentos de subestações - parte 1	Requisitos Gerais	NBR 15751	Publicado em 21/01/2010 - em revisão
Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento	Requisitos Gerais	NBR 15749	Publicada em 13/08/2009
Medição da resistividade e determinação da estratificação do solo		NBR 7117	Publicada em 19/07/20-12 - em revisão

Neste primeiro artigo, abordaremos a ABNT NBR 16254-1 - Parte 1 – Materiais para sistemas de aterramento – Requisitos.

ABNT NBR 16254-1

A norma ABNT NBR-16.254 traz, em seu primeiro capítulo, os requisitos gerais para materiais utilizados em sistemas de aterramento. A Comissão de Estudos já iniciou os trabalhos para os demais capítulos (hastes de aterramento, conectores, condutores, etc.), conforme descrito na Tabela 1.

A ênfase da ABNT NBR 16254 – Parte 1 está nas características funcionais e não nas características construtivas dos materiais, assuntos que serão objeto dos capítulos subsequentes.

As instalações atuais apresentam características, como, aterramento de

transformadores de distribuição na área urbana, sistemas de telefonia, além de, geralmente, terem limitações de espaço para desenvolvimento de grandes malhas de aterramento, ou ainda, parques de geração fotovoltaica ou eólica que, em geral, são instalados em solos de alta resistividade. Isso, muitas vezes, obriga o projetista, a partir das medições de resistividade do solo e da análise geométrica da malha, a usar elementos (aditivos para tratamento de solo) que reduzam a resistividade do solo, conferindo resistência e impedância baixas ao sistema.

Melhoramento do solo

A ABNT NBR 16254-1 trata no item 8, especificamente, sobre melhoramento do solo. Este trabalho foi desenvolvido a partir de uma série de estudos, análises em laboratório e em campo. Também foi baseado na norma internacional IEC 62561 - 7 Lightning protection system components (LPSC) – Part 7: Requirements for earthing enhancing compounds.

Muitos artifícios eram e ainda são utilizados visando obter aterramentos de baixa resistência, embora a obtenção de resistência pré-definida (10 ohms, por exemplo) já não conste nas normas como exigência, mas como recomendação, sendo mais importantes a eliminação de potenciais perigosos e a equalização destes potenciais. O conjunto resistência e impedância ainda influencia na análise independente de cada sistema de aterramento e sua função (surtos, corrente de curto circuito etc.).

Era comum se utilizar carvão, produtos químicos altamente danosos ao meio ambiente (sais e sulfatos), geralmente, produtos facilmente lixiviáveis, e através destes tentar obter baixas resistências e "melhorar o aterramento".

Esta seção da norma define justamente os ensaios a serem realizados em aditivos (também chamados de despolarizantes) que podem ser aplicados em solos, envolvendo condutores e/ou hastes de aterramento com objetivo de reduzir a resistência de aterramento.

Estes materiais devem ter as seguintes características mínimas:

- Não tóxico, não agressivo ao meio ambiente;
- Não causar efeitos na pele;

E devem ser analisados quanto à:

- Determinação da condutividade e resistividade;
- Determinação da capacidade de retenção de água;
- Determinação da umidade do solo;
- Determinação do potencial de corrosão;
- Determinação do pH do solo saturado com água;
- Determinação da sobretensão do hidrogênio;
- Determinação do potencial Redox;
- Determinação do pH do extrato aquoso;
- Determinação de cloretos;
- Análise qualitativa de sulfatos.

Os dois primeiros itens devem ser comprovados através de testes específicos em laboratórios especializados; para os demais a norma estabelece os padrões de ensaios.

Quanto à resistividade

A determinação da resistividade do aditivo para tratamento do solo leva em conta:

- Resistividade do produto seco;
- Variação da resistividade com o teor de umidade;
- Grau de absorção de umidade.

A condução de corrente por um determinado elemento está ligada à sua estrutura atômica, definida por seus elétrons livres ou ainda por troca iônica.

Quando utilizamos um tratamento para o solo, o mesmo pode ser um condutor ou um eletrólito, facilitando o trânsito de elétrons entre a malha e o solo. A resistência e a impedância do sistema também estão ligadas à geometria da malha, ao tipo de condutor utilizado (seção condutora e geometria) e também às características do solo.

Quando se utiliza um componente para tratamento que apresente baixa resistividade e, consequentemente, boa condutividade, significa que se está ampliando o contato dos eletrodos com o solo e permitindo melhor escoamento e dispersão de corrente.

A análise estabelecida em norma visa a verificação e a comprovação destes fatores, que influenciarão na resistência final de aterramento.

A Figura 1 apresenta o perfil do comportamento da variação da resistividade com teor de água para um solo hipotético. Já a Figura 2 mostra a curva característica de um tratamento de solo hipotético e, por fim, a Figura 3 traz o comportamento característico um tratamento de solo misturado a areia lavada.

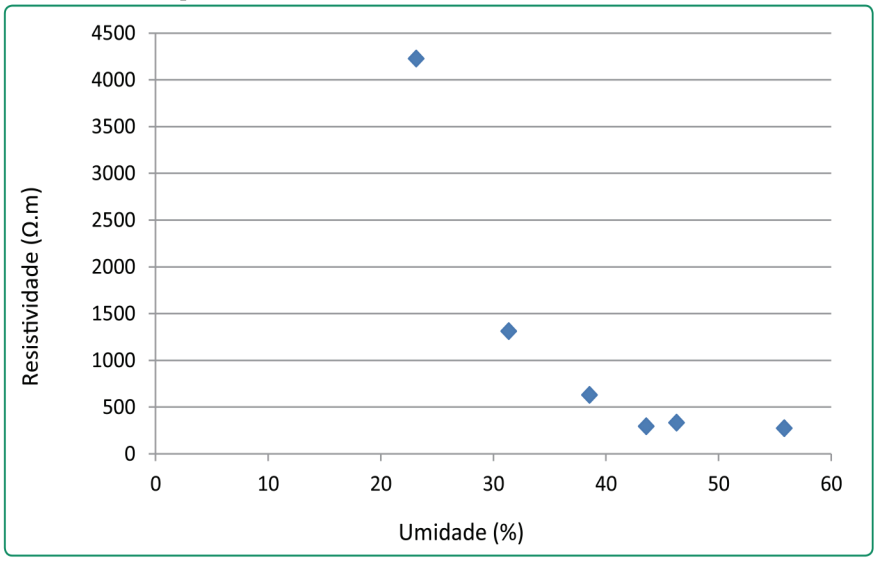

Figura 1 – Variação da resistividade do solo em função do teor de umidade.

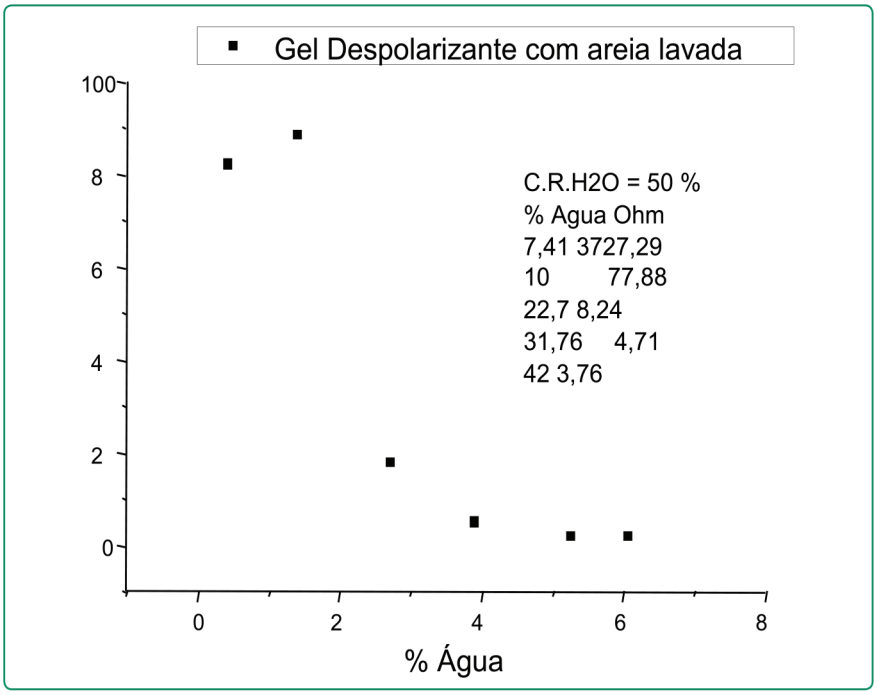

Figura 2 – Curva característica de um tratamento de solo puro versus adição de água.

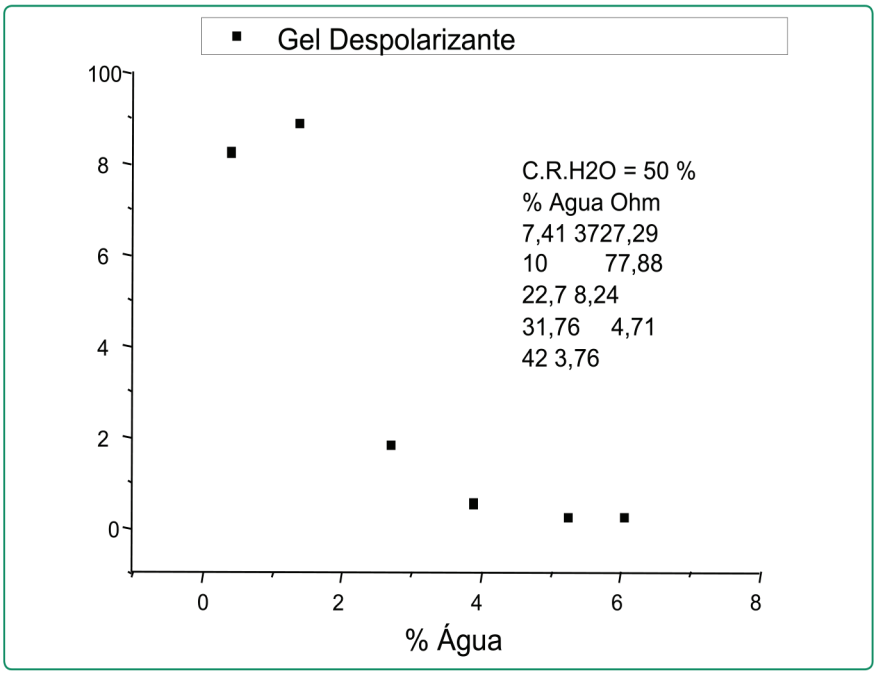

Figura 3 – Curva característica de um tratamento do solo misturado com areia tratada versus adição de água.

Os anexos C e D da norma ABNT NBR 16254-1 apresentam ensaios para a caracterização do aditivo ou despolarizante pela obtenção da resistividade mínima e pela capacidade de retenção de água.

Quanto à corrosão

Quanto mais condutor é um solo, maiores serão os índices de corrosão, portanto, deve-se sempre analisar os materiais empregados em um sistema de aterramento quanto à vida útil e ao grau de corrosividade.

A corrosão de estruturas enterradas é causada tanto pelas propriedades físico-químicas e biológicas do solo (agressividade específica), como também por fatores externos que interferem no processo de corrosão (agressividade relativa).

Os parâmetros relacionados aos fatores externos estão detalhados no Anexo B da norma NBR 16254-1. A agressividade específica, por sua vez, está intimamente ligada às propriedades locais do solo, como: resistividade elétrica, teor de umidade, acidez ou alcalinidade, permeabilidade, presença de sais solúveis e micro-organismos. Estes fatores atuam de forma conjunta e, por este motivo, a agressividade ou corrosividade dos solos não pode ser avaliada com base em propriedades isoladas.

A norma NBR 16254 – 1 estabelece os métodos de medição em laboratório, dos principais parâmetros que influenciam a corrosividade dos solos e fornece alguns métodos e critérios básicos para a sua avaliação. Estes métodos e critérios não são únicos, havendo várias proposições que apresentam, na maioria dos casos, resultados satisfatórios quando comparados com os observados em campo. No entanto, nenhum desses métodos envolve todas as variáveis que atuam no processo de corrosão pelo solo, devendo ser sempre analisados caso a caso, verificando o mais adequado para cada situação.

As tabelas 2, 3, 4 e 5 reproduzem, respectivamente, as tabelas B.4, B.5, B.6 e B.7 da norma. Tratam-se dos critérios propostos para analise de corrosão do solo.

Tabela 2 – Critério proposto para classificação de solos com base na resistividade mínima (IEEE 2002)

ρminima Ω m	*Corrosividade do solo*
> 1 000	Não agressivo (< 25µm/ano)
250 a 1 000	Pouco agressivo (25 a 100) µm/ano
70 a 250	Média agressividade (100 a 200) µm/ano
25 a 70	Agressivo (200 a 300) µm/ano
< 25	Muito agressivo (>300 µm/ano)

Tabela 3 – Critério proposto para classificação de solos com base na porcentagem de água no ponto de retenção (ASTM D2017-81, 11.1.1)

C.R.H2O (%)	Corrosividade do solo
< 15	Não agressivo
15 a 30	Pouco agressivo
> 30	Agressivo

Tabela 4 – Critério proposto para avaliação da corrosividade de solos com base no pH (IEEE-2002)

$pH_{água}$	Corrosividade do solo
> 7	Não agressivo (<25 µm/ano)
4 a 7	Média agressividade (25 a 300) µm/ano
<4	Muito agressivo (>300 µm/ano)

Tabela 5 – Critério proposto para avaliação da corrosividade de solos com base na quantidade de cloretos (KAIN, R.M.; OLDFIELD, J.W. 1990)

[cloretos]/PPM	Corrosividade do solo
<40	Não agressivo
40 a 90	Pouco agressivo
90 a 180	Média agressividade
>180	Agressivo

Além dos critérios já mencionados, a norma abrange outros, como: par galvânico, potencial Redox, etc.

Estas analises podem ser feitas no solo, no tratamento do solo (aditivo) e no solo tratado.

O solo tratado sofrerá alteração em suas características ao redor dos eletrodos que resultará em redução da resistividade, sendo esta diferença entre um eletrodo tratado e um eletrodo sem tratamento traduzido em um coeficiente (kT). Este coeficiente será tanto menor quanto maior for a resistividade do solo.

Na prática, pode-se determinar o coeficiente de redução comparando um eletrodo tratado e um eletrodo não tratado e definir a resistência de uma haste tratada (R_{1hT}) conforme equação:

$$R_{1hT} = \frac{kT \times \rho_a \times \ln \frac{4L}{d}}{2\pi L}$$

Em que:

ρa é a resistividade aparente, expressa em ohms metro (Ω m);

L é o comprimento da haste, expressa em metros (m);

d é o diâmetro do eletrodo, expresso em metros (m);

kT é a resistência após o tratamento/ resistência antes do tratamento.

Nota: Os coeficientes de redução (kT) obtidos na prática variam de 0,05 a 0,50.

Com todos estes parâmetros definidos e ensaiados, é possível estabelecer um tratamento para o solo adequado, com longa vida útil, sem contaminar o meio ambiente.

Convém lembrar ainda que a ABNT NBR 16 254-1 é finalizada com um item sobre segurança a ser seguido durante a etapa de campo e/ou de laboratório.

**Rinaldo Junior Botelho é matemático, engenheiro eletricista e sócio fundador da empresa Fastweld. Atua há 30 anos no segmento de materiais para aterramento. É membro da CE 03:102 – Comissão de estudos de "Segurança em Aterramento Elétrico de Subestações C.A", que faz parte do Comitê Brasileiro de Eletricidade (CB-03), do Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica, Iluminação e Telecomunicações (Cobei).*

Rosane Maris Ribas é engenheira, trabalhou por 30 anos no departamento de engenharia da Copel, é membro da CE 03:102 – Comissão de estudos de "Segurança em Aterramento Elétrico de Subestações C.A", que faz parte do Comitê Brasileiro de Eletricidade (CB-03), do Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica, Iluminação e Telecomunicações (Cobei).

José Maurílio da Silva é pesquisador, doutor em físico química, especialista em corrosão pelo solo, trabalhou no Lactec e é membro da CE 03:102 – Comissão de estudos de "Segurança em Aterramento Elétrico de Subestações C.A", que faz parte do Comitê Brasileiro de Eletricidade (CB-03), do Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica, Iluminação e Telecomunicações (Cobei).

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