



Apostila Básica

ATERRAMENTO EM BAIXA TENSÃO

<https://www.youtube.com/channel/UCLLlxQJTnOpE9XhDb3jiDOA>

**PROFESSOR – Ms. Luciano Henrique
Duque**



<https://www.youtube.com/channel/UCLLlxQJTnOpE9XhDb3jiDOA>

Sumário

1.0 Introdução	2
1.1 Tipos básicos de aterramento	2
1.2 Aterramento informações NBR 5419:2015	2
1.3 Esquemas de aterramento e de Proteção Associado	3
1.3.1 Esquema TNS.....	3
1.3.2 Esquema TNC.....	4
1.3.3 Esquema TT	4
1.3.4 Esquema TN-C-S	5
1.3.4 Esquema IT.....	5
2.0 Aterramento não Natural e Natural.....	6
2.1.1 Aterramento não Natural e Natural	6
2.1.1 Aterramento não Natural com Eletrodo Vertical	7
2.1.2 Aterramento não Natural Associação de Eletrodos em Linha	9
2.1.3 Aterramento não Natural em Malha	10
2.1.4 Aterramento não Natural em Geometrias distintas.....	10
3.0 Aterramento natural.....	11
4.0 Resistividade do solo	12
4.1.1 Estratificação do solo	15
4.1.2 Medição de resistividade do solo.....	16
4.1.3 Medição de resistência de aterramento	18
Bibliografia	23

1.0 Introdução

Aterramento é a ligação de estruturas ou instalações com a terra, a fim de se estabelecer uma referência para a rede elétrica e permitir que fluam para a terra correntes elétricas de natureza diversas, tais como:

- ✓ correntes de raios;
- ✓ descargas atmosféricas;
- ✓ correntes de filtros, supressores de surtos e para-raios de linha;
- ✓ correntes de faltas (defeitos=curto-circuito) para a terra.

1.1 Tipos básicos de aterramento

Temos dois tipos de aterramento quanto a sua funcionalidade, o aterramento funcional e o aterramento de proteção.

Aterramento funcional: consiste na ligação a terra de um dos condutores do sistema (geralmente o neutro) e está relacionado ao funcionamento correto, seguro e confiável da instalação.

Aterramento de proteção: consiste na ligação a terra das massas e dos elementos condutores estranhos à instalação, visando a proteção contra choques por contato indireto.

Os critérios de aterramento de instalações elétricas de baixa tensão encontram-se bem estabelecidos na norma NBR 5410:2008 e podendo ser complementados pela NBR 5419:2015

1.2 Aterramento informações NBR 5419:2015

O aterramento deve único para toda a instalação elétrica e ser integrado à estrutura da edificação – o eletrodo de aterramento preferencial em uma edificação é o constituído pelas armaduras de aço embutidas no concreto das fundações das edificações. O aterramento do neutro deve ser feito somente na entrada da edificação – daí em diante, o neutro pode receber o tratamento de um condutor vivo (energizado) – esquema TN-S.

Vantagens da integração dos aterramentos

- Equipotencialização de massas metálicas;
- Unificação das referências de terra;
- Redução da resistência de aterramento da instalação, em função da maior área da malha.

1.3 Esquemas de aterramento e de Proteção Associado

As redes de distribuição são classificadas segundo diversos esquemas de aterramento. Os esquemas de aterramento diferem entre si em função da situação da alimentação e das massas com relação à terra.

Primeira Letra= identifica a situação da alimentação em relação à terra:

- ✓ T= sistema diretamente aterrado;
- ✓ I = sistema isolado ou aterrado por impedância;

Segunda Letra = identifica a situação das massas da instalação com relação à terra:

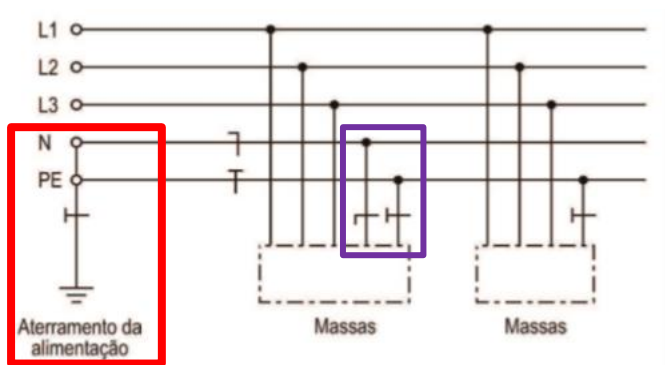
- ✓ T= massas diretamente aterradas;
- ✓ N = massas ligadas ao ponto de alimentação, onde é feito o aterramento.

Terceira Letra= Disposição dos condutores de neutro e proteção:

- ✓ S= condutores de neutro e de proteção separados;
- ✓ C = neutro e de proteção combinados em um único condutor (PEN)

1.3.1 Esquema TNS

No esquema TNS temos um ponto da alimentação aterrado (neutro) e as massas metálicas ligadas a esse ponto. Nesse esquema de aterramento os condutores de neutro e terra são distintos. A figura 1 ilustra o esquema TNS.



Neutro aterrado
na entrada!

O condutor neutro e o condutor de
proteção são distintos!

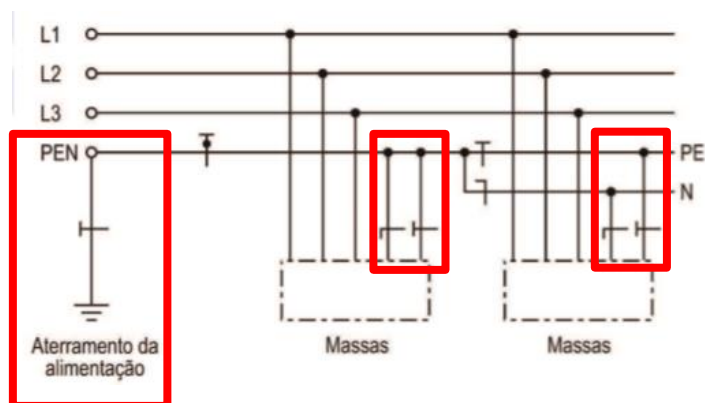
Figura 1: Esquema TNS

É importante destacar que no esquema TN possui um ponto da alimentação diretamente aterrado, sendo as massas ligadas a esse ponto através de condutores

de proteção. A terceira letra S, representa condutor de proteção (PE) e neutro distintos.

1.3.2 Esquema TNC

No esquema de aterramento TNC os condutores de neutro e terra são únicos, ou seja, continuam condutor de neutro e proteção, conhecido como PEN. A figura 2 ilustra o esquema TNC.



Neutro aterrado na entrada!

Figura 2: Esquema de aterramento TNC

O esquema TN possui um ponto da alimentação diretamente aterrado, sendo as massas ligadas a esse ponto através de condutores de proteção e a letra C representa funções de neutro e terra combinadas.

1.3.3 Esquema TT

Nesse esquema de aterramento um ponto da alimentação é aterrado (neutro) e as massa metálicas são aterradas por eletrodos distintos. A figura 3 ilustra o esquema TT.

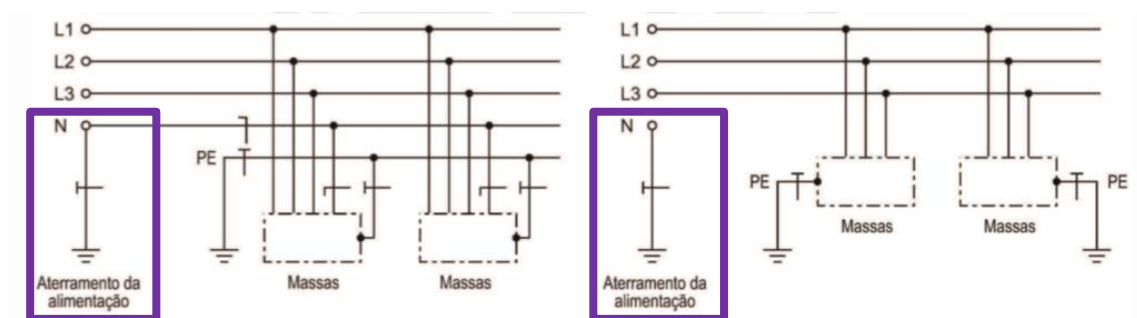


Figura 3: Esquema de aterramento TT

Neutro aterrado na entrada!

O esquema TT possui um ponto da alimentação diretamente aterrado, estando as massas da instalação ligadas a eletrodo(s) de aterramento eletricamente distinto(s) do eletrodo de aterramento da alimentação.

1.3.4 Esquema TN-C-S

Esse esquema de aterramento tem como característica a junção do TNC e TNS, ou seja, parte da instalação é TNC e o restante TNS. A figura 4 ilustra.

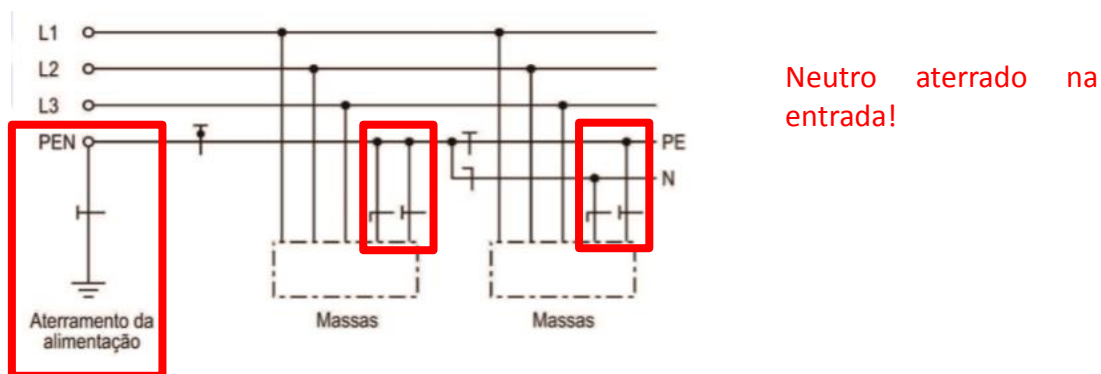


Figura 4: Esquema TN-C-S

1.3.4 Esquema IT

Nesse esquema de aterramento um ponto da alimentação é isolado ou ligado à terra via impedância. Nesse esquema o neutro não é aterrado diretamente (ou aterrado via impedância) e as massas metálicas são ligadas a eletrodos distintos. A figura 5 ilustra esse esquema de aterramento.

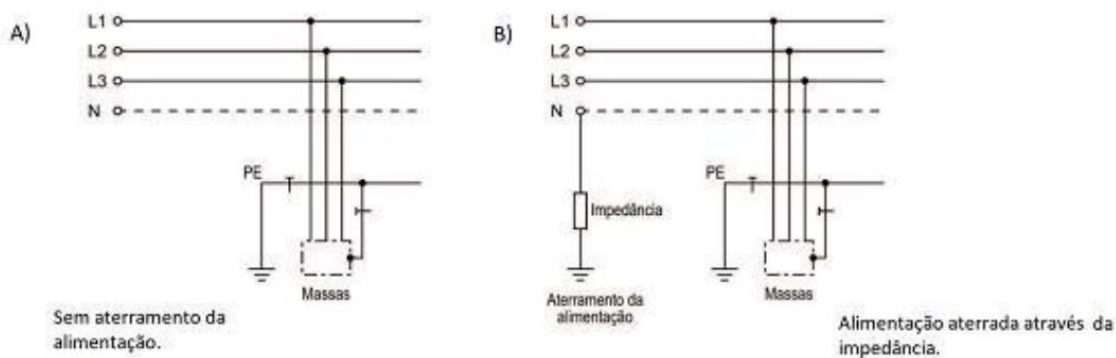


Figura 5: Aterramento IT

2.0 Aterramento não Natural e Natural

O aterramento não natural consiste em fazer uso de eletrodos de aterramento verticais (hastes) ou horizontais (cabos), que são cravados no solo e funcionam como aterramento.

O aterramento natural consiste em fazer uso das estruturas das edificações existentes como aterramento, ou seja, utilizar as armaduras do concreto como sistema de aterramento ou mesmo as estruturas metálicas das edificações, desde que satisfaçam os requisitos estabelecidos pela NBR 5410 e NBR 5419.

2.1.1 Aterramento não Natural e Natural

A figura 6 apresenta um exemplo de aterramento não natural e a figura 7 um aterramento natural.

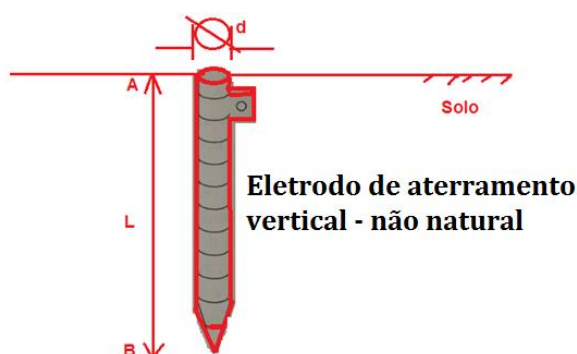


Figura 6: Aterramento não natural

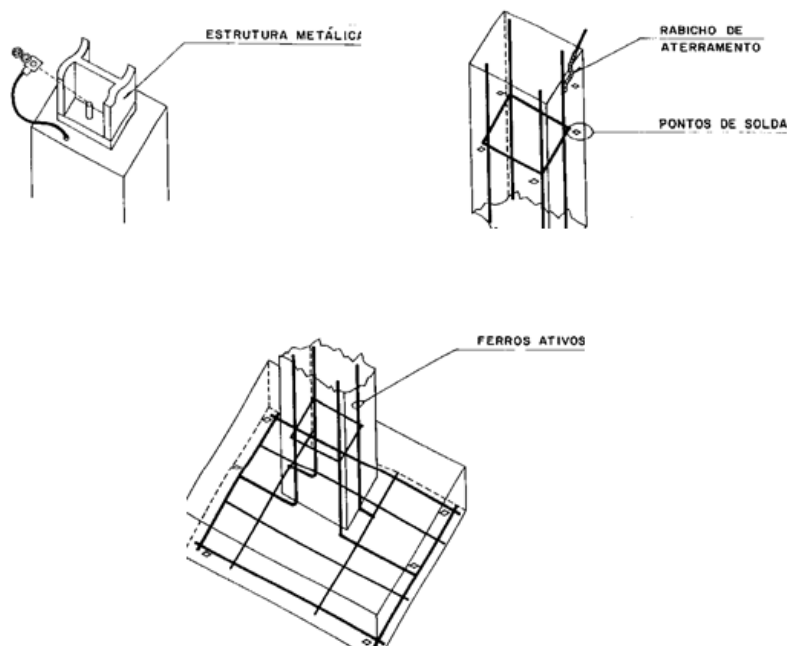


Figura 7: Aterramento natural

O condutor de proteção (PE) tem por função o aterramento das massas metálicas de equipamentos elétricos. A NBR 5410:2004 considera a continuidade do condutor de proteção vem a ser um dos cinco ensaios básicos a que uma instalação deve ser submetida quando do seu comissionamento.

O uso das armaduras do concreto da edificação como elementos naturais do sistema de aterramento e de proteção contra descargas atmosféricas permite uma distribuição da corrente do raio entre as colunas, como consequente redução dos campos magnéticos no interior da estrutura, beneficiando, também a equalização dos potenciais.

Nos casos em que a infraestrutura de aterramento da edificação for constituída pelas próprias armaduras embutidas no concreto das fundações (armaduras de aço das estacas, dos blocos de fundação e vigas baldrame), pode-se :

- Considerar que as interligações naturalmente existentes entre estes elementos são suficientes para se obter um eletrodo de aterramento com características elétricas adequadas, sendo dispensável qualquer medida suplementar.
- Nas fundações em alvenaria, a infraestrutura de aterramento pode ser constituída por fita, barra ou cabo de aço galvanizado imerso no concreto das fundações, formando um anel em todo o perímetro da edificação.

2.1.1 Aterramento não Natural com Eletrodo Vertical

Vários fatores influenciam na resistência de um aterramento de um eletrodo ou de uma associação deles. O que pesa realmente é a resistividade mais circunvizinha aos eletrodos. De uma certa forma, os fatores que influenciam a resistência do aterramento são:

- ❖ resistividade do solo nas adjacências dos eletrodos;
- ❖ geometria dos eletrodos (dimensão e forma).

Quanto aos eletrodos, pode-se considerar as suas dimensões, formas, número empregado, o posicionamento relativo e o espaçamento entre eles. A figura 8 ilustra o eletrodo não natura.

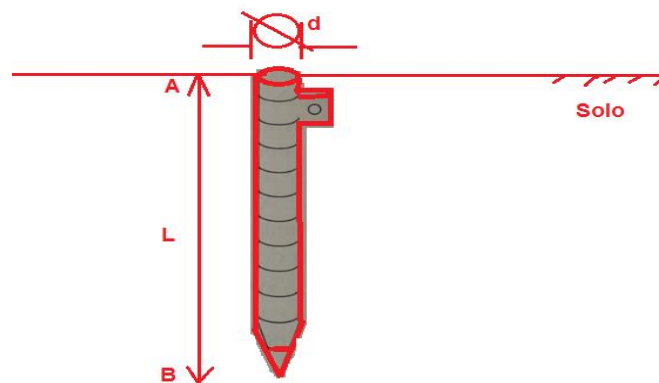


Figura 8: Eletrodo não natural

A equação 1 ilustra a resistência de aterramento de um único eletrodo vertical cravado no solo.

$$R_{1haste} = \frac{\rho_a}{2\pi L} \ln\left(\frac{4L}{d}\right) [\Omega]$$

Equação 1: Resistência de aterramento de eletrodo vertical

ρ_a – Resistividade aparente do solo

L – Comprimento da haste

d – Diâmetro do círculo equivalente a área da seção transversal da haste

Exemplo:

Um eletrodo vertical e cravado no solo e o solo possui resistividade $2892,95\Omega \cdot m$. O eletrodo tem: $d=0,5$ polegada e $L=2,4m$. Qual a resistência do aterramento? 1 polegada tem $2,54cm$.

$$d = 0,5 \text{ polegada}; L = 2,40m \quad 1\text{polegada} = 2,54cm$$

$$R_{1haste} = \frac{2892,95}{2 \times \pi \times 2,40} \times \ln\left(\frac{4 \times 2,4}{0,0127}\right) = 1.271,53\Omega$$

2.1.2 Aterramento não Natural Associação de Eletrodos em Linha

Aterramento em linha (ou paralelo) consiste em colocar **n hastes em linha**, com espaçamento mínimo entre elas de L (comprimento de uma haste). A resistência de aterramento diminui com o aumento do número de hastes, porém o número recomendado máximo é de 15 hastes, pois acima desse valor a variação na resistência é muito pequena. A resistência de aterramento é dada pela equação 2.

$$R_{Aterramento} = R_{1haste} \times K$$

Equação 2: Resistência de hastes em linha

O valor de K representa o fator de redução na resistência de aterramento que varia em função da haste e o número de hastes, conforme tabela 1. A tabela 1 é para haste de 2,4m e 0,5 polega (ou seja)

Espaçamentos	2,5m	3m	4m	5m
Número de Hastes	K	K	K	K
2	0,564	0,555	0,543	0,535
3	0,406	0,395	0,381	0,372
4	0,321	0,310	0,297	0,288
5	0,268	0,258	0,245	0,236
6	0,231	0,221	0,209	0,201
7	0,204	0,195	0,182	0,175
8	0,183	0,174	0,162	0,155
9	0,166	0,157	0,147	0,140
10	0,152	0,144	0,134	0,127
11	0,140	0,133	0,123	0,117
12	0,131	0,123	0,114	0,108
13	0,122	0,115	0,106	0,101
14	0,115	0,108	0,100	0,094
15	0,109	0,102	0,094	0,089

Tabela 1: Haste 2,4m e 0,5 polegada

O K pode ser utilizado para hastes de diferentes comprimentos e diâmetros, conforme tabela 1. A figura 9 representa com é um aterramento em linha.



Figura 9: Hastes em linha

2.1.3 Aterramento não Natural em Malha

Esse tipo de aterramento consiste em eletrodos horizontais enterrados no solo formando uma malha. A figura 10 ilustra o aterramento em malha.

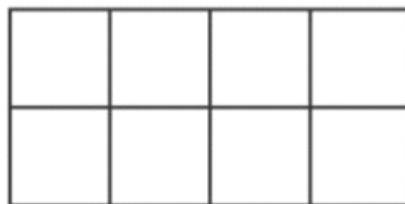


Figura 10: Aterramento em malha

A equação 3 define o aterramento em malha, que consiste em cabo de cobre de 50mm² enterrado no solo 50cm de profundidade.

$$R = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho}{L}$$

Equação 3: Aterramento em malha

Onde :

A: representa área (metro quadrado) da malha de aterramento enterrada 50cm no solo;

L: representa o comprimento (em metros) de cabo de 50mm² enterrado no solo;

ρ : representa a resistividade do solo em $\Omega.m$

Exemplo: Uma malha de aterramento de 10.000 m², com um total de 2.200 m de cabo enterrado em um solo com resistividade de 100 $\Omega . m$ apresentará uma resistência de 0,5 Ω .

2.1.4 Aterramento não Natural em Geometrias distintas

Vários fatores influenciam na resistência de um aterramento de um eletrodo ou de uma associação deles. Como já mencionado, das componentes desta resistência, pesa realmente a resistividade da terra mais circunvizinha aos eletrodos. A tabela 2 ilustra as equações de aterramento e sua geometria.

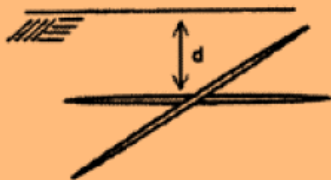
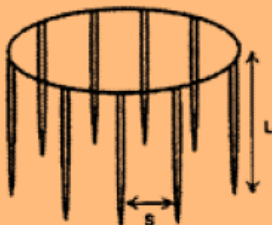
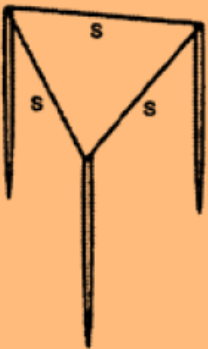
Eletrodos	Tipo / Expressão
	Estrela de 4 pontos colocada num plano horizontal de profundidade “d” (raio do eletrodo: a) $R_T = \frac{\rho}{8\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{L}{d} + 2,91 - 1,07 \frac{2d}{L} \dots \right)$
	n hastes verticais dispostas em círculo (s >> L) $R_T = \frac{1}{n} \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 + \frac{L}{d} \ln \frac{2n}{\pi} \right)$
	Conjunto de 3 hastes verticais interligadas, dispostas no vértice de um triângulo equilátero (aplicação típica de aterramento de pára-raios) $R_T = R_{11} \cdot \frac{1+2r/s}{3} \quad R_{11} = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$ r: raio do hemisfério que possui o mesmo valor de resistência de uma haste (R_{11})

Tabela 2: Aterramentos Elétricos

3.0 Aterramento natural

É um tipo de aterramento que utiliza eletrodos naturais, que podem ser as armaduras do concreto ou mesmo estruturas metálicas enterradas no solo. Esse aterramento se apresenta como melhor solução é indicado pela NBR 5410 e NBR 5419:2015.

Esse aterramento é também conhecido como estrutural, pois faz uso das fundações de concreto como eletrodo. A resistência de aterramento é dada pela equação 4.

$$R = \frac{\rho}{\pi \times 1,57 \times \sqrt[3]{V}}$$

Equação 4: Resistência de aterramento

Onde :

V: representa o volume das fundações de concreto m³;

ρ : resistividade do solo $\Omega \cdot m$;

Quando se tratar da dispersão da corrente de descarga atmosférica para a terra o método mais importante de minimizar qualquer sobretensão potencialmente perigosa é estudar e aprimorar a geometria e as dimensões do subsistema de aterramento.

Deve ser obter a menor resistência de aterramento possível, compatível com o arranjo do eletrodo, a topologia e a resistividade do solo no local. Na impossibilidade do aproveitamento das armaduras das fundações, o arranjo a ser utilizado consiste em condutor em anel, externo a estrutura a ser protegida, em contato com o solo por pelo menos 80% do seu comprimento total, ou elemento condutor interligando as armaduras descontínuas da fundação (sapatas).

4.0 Resistividade do solo

Define-se a resistividade do solo (ρ), como a resistência elétrica (R) medida entre as faces opostas de um cubo de dimensões unitárias (aresta l de 1 m , área das faces A de $1m^2$), preenchido com este solo. Sua unidade é " $\Omega \cdot m$ ". O solo em seu estado natural é um mau condutor de eletricidade. Se for considerado totalmente seco, ele se comporta como um material isolante. Consideram-se como os principais parâmetros que influenciam no valor da resistividade do solo, bem como a direção desta influência:

- Tipo de Solo: Os tipos de solo não são claramente definidos. A experiência mostra que, usualmente, são encontrados valores diferentes de resistividade para a mesma variedade de solo de localidades distintas. Este é um dos fatores que não é possível atribuir-se um valor específico de resistividade a um tipo de solo. É possível caracterizar faixas de valores para os diferentes tipos de solo. A tabela 3 apresenta alguns tipos de solo e sua resistividade.

TIPOS DE SOLO	FAIXA DE RESISTIVIDADES ($\Omega \cdot m$)
ÁGUA DO MAR	MENOR DO QUE 10
ALAGADIÇO, LIMO, HUMUS, 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 – 1000 SECO: 3 $k\Omega \cdot m$ – 2 $M\Omega \cdot m$
⁽¹⁾ A categoria molhado é típica de aplicação em ambientes externos. Valores inferiores a 50 $\Omega \cdot m$ são considerados altamente corrosivos.	

Tabela 3: Tipos de solo e sua resistividade

- Umidade do Solo : A condutividade do solo é sensivelmente afetada pela quantidade de água nele contida, sendo que o aumento da umidade do solo implica na diminuição da sua resistividade. A água é o principal elemento de condução de corrente no solo, o que pode ser comprovado, por exemplo, pelo comportamento da condutividade do solo quando lhe é alterada a concentração de sais minerais. Na figura a seguir, é apresentado um gráfico que estabelece a relação entre a resistividade e umidade para um solo arenoso. Observa-se que a resistividade diminui sensivelmente com o aumento da quantidade de água diluída no solo para variações do índice de 0 a 18%. O gráfico 1 ilustra a situação relatada.

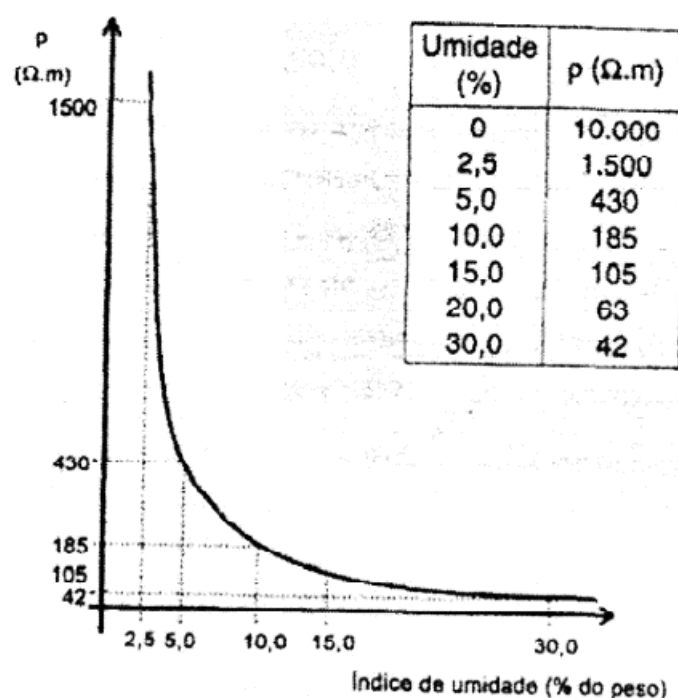


Gráfico 1: Resistividade com a umidade

- Concentração e Tipos de sais dissolvidos na água Sendo a resistividade de um solo dependente da quantidade de água retida neste, e conhecendo-se o fato de que a resistividade da água é governada pelos sais dissolvidos nesta (condição eletrolítica), conclui-se que a resistividade do solo é influenciada pela quantidade e pelos tipos de sais dissolvidos na água retida no mesmo. A tabela 4, a seguir apresenta a relação entre a quantidade de sal

adicionado a um solo arenoso, de umidade de 15%(Percentual em peso) e temperatura de 170 C, e sua resistividade.

Sal adicionado (% em peso)	Resistividade ($\Omega.m$) Solo arenoso
0	107
0,1	18
1,0	1,6
5,0	1,9
10,0	1,3
20,0	1,0

Tabela 4: Resistividade em função da salinidade

- Temperatura do Solo Deve-se encarar os efeitos da temperatura sobre a resistividade do solo em dois aspectos distintos:
 - uma temperatura elevada provoca maior evaporação, diminuindo a umidade do solo. Desta forma, um aumento de temperatura tende aumentar a resistividade.
 - considerando que a resistividade do solo é sensivelmente influenciada pela água nele contida e sabendo-se que a água possui alto coeficiente negativo de temperatura, é razoável supor que a resistividade tende a crescer para uma diminuição da temperatura.
- Compacidade do Solo Um solo mais compacto apresenta uma maior continuidade física, o que proporciona um menor valor de resistividade. Recomenda-se a espera de um certo tempo após a instalação de um aterramento elétrico, para se fazer a medição de sua resistência. O solo demora um pouco para se acomodar e tornar-se mais compacto. Um aumento na pressão sobre o solo ocasiona geralmente maior compacidade deste, com redução de sua resistividade.
- Granulometria do solo São de reconhecida importância no estabelecimento da resistividade do solo a dimensão e a presença de grãos de diversos tamanhos. Deve-se considerar essa influência em dois aspectos: - capacidade de retenção de água nas camadas do solo; - continuidade física do solo. Em ambos aspectos, a influência de uma granulometria maior tende aumentar a

resistividade (menor capacidade de retenção de água no solo, deixando-a fluir para camadas mais profundas ou evaporar-se ; menor contato entre os grãos resultando em menor continuidade elétrica).

4.1.1 Estratificação do solo

Quando se pensa na resistividade do solo de um certo local, atribui-se normalmente a esta, um valor da resistividade do material que o compõe. A composição do solo é geralmente estratificada em várias camadas de formação diferente (consequentemente de diferentes resistividades) superpostas.

O solo apresenta características anisotrópicas, quando por exemplo camadas mais profundas afloram em locais determinados, ocasionando descontinuidades na superfície. A resistividade pode variar dependendo da direção considerada e, para tratar do solo de um certo local, passa-se a atribuir-lhe o valor médio das resistividades das diversas partes que o compõem, denominado resistividade efetiva deste solo. A figura 11 ilustra a estratificação em solos em duas camadas.

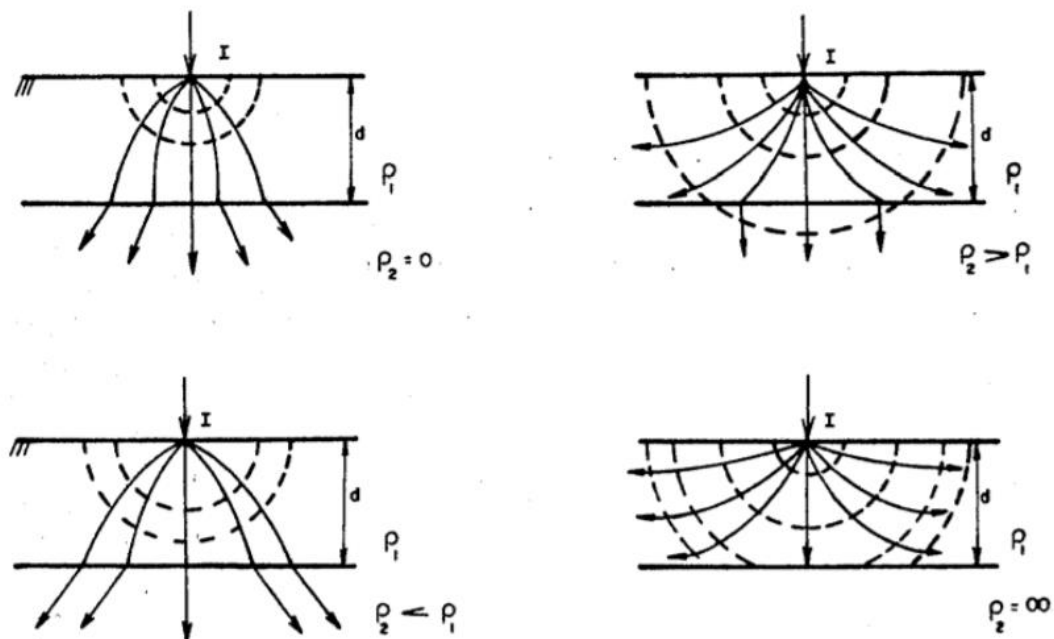


Figura 11: estratificação em duas camadas

Existem casos em que as camadas se apresentam inclinadas e até verticais, devido a alguma falha geológica. Estudos apresentados para pesquisa do perfil do solo as consideram aproximadamente horizontais, uma vez que outros casos são menos típicos.

4.1.2 Medição de resistividade do solo

A **resistividade elétrica** é uma propriedade que define o quanto um material (solo) opõe-se à passagem de corrente elétrica, de forma que:

- a) quanto maior for a resistividade elétrica de um material, mais difícil será a passagem da corrente elétrica;
- b) e quanto menor a resistividade, mais ele permitirá a passagem da corrente elétrica.

A resistividade do solo é fundamental em um projeto de aterramento. O valor da resistividade é obtido através de medições em campo, utilizando-se métodos de prospecção geoeletricos, dentre os quais, o mais conhecido e mais utilizado é o método de Wenner. A figura 11 apresenta o método de Wenner.

O método usa quatro pontos alinhados, igualmente espaçados, cravados a uma mesma profundidade.

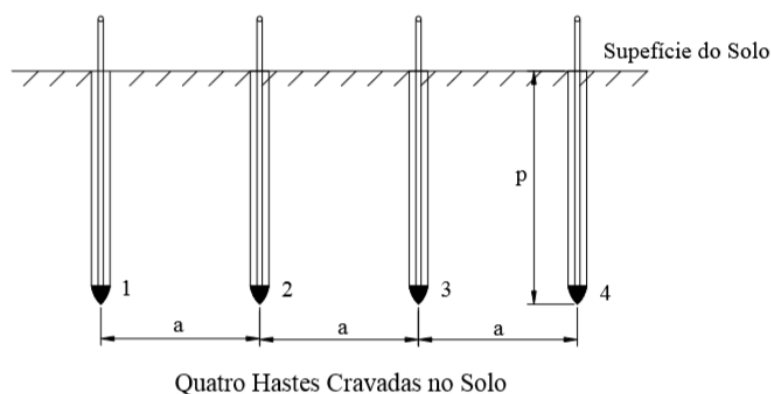


Figura 11: Método de 4 hastes (Wenner)

Uma corrente elétrica I é injetada no ponto 1 pela primeira haste e coletada no ponto 4 pela última haste. Esta corrente, passando pelo solo entre os pontos 1 e 4, produz potencial nos pontos 2 e 3.

A figura 12 ilustra o aparelho para medição.

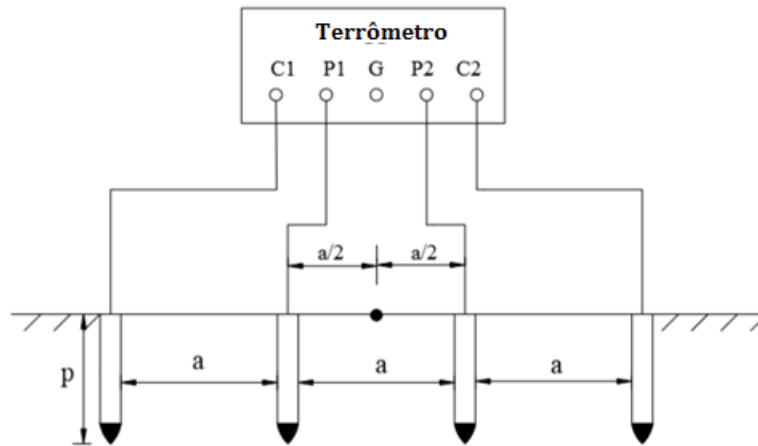


Figura 12: Medição de resistividade

O instrumento registra o valor da resistência do solo R e através da equação 5 completa de Palmer, podemos determinar a resistividade do solo:

$$\rho = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + (2p)^2}} - \frac{2a}{\sqrt{(2a)^2 + (2p)^2}}} [\Omega.m]$$

Equação 5: Resistividade do solo

Onde:

R : valor lido no terrômetro em ohms;

A : espaçamento entre as hastes em metros;

p : profundidade das hastes de ensaio em metros.

A figura 13 apresenta um modelo de terrômetro que mede resistividade.

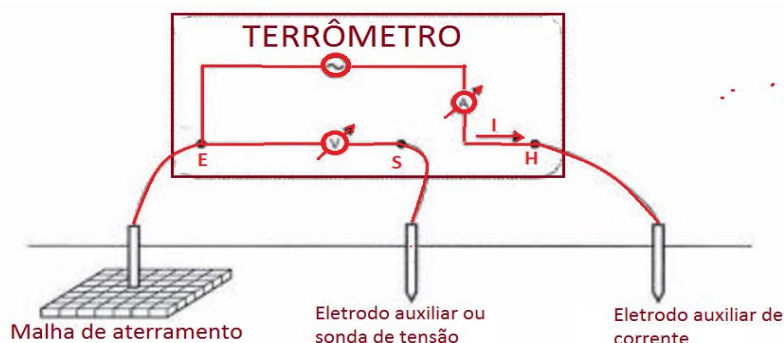


Figura 13: MTD – 20KWe Termômetro digital e medidor de resistividade

4.1.3 Medição de resistência de aterramento

Método queda de potencial:

Método da queda de potencial: é recomendado para medição da resistência de aterramento através de equipamento específico, o terrômetro. Consiste em fazer circular uma corrente através da malha de aterramento sob ensaio por intermédio de um eletrodo auxiliar de corrente e medir a tensão entre a malha de aterramento e o terra (terra remoto) por intermédio de uma sonda ou eletro auxiliar de potencial. A figura 14 ilustra como deve ser a medição do aterramento.



Figura

Figura 14: medição de aterramento

I : corrente de ensaio

S: borne para a sonda ou eletrodo auxiliar de potencial.

H: borne para o eletrodo auxiliar de corrente

E: borne para a malha de aterramento sob medição

Circuito de corrente: O eletrodo de corrente é constituído por uma ou mais hastes metálicas gravadas firmemente no solo, afim de garantir a menor resistência de aterramento do conjunto.

Circuito de potencial: O eletrodo de potencial é constituído por uma ou mais hastes metálicas gravadas firmemente no solo, afim de garantir menor resistência de aterramento do eletrodo.

Processo de medição

No processo de medição o eletrodo de potencial deve ser deslocado ao longo de uma direção predefinida, a partir da periferia do sistema de aterramento sob ensaio, em intervalos regulares de medição iguais a 5% da distância d . Fazendo a leitura da resistência em cada posição, obtém-se, a curva de resistência em função da distância. A figura 15 ilustra o processo de medição.

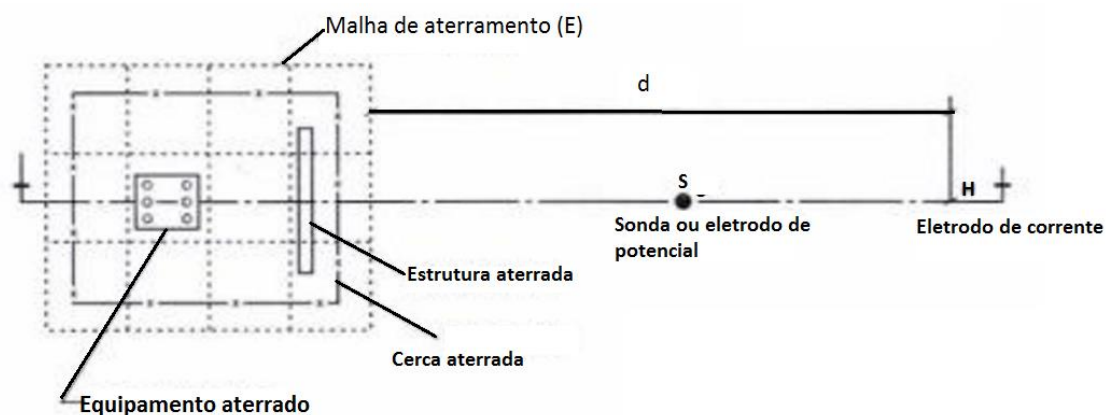


Figura 15: Medição por queda de potencial

Para verificação do trecho horizontal (patamar) da curva quando da aplicação do método de queda de potencial:

- ❖ O eletrodo de corrente H deve estar a uma distância d da periferia do sistema de aterramento sob ensaio (E) de pelo menos três vezes a maior dimensão deste sistema.

Mudar a posição do eletrodo de potencial S em 5% de d para a direita S1, e para esquerda S2 da posição inicial de S. Para garantir que as medições estão

executadas sem sobreposição das áreas de influência do sistema de aterramento e o eletrodo de corrente: Se a porcentagem entre a diferença dos valores medidos com o eletrodo de potencial em S1 e S2 e o valor medido em S não ultrapassa 10%.

Para minimizar os erros nas medições os eletrodos de corrente e potencial devem estar alinhados e na mesma direção e sentido. A figura 16 ilustra as medições.

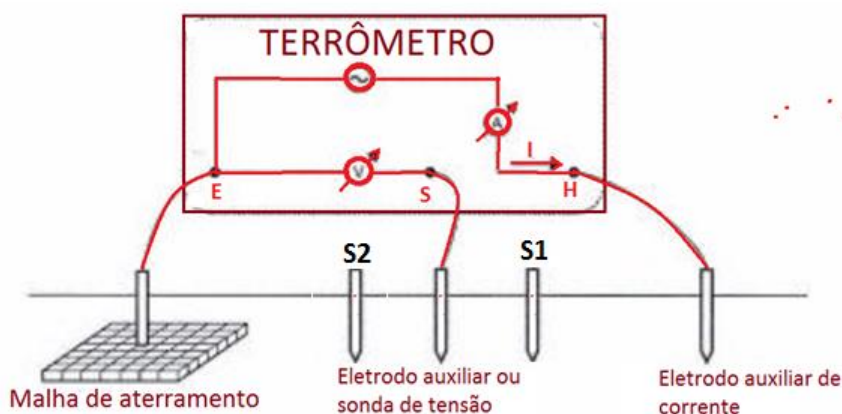


Figura 16: Medições de aterramento

Deve ser traçada a curva da resistência de aterramento conforme o gráfico 2.

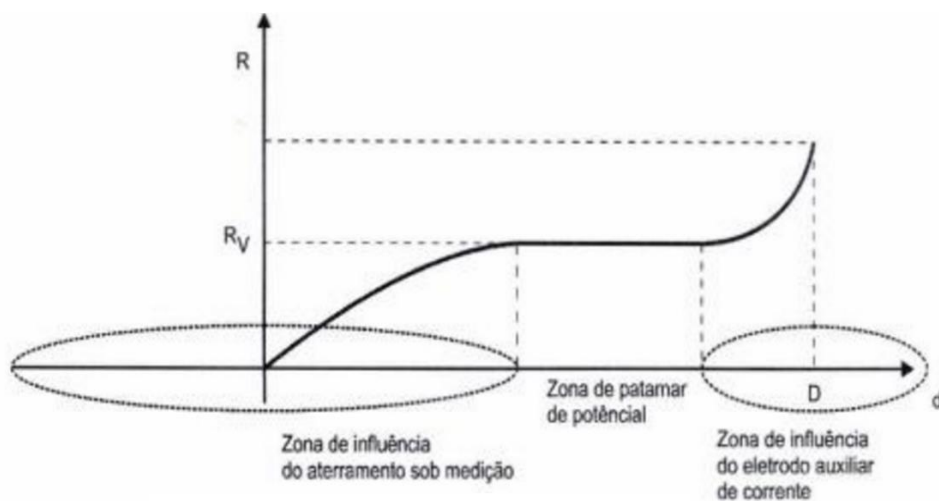


Gráfico 2: Levantamento da curva de resistência

R: resistência obtida variando a distância da sonda desde $d=D$.

R_v: valor verdadeiro do aterramento.

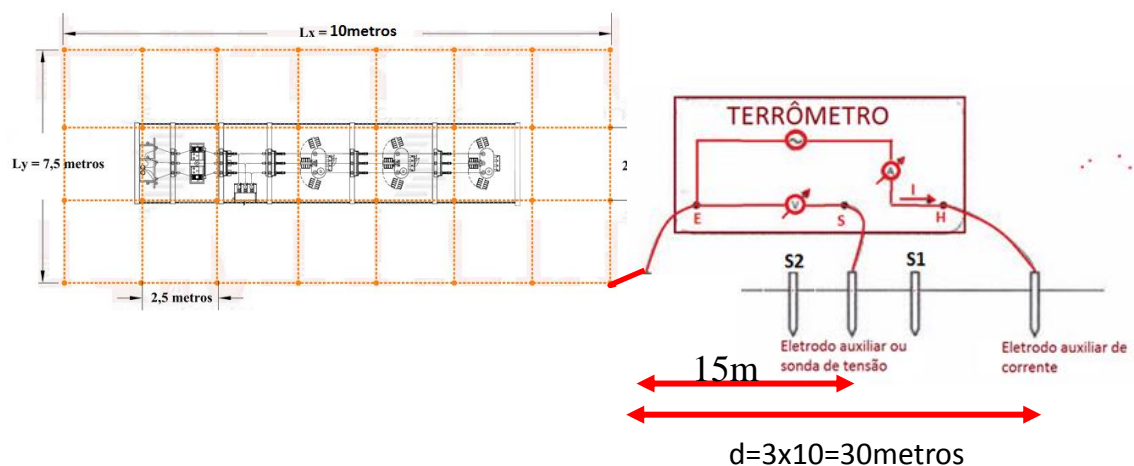
Resultado da medição

Se os três resultados forem substancialmente semelhantes, a média das três leituras é tomada como sendo a resistência de aterramento . Do contrário, o ensaio deve ser repetido com um espaçamento maior.

Limitações do método queda de potencial

- a) Instalações urbanas em regiões densamente povoadas: é impossível lançar os circuitos de corrente e potencial nas distâncias necessárias para fazer uma medição confiável.
- b) sistemas de aterramento de grandes dimensões: necessidade de estender os circuitos de corrente e potencial distâncias muito grandes, as vezes vários quilômetros, o que dificulta a medição. Resistências baixas e inferiores a 1ohm (aterramento de SPDA estrutural).

Exemplo de medição por queda de potencial.



Alicate Terrômetro

Esse medidor consiste em um gerador C.A , que aplica uma tensão numa bobina com N espiras, cujo núcleo ferromagnético envolve um circuito fechado, conforme figura 17 ilustra :

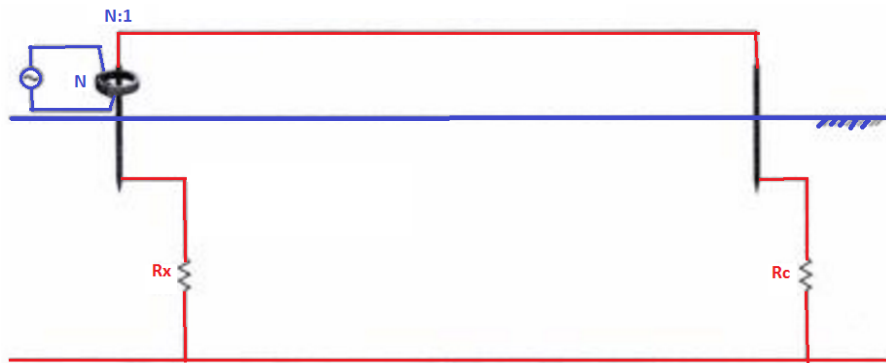
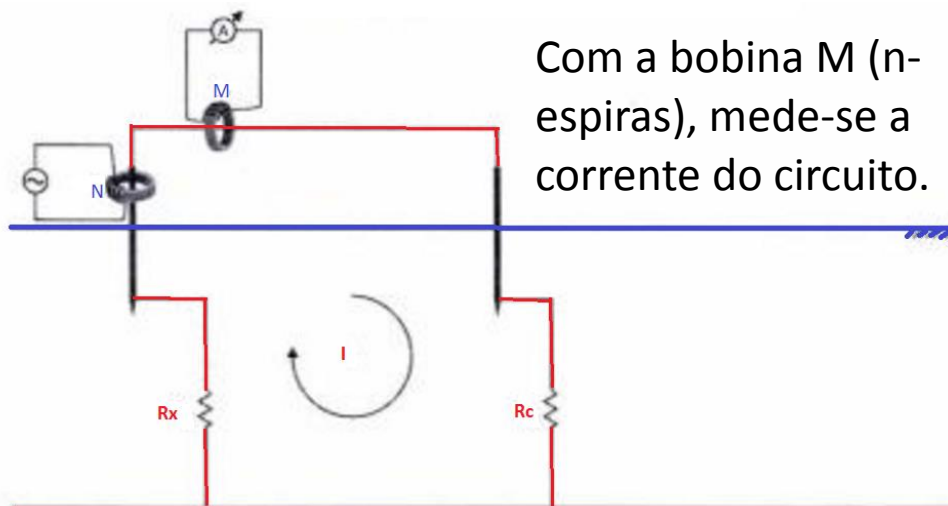


Figura 17: Medição alicate terraômetro

O Instrumento mede a resistência do laço e nos dá uma visão de como está o aterramento a ser medido. A figura 18 ilustra a medição e como conseguir o valor.



Com a bobina M (n-espiras), mede-se a corrente do circuito.

A soma $R_x + R_c$, pode ser obtida pela relação da tensão gerada e a corrente circulante. O valor medido pelo instrumento será: $R_m = R_x + R_c + R_{Cabo}$

Figura 18: Medição por alicate terraômetro

A figura 19 ilustra um equipamento de medição de resistência por laço.



Figura 19: medição por alicate terraômetro

Restrições

- Só pode ser aplicado quando existir um circuito fechado (laço), O equipamento não pode ser aplicado na medição de eletrodo que não formam parte do laço.
- A resistência de aterramento que fecha o laço deve ser muito menor que a resistência do aterramento sob medição.
- A distância entre o aterramento sob medição e o mais próximo dos aterramentos que fecham o laço deve ser suficientemente grande para que as zonas de influências não apresentem superposição.
- No caso de um edifício com múltiplas descidas do SPDA, não se pode aplicar o método para determinar a resistência de aterramento do conjunto. Se o conjunto estiver interconectado em anel, pode ser incorrer no erro de se estar medindo a resistência do laço fechado quando se envolve a descida do SPDA.

Bibliografia

ABNT NBR 15749, Medição de Resistência de Aterramento e de Potenciais na Superfície do Solo em Sistemas de Aterramento, 2009.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR5410 – Instalações Elétricas de Baixa, 2004 Versão Corrigida 17.03.2008 .

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR5419 – SPDA , 2015 Parte 3.

FILHO, S. V. Aterramento Elétrico, 1ª Edição, Belo Horizonte, Editora Art Liber, 2002.

Júlio Niskier, Instalações Elétricas, Editora LTC 5ª edição 2010.

KINDERMANN, G.; CAMPAGNOLO, J. M. Aterramento Elétrico, 2 edição, Porto Alegre, Editora SAGRA-DC