



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS CARAÚBAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

JOSÉ ELISEU DOS SANTOS FILHO

MEDIÇÃO DE SISTEMAS DE ATERRAMENTO ELÉTRICO

CARAÚBAS/RN

2022

JOSÉ ELISEU DOS SANTOS FILHO

MEDIÇÃO DE SISTEMAS DE ATERRAMENTO ELÉTRICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus Caraúbas, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Professor Dr. Francisco Chagas Barbosa de Sena.

CARAÚBAS – RN

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Fm Filho, José Eliseu dos Santos .
MEDIÇÃO DE SISTEMAS DE ATERRAMENTO ELÉTRICO /
José Eliseu dos Santos Filho. - 2022.
69 f. : il.

Orientador: Francisco das Chagas Barbosa de Sena.

Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Elétrica, 2022.

1. aterramento elétrico . 2. sistemas de medições . 3. sistemas de proteção . I. Sena, Francisco das Chagas Barbosa de , orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da Instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

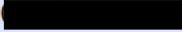
JOSÉ ELISEU DOS SANTOS FILHO

MEDIÇÃO DE SISTEMAS DE ATERRAMENTO ELÉTRICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus Caraúbas, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

APROVADO EM: 14 / 06 /22

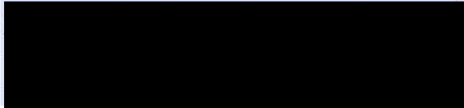
BANCA EXAMINADORA

 Assinado de forma digital por FRANCISCO DAS CHAGAS BARBOSA DE SENA: 
Dados: 2022.06.14 17:35:22 -03'00'

Prof. Dr. Francisco das Chagas Barbosa de Sena - UFERSA
Presidente

 Assinado digitalmente por LINCOLN ALEXANDRE PAZ SI
LVA: 
Data: 2022.06.14 11:01:42-03'00'

Prof. Me. Lincoln Alexandre Paz Silva - UFERSA
Membro

 Assinado de forma digital por SAMARA DE CAVALCANTE PAIVA: 
Dados: 2022.06.14 11:56:41 -03'00'

Profª. Drª. Sâmara de Cavalcante Paiva - UFERSA
Membro

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a Deus, que sempre me deu forças para não desistir dos meus sonhos, aos familiares que sempre estiveram comigo, e aos meus amigos, que são diversos e que sempre fizeram partes das minhas lutas e também das minhas vitórias.

Queria aqui agradecer em especial aos meus colegas de curso João Marcos, Rafael, Leticia Ainoan, Junior Gomes, Teresa Medeiros, Jocelia, Sebastião Augusto, entre outros, que fizeram parte dessa jornada. Queria incluir também nesta lista amigos queridos que fizeram parte dessa história como Daniel Medeiros, Heloisa, Íngrid Nobrega, Everton Lima, Gean, Isaac e minha namorada Edyane Eloyze que foi uma pessoa fundamental nesta caminhada.

Por fim, queria agradecer a todos os docentes da Ufersa pelas orientações e ensinamentos ao longo do curso, em especial ao meu orientador Prof. Dr. Francisco das Chagas Barbosa de Sena.

“Os fins não justificam os meios.” (Nicolau Maquiavel)

RESUMO

Neste trabalho foi realizado um estudo a partir da aplicação das principais normas que são utilizadas diretamente para montagem e inspeções dos sistemas de aterramento, e teve como principal objetivo realizar as medições dos sistemas de aterramento existente. Muitas vezes, o desconhecimento das técnicas para realizar uma correta inspeção em aterramentos acarreta em falta de percepção do seu mal funcionamento e, conseqüentemente, uma ineficiência no momento em que o mesmo é exigido, estando sujeito a situações rotineiras de queima de equipamentos, ou pior, o choque elétrico em seres humanos, que pode acarretar até mesmo a perda da vida. Portanto, este trabalho foi elaborado através da realização de medições feitas em campo, tendo como auxílio a utilização de equipamento técnico específico (terrômetro digital), no qual as medições foram realizadas e analisadas de acordo com as instruções técnicas normativas encontradas na NBR 15749. Por fim, após obtidos os resultados das medições, foram realizadas as análises tanto através de Tabelas quanto por forma de gráfico construído através dos valores medidos. Por fim, notou-se que foram obtidos excelentes resultados, tendo em vista que foi possível encontrar os valores procurados das resistências dos aterramentos, aplicando de forma correta as instruções normativas citadas.

Palavras-chave: aterramento elétrico; sistemas de medições; sistemas de proteção.

ABSTRACT

In this work, a study was carried out from the application of the main standards that are used directly for assembly and inspections of the grounding systems, and had as main objective to carry out the measurements of the existing grounding systems. sometimes, the lack of perception of its operation and the consequent lack of knowledge of the techniques to carry out a correct awareness in its execution and, consequently, the lack of knowledge in operating conditions and the same efficiency at the time when maintenance of routine situations of equipment use, or worse. , the electric shock in human beings, which can even bring about the loss of life. This work was prepared by carrying out field studies, with the aid of specific technical equipment (terrestrial through the study of digital fabrication), not which a study agreement was made and in accordance with the normative technical instructions in NBR 15749. Finally, after obtaining the measurement results, they were presented as evaluated both through graphics and through average values. Finally, it was not possible to obtain excellent results, considering that it was possible to find the values of the grounding resistances, applying the correct form according to the aforementioned normative instructions.

Keywords: electrical grounding; measuring systems; protection systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Símbolos utilizados nos esquemas de aterramento	17
Figura 2: Esquema TN-S	18
Figura 3: Esquema TN-C-S	18
Figura 4: Esquema TN-C	19
Figura 5: Esquema TT	19
Figura 6: Esquema IT (I)	20
Figura 7: Esquema IT (II)	20
Figura 8: Método de Wenner para a resistividade do solo	22
Figura 9: Indivíduo submetido a uma tensão de toque	24
Figura 10: Esquema elétrico correspondente a tensão de toque sofrida por um individuo	25
Figura 11: Indivíduo submetido a tensão de passo	25
Figura 12: Circuito Elétrico correspondente a tensão de passo sofrida por um individuo	26
Figura 13: Sistema de aterramento composto por haste simples de cobre	27
Figura 14: Sistema de aterramento composto por hastes interligadas em paralelo	28
Figura 15: Medição da resistência por meio de um termômetro convencional	30
Figura 16: Leitura gráfica da medição do valor da resistência em cada posição	31
Figura 17: Curvas típicas de resistência de aterramento em função das posições relativas dos eletrodos auxiliares de potencial e de corrente	32
Figura 18: Método de injeção de grandes correntes	34
Figura 19: Monitoração de corrente de malha	35
Figura 20: Medição de potencial de toque	36
Figura 21: Medição de potencial de passo	37
Figura 22: Medição das tensões de toque e de passo	38
Figura 23: Alicate terrômetro ET-4310	40
Figura 24: Injeção de uma FEM num circuito fechado	40
Figura 25: Princípio de funcionamento de um terrômetro alicate	41
Figura 26: Sistema multiterrado	41
Figura 27: Circuito Elétrico	42
Figura 28: Terrômetro Digital	43
Figura 29: Hastes auxiliares utilizadas no processo de medição	44
Figura 30: Procedimento de medição	45
Figura 31: Visualização da cidade de Caicó no mapa do RN	46

Figura 32: Visualização da cidade de Caraúbas no mapa do RN	47
Figura 33: Caixas de passagem contendo as hastes de aterramento do local	48
Figura 34: Medição para obtenção do valor de R1	49
Figura 35: Medição para obtenção do valor de R2	50
Figura 36: Medição para obtenção do valor de R3	50
Figura 37: Sistema de aterramento da subestação aérea	52
Figura 38: Gráfico dos valores medidos da Resistência (Ω) versus a Distância (m)	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resistividade de diferentes naturezas de solo.....	21
Tabela 2: Resultados da aplicação do método aproximado.....	51
Tabela 3: Resultados da variação da Resistência em função do aterramento que menos variaram durante a realização da medição	53
Tabela 4: Resultados da variação da Resistência em função do aterramento variaram durante a realização da medição	53
Tabela 5: Resultados da variação da Resistência em função do aterramento que menos variaram durante a realização da medição	54

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Motivação	13
1.2 Objetivos	13
2 ASPECTOS GERAIS SOBRE ATERRAMENTO ELÉTRICO	14
2.1 Efeitos da corrente elétrica no corpo humano	15
2.2 Esquemas de aterramentos utilizados em baixa tensão	16
2.2.1 Esquema TN	18
2.2.2 Esquema TT	19
2.2.3 Esquema IT	19
2.3 Resistividade	20
2.3.1 Medição da resistividade	21
2.4 Conceitos básicos de segurança em aterramento	23
2.4.1 Tensão de toque	23
2.4.2 Tensão de passo	25
2.4.3 Tensão Transferida	26
2.5 Principais Sistemas de Aterramento	27
2.5.1 Haste Simples	27
2.5.2 Hastes interligadas em paralelo	28
2.6 Medição de sistemas de aterramento elétrico	29
2.6.1 Método da queda de potencial	30
2.6.2 Método da queda de potencial com injeção de alta corrente	33
2.6.3 Medição tensão de toque	35
2.6.4 Medição tensão de passo	36
2.7 Equipamentos utilizados para medição de sistemas de aterramento existentes	39
2.7.1 Alicates terrômetro	39
2.7.2 Terrômetro	43
3 METODOLOGIA.....	46
3.1 Locais onde foram realizados os estudos de caso	46
3.1.1 Caicó - Rio Grande do Norte	46
3.1.2 Caraúbas – Rio Grande do Norte.....	46
3.2 Procedimento experimental.....	47

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	48
4.1 Medições das resistências de aterramento encontrados na residência.....	48
4.2 Medição no sistema de aterramento encontrado na subestação aérea.....	52
5 CONCLUSÃO.....	57
REFERÊNCIAS.....	58
APÊNDICE A – Terrômetro digital utilizado para medição em uma residência no município de Caicó-RN	60
APÊNDICE B – Registro fotográfico das medições realizadas em uma residência no município de Caicó-RN	61
APÊNDICE C – Registro fotográfico das medições realizadas em uma residência no município de Caicó-RN	62
APÊNDICE D – Registro fotográfico das medições realizadas em uma residência no município de Caicó-RN	63
APÊNDICE E – Registro fotográfico das medições realizadas em uma residência no município de Caicó-RN	64
APÊNDICE F – Registro fotográfico das medições realizadas em uma residência no município de Caicó-RN	65
APÊNDICE G – Registro fotográfico das medições realizadas em uma subestação aérea localizada no município de Caraúbas-RN	66
APÊNDICE H – Registro fotográfico das medições realizadas em uma subestação aérea localizada no município de Caraúbas-RN	67
APÊNDICE I – Registro fotográfico das medições realizadas em uma subestação aérea localizada no município de Caraúbas-RN	68

1 INTRODUÇÃO

Os componentes elétricos de um sistema de potência devem ser protegidos contra curtos-circuitos e outras condições anormais de operação. Na ocorrência desses eventos, é necessário que a parte atingida seja rapidamente isolada das restantes do sistema elétrico, de forma a minimizar e restringir a extensão dos danos materiais no sistema. Esta função de isolamento é desempenhada pelo sistema de proteção que deve ser bem projetado e bem executado a fim de quando for utilizado o mesmo esteja em perfeitas condições de acionamento.

Com isso, vale ressaltar que este sistema além de proteger os materiais e componentes elétricos, serve também para proteger os seres humanos de algum acidente no caso de vir a ter contato com o sistema de aterramento e o mesmo não venha a estar em condições adequadas de instalação e funcionamento.

Para funcionar adequadamente, o sistema de proteção deve ter aterramento especificamente dimensionado de acordo com as condições de operação da instalação ou sistema a ser protegido. O aterramento elétrico, quando bem projetado e instalado, permitirá maior sensibilização da proteção e dispersão de corrente de falta pelo solo, minimizando, assim, o estabelecimento de potenciais perigosos.

As malhas de aterramento são partes fundamentais nas instalações elétricas, estejam elas presentes nos circuitos de potência, no controle de telecomunicações ou transmissão de dados. Desta forma, a elaboração de um projeto elétrico, fundamentado no dimensionamento adequado dos aterramentos é de extrema importância para a qualidade de funcionamento e segurança de uma instalação e de seus usuários (BELTANI, 2007).

Observa-se na prática que, após a implantação e comissionamento, os sistemas de aterramento, normalmente, não passam por inspeções periódicas a fim de atestar se o continuam em boas condições técnicas de funcionamento. Isso porque as condições climáticas e do solo podem prejudicar o seu valor de resistência, o que pode resultar em níveis perigosos de tensão de passo e toque, e redução de sensibilidade de dispositivos de proteção para as correntes de falta envolvendo a terra.

Neste contexto, o presente trabalho objetiva realizar o estudo bibliográfico acerca das normativas e metodologias aplicáveis a medição de resistência elétrica de sistemas de aterramento elétrico. Ao final, será realizada a medição de um sistema de aterramento existente para exemplificar como tal conhecimento pode ser aplicado na prática.

1.1 Motivação

Diante do exposto, o desenvolvimento do presente trabalho constitui uma excelente oportunidade para elaborar material didático capaz de fornecer conhecimento técnico aplicável em atividades de manutenção e inspeção de sistemas de aterramento elétrico. Tal material poderá ser utilizado por engenheiros eletricitas e outros profissionais que desejarem adquirir conhecimento nessa temática, ampliando, assim, a sua atuação para além do projeto elétrico, isto é, para o setor de manutenção, inspeção e emissão de laudos técnicos.

1.2 Objetivos

O presente trabalho tem como principal objetivo realizar a medição de sistemas de aterramento elétrico.

Para atingir o objetivo geral deste trabalho, propõe-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Reunir os principais conceitos relacionados aos sistemas de aterramento;
- b) Resumir as principais especificações das normas ABNT aplicáveis;
- c) Demonstrar como é possível verificar a resistência de aterramento de sistemas existentes;
- d) Apresentar conceitos, critérios e metodologias que podem ser utilizados no processo de medição.
- e) Descrever as características dos equipamentos utilizados para medição de sistemas de aterramento existentes, bem como suas características;
- f) Realizar a medição de um sistema de aterramento existente.

2 ASPECTOS GERAIS SOBRE ATERRAMENTO ELÉTRICO

Neste capítulo serão apresentados os conceitos e peculiaridades relacionados ao estudo do aterramento elétrico, abordando suas principais definições e especificações de normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) relacionadas a este tema.

Toda instalação elétrica de alta e baixa tensão, para funcionar com desempenho satisfatório e ser suficientemente segura contra risco de acidentes fatais, deve possuir um sistema de aterramento dimensionado adequadamente para as condições específicas de cada projeto (MAMEDE FILHO, 2017).

De acordo com Visacro Filho (2005), o aterramento elétrico consiste em uma ligação elétrica proposital de um sistema físico (elétrico, eletrônico ou corpos metálicos) ao solo. Tal sistema é constituído por três partes básicas:

- a) as conexões elétricas que ligam um ponto do sistema aos eletrodos;
- b) eletrodos de aterramento (qualquer corpo metálico colocado no solo);
- c) terra que envolve eletrodos.

O eletrodo de aterramento, definição dada pela ABNT é, em geral, formado por hastes cobreadas cravadas verticalmente no solo, devendo ser projetado e instalado de modo a se ter bom contato elétrico com a terra (mais conhecidos como hastes de aterramento elétrico) (BEZERRA, 2010).

O tipo de objeto ou sistema a ser conectado ao aterramento pode ser de natureza diversa, dependendo da aplicação. Podendo ser, por exemplo: um sistema eletrônico, carcaça de motor, condutores de proteção de uma instalação elétrica, neutro de transformadores, terminais de equipamentos de subestações, captosres de um SPDA, etc. (VISACRO FILHO, 2005).

Em resumo, os sistemas de aterramento apresentam as seguintes funções:

- a) estabelecimento de uma tensão de referência para o sistema de energia;
- b) melhorar a sensibilidade de dispositivos de proteção contra falta envolvendo a terra (choques elétricos e curto-circuito);
- c) escoar para a terra cargas estáticas armazenadas em partes metálicas de equipamentos;
- d) dissipar de forma segura as correntes provenientes de descargas atmosféricas no solo;
- e) manter os potenciais elétricos produzidos pelas correntes de falta dentro de limites de segurança para não causar fibrilação ao coração dos seres vivos;
- f) fornece um caminho seguro para a corrente de retorno de sistemas monofilar com retorno por terra (KINDERMANN, 1998; VISACRO FILHO, 2002; TELLÓ, 2007).

Do ponto de vista da proteção contra as descargas atmosféricas, o aterramento elétrico também desempenha papel relevante. Nesse contexto, ele é definido como subsistema de aterramento e, de acordo com a NBR 5419, o eletrodo de aterramento único integrado à estrutura é preferível e adequado para todas as finalidades (NBR 5419, 2019).

Ainda segundo a NBR 5419, para assegurar a dispersão da corrente de descarga atmosférica na terra sem causar sobretensões perigosas, o arranjo e as dimensões do subsistema de aterramento são mais importantes que o próprio valor da resistência de aterramento, o que pode ser facilmente compreendido em virtude dos níveis elevados de corrente que os elementos contribuintes desse tipo de sistema serão submetidos. Entretanto, é recomendado pela NBR 5419 que para o caso de eletrodos não naturais, uma resistência de aproximadamente 10 ohms (Ω), como forma de reduzir os gradientes de potencial no solo e a probabilidade de centelhamento perigoso caso de solo rochoso ou de alta resistividade, poderá não ser possível atingir valores próximos dos sugeridos. Nestes casos, a solução adotada deverá ser tecnicamente justificada no projeto (NBR 5419, 2019).

No tocante a residências e comércios, por exemplo, o sistema de aterramento é imprescindível para realizar a proteção de pessoas, animais e equipamentos que possam ser submetidos a correntes de choque elétrico, no caso de falha de isolamento, ou ainda contra surtos.

A seguir, serão abordados os efeitos resultantes da passagem de corrente de elétrica através do corpo humano, de modo a evidenciar a importância do correto dimensionamento do sistema de aterramento para proteger pessoas e animais contra esse tipo de ocorrência.

2.1 Efeitos da corrente elétrica no corpo humano

O choque elétrico é o efeito patofisiológico que resulta da passagem de uma corrente elétrica, chamada de corrente de choque, através do organismo humano, podendo provocar efeitos de gravidades variáveis, bem como fatais. Nessa situação, como a corrente circula pelo organismo, é possível afirmar que o corpo humano se comporta como um condutor elétrico, possuindo uma resistência elétrica e, conseqüentemente, sobreaquecendo por efeito Joule (RANGEL FILHO, 2001).

Ao passar pelo corpo humano, a corrente elétrica causa uma série de perturbações, que vão desde a ligeira contração superficial até a violenta contração muscular, podendo ocasionar a morte do indivíduo. Pode provocar perturbações como inibição do sistema nervoso central, com parada respiratória, alteração do ritmo cardíaco, podendo produzir fibrilação ventricular e

até parada cardíaca, queimaduras profundas, inclusive com a necrose dos tecidos, ou alterações do sangue produzidas por efeitos térmicos eletrolíticos da corrente elétrica (BORTOLUZZI, 2009).

As partes do corpo mais afetadas pela passagem de corrente de choque são as mãos, pés e pernas, tronco e tórax. Quando a corrente perfaz o caminho entre braços, existe um risco maior, pois nesse percurso ela poderá afetar diretamente o coração. Ressalta-se que a resistência oferecida pelo corpo humano à passagem de corrente de choque é determinada pelas condições em que a pessoa se encontra no momento da ocorrência, ou seja, o tipo de ambiente, as vestimentas, uso de EPI'S, intensidade da corrente, tempo de duração, condições biológicas, etc. (VIANA, 2018).

Ao ocorrer a passagem de corrente pelo corpo, as contrações musculares podem exercer diferentes forças, com a soma de contrações individuais que, juntas, aumentam a intensidade da contração total, e podem ocorrer de duas formas. A primeira é o aumento das unidades motoras que se contraem ao mesmo tempo, permitindo a distribuição ou a requisição de músculos a partir de sua necessidade. A segunda é o aumento da frequência de contração, que ocorre individualmente e com baixa frequência. Na prática, pode levar a períodos de repetição estreitos, provocando a tetanização, definida como o resultado da contração muscular na sua capacidade máxima, de modo que qualquer aumento adicional na frequência de estimulação não exerça novos efeitos (GUYTON; HALL, 2002).

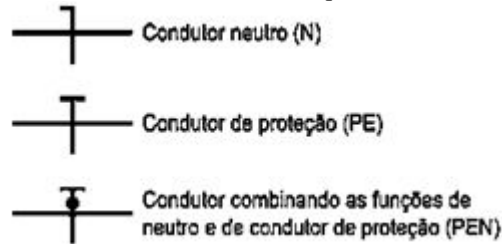
Durante o choque elétrico, a corrente fisiológica interna do corpo humano soma-se à corrente externa desconhecida (corrente elétrica) e de intensidade comparativamente muito maior, levando à hipocalcemia (condição em que o sangue apresenta quantidade insuficiente de cálcio) com concentrações plasmáticas de íons de cálcio cerca de 50% abaixo do normal, que tem como consequências comuns tremores, tontura, sudorese, sensação de fome, enjoos, irritabilidade ou mau humor, ansiedade e dor de cabeça. (GUYTON; HALL, 2002).

2.2 Esquemas de aterramentos utilizados em baixa tensão

A norma técnica ABNT NBR 5410:2008 fornece alguns esquemas de aterramento que podem ser utilizados em instalações elétricas de Baixa Tensão (BT). Tais esquemas tomam como referência uma instalação trifásica, devendo ser interpretados de forma genérica. Vale destacar que as massas elétricas ilustradas não simbolizam um único, mas sim qualquer número de equipamentos elétricos. Além disso, as Figuras não devem ser vistas com conotação espacial restrita (NBR 5410, 2008).

A Figura 1 apresenta a simbologia utilizada nos esquemas de aterramento de BT.

Figura 1: Símbolos utilizados nos esquemas de aterramento



Fonte: NBR 5410:2008.

É importante informar que, como uma mesma instalação pode eventualmente abranger mais de uma edificação, as massas metálicas devem necessariamente compartilhar o mesmo eletrodo de aterramento, se pertencentes a uma mesma edificação, mas podem, em princípio, estar ligadas a eletrodos de aterramento distintos, se situadas em diferentes edificações, com cada grupo de massas associado ao eletrodo de aterramento da edificação respectiva (NBR 5410, 2008).

A classificação dos esquemas de aterramento se dá através do uso de simbologia alfabética composta por, no máximo cinco letras, de modo que (NBR 5410, 2008):

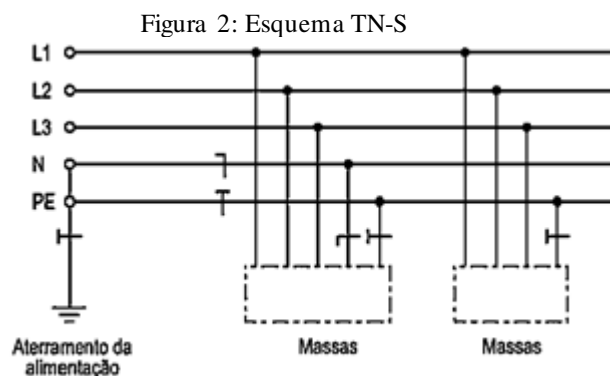
- a) primeira letra: especifica a situação da alimentação em relação a terra, de modo que:
 - T = um ponto diretamente aterrado;
 - I = isolamento de todas as partes vivas em relação à terra ou aterramento de um ponto através de impedância;
- b) segunda letra: especifica a situação das massas da instalação elétrica em relação à terra, de modo que:
 - T = massas diretamente aterradas, independentemente do aterramento eventual de um ponto da alimentação;
 - N = massas ligadas ao ponto da alimentação aterrado (em correntes alternadas, o ponto aterrado é normalmente o ponto neutro);
- c) outras letras (eventuais): as situações dos condutores neutro (N) e Proteção Elétrica (PE) podem ser apresentadas através do uso de mais duas letras, de modo que:
 - S = funções de neutro e de proteção asseguradas por condutores distintos;
 - C = funções de neutro e de proteção combinadas em um único condutor (condutor PEN).

2.2.1 Esquema TN

O esquema TN possui um ponto da alimentação diretamente aterrado, sendo as massas ligadas a esse ponto através de condutores de proteção. São consideradas três variantes de esquema TN, de acordo com a disposição do condutor neutro e do condutor de proteção, a saber (NBR 5410, 2008).

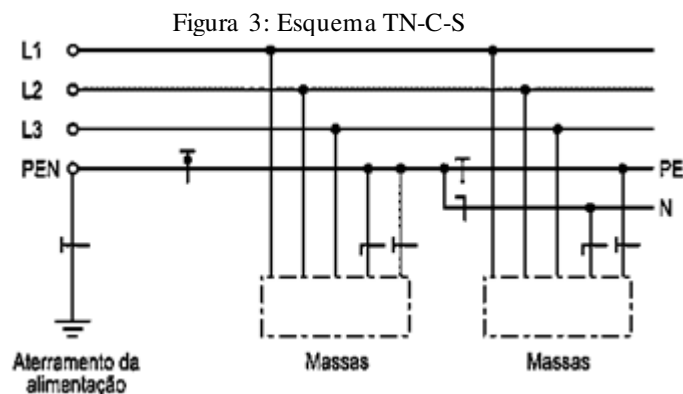
- a) esquema TN-S, no qual o condutor neutro e o condutor de proteção são distintos (Figura 2);
- b) esquema TN-C-S, em parte do qual as funções neutro e proteção são combinadas em um único condutor (Figura 3);
- c) esquema TN-C, no qual as funções de neutro e de proteção são combinadas em um único condutor, na totalidade do esquema (Figura 4).

A seguir, pode-se observar o esquema TN-S:



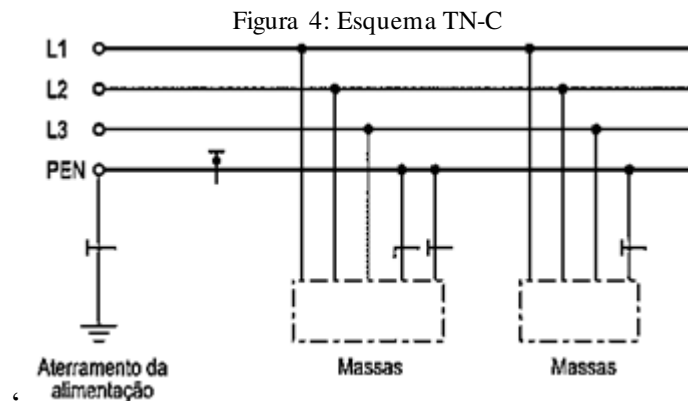
Fonte: NBR 5410:2008.

Na Figura 3, pode-se observar o esquema TN-C-S:



Fonte: NBR 5410:2008.

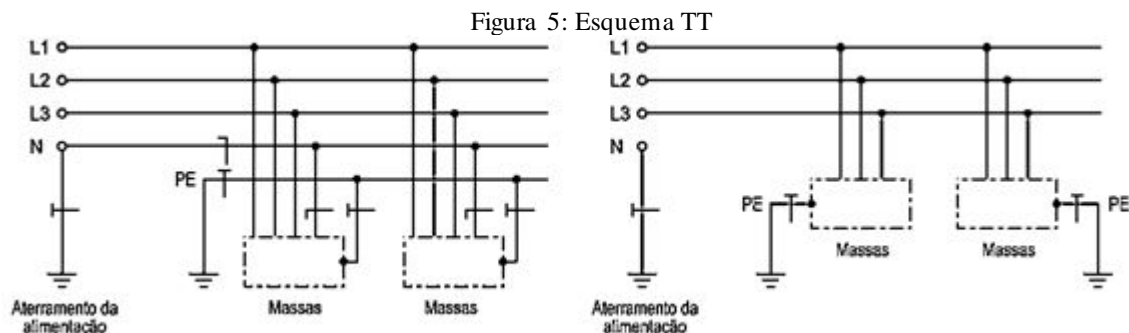
Na Figura 4, pode-se observar o esquema TN-C:



Fonte: NBR 5410:2008.

2.2.2 Esquema TT

A Figura 5 ilustra o esquema de aterramento TT. Essa configuração 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 (NBR 5410, 2008).

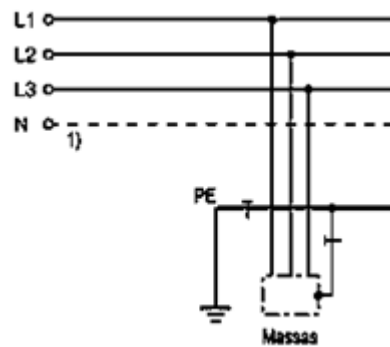


Fonte: NBR 5410:2008.

2.2.3 Esquema IT

A Figura 6 ilustra o esquema de aterramento IT. Nesse esquema, todas as partes vivas são isoladas da terra ou um ponto da alimentação é aterrado através de impedância. As massas da instalação são aterradas. A Figura 6 representa a primeira possibilidade para o esquema IT, em que as massas são aterradas no mesmo eletrodo de aterramento da alimentação, se existente. (NBR 5410, 2008)

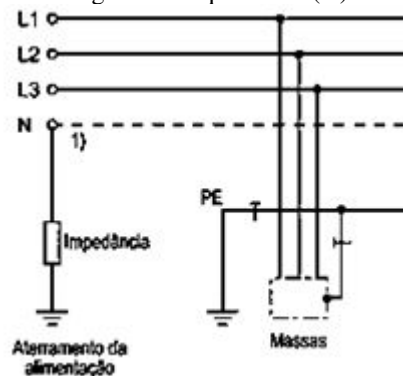
Figura 6: Esquema IT (I)



Fonte: NBR 5410:2008.

O esquema IT possui ainda uma segunda configuração, ilustrada na Figura 7. Nessa topologia, as massas elétricas são aterradas em eletrodo(s) de aterramento próprio(s), seja porque não há eletrodo de aterramento da alimentação, seja porque o eletrodo de aterramento das massas é independente do eletrodo de aterramento de alimentação (NBR 5410, 2008).

Figura 7: Esquema IT (II)



Fonte: NBR 5410:2008.

2.3 Resistividade

O solo é um elemento totalmente heterogêneo, de modo que seu valor de resistividade varia de uma direção a outra, conforme o material de que é composto, segundo a profundidade de suas camadas e idade de sua formação geológica.

A resistividade elétrica do solo, resistência específica do solo ou, simplesmente, resistividade do solo representa a resistência elétrica existente entre faces opostas de dado volume do solo, consistindo em um cubo homogêneo e isotrópico cuja aresta mede uma unidade de comprimento (MODENA; SUETA, 2011).

O solo possui características que devem ser levadas em consideração para o projeto de um sistema de aterramento elétrico. A Tabela 1 fornece a resistividade de diferentes naturezas de solo compreendidas entre valores inferior e superior, que podem ser usados na elaboração de projeto de malha de terra, desde que não se disponha de medições adequadas (MAMEDE FILHO, 2017).

Tabela 1: Resistividade de diferentes naturezas de solo

Tipos de solo	Faixa de resistividades Ωm
Água do mar	Menor que 10
Alagadiço, limo, húmos, lama	Até 150
Água Destilada	300
Argila	300 - 5 000
Calcário	500 - 5 000
Areia	1 000 - 8000
Granito	1 500 - 10 000
Basalto	A partir de 10 000
Concreto	Molhado: 20 – 100; Úmido: 300 – 1.000; Seco: 3.000 – 2.000.000
A categoria “molhado” é típica de aplicação em ambientes externos. Valores inferiores a 50 Ωm são considerados altamente corrosivos	

Fonte: Adaptada da NBR 7117.

Um dos parâmetros de grande relevância para o projeto de um dado sistema de aterramento diz respeito a capacidade do solo de reter umidade, o que é potencializado pela porosidade do terreno. Tal capacidade favorece a manutenção de baixa resistividade do solo, algo importante para garantir a dispersão segura e eficiente de corrente de falta envolvendo da terra, sem elevar os potenciais além dos permissíveis (DOMINGUES, 2011).

2.3.1 Medição da resistividade

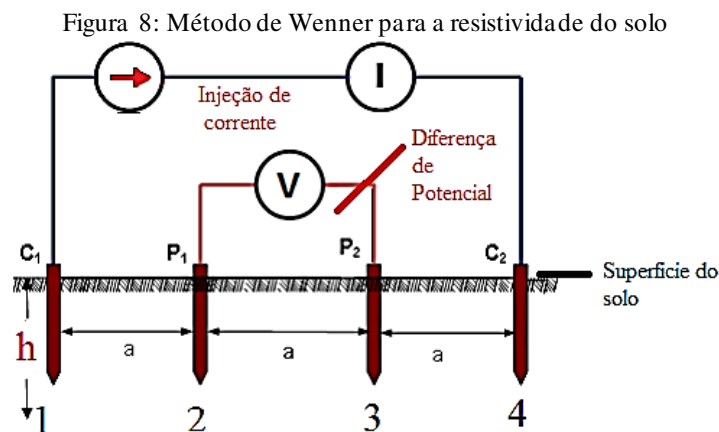
Considerando-se, portanto, a heterogeneidade do solo, verificada pela variação de sua resistividade à medida em que suas camadas são pesquisadas, há necessidade de procurar meios e métodos que determinem essas variações, sem que seja necessário lançar mão de prospecções geológicas, o que pode inviabilizar os estudos para implantação de sistemas de aterramento. Assim sendo, foram desenvolvidos métodos de prospecção geoeletricos que se caracterizam pela facilidade operacional e precisão dos resultados obtidos. A complexidade adicional

causada pelos solos não uniformes é comum, apenas em poucos casos a resistividade é constante com o aumento da profundidade, ou seja, homogênea (NBR 7117, 2012).

A determinação dos valores de resistividade do solo é de fundamental importância para um projeto de aterramento. Esses valores são determinados através de medições e, posteriormente, utilizados para estratificação do solo. Segundo Bezerra (2010), para obter o valor de resistividade do solo pode-se empregar diversos métodos, tais como:

- a) método de Wenner;
- b) método de Lee;
- c) método de Schulumbeger.

Dentre os citados, o método de Wenner é o mais utilizado por ser um dos mais simples e precisos dentre os métodos existentes. Este método consiste em cravar quatro hastes condutoras cilíndricas no solo, com aproximadamente 50cm de comprimento e diâmetro de 10 a 15 mm, igualmente espaçadas por uma distância a e dispostas alinhadas umas com as outras, conforme mostra a Figura 8 (TELLÓ, 2007).



Fonte: Adaptado de Queiroz, 2022.

O diâmetro das hastes não deve exceder um décimo da distância de separação, e “ a ” e a profundidade de cravamento h devem ser iguais. Injeta-se no terminal 4 uma corrente no solo, a qual retorna à fonte pelo terminal 1. Com isso, a diferença de potencial entre as hastes 2 e 3 podem então ser determinadas.

O método considera que aproximadamente 58% da distribuição de corrente que passa entre as hastes externas ocorre a uma profundidade igual ao espaçamento entre hastes. A corrente atinge uma profundidade maior e, conseqüentemente, uma área de dispersão maior. Logo, o valor da resistividade elétrica obtida através desse método é relativo a uma resistência

elétrica e a uma profundidade “a”. A resistividade elétrica também é conhecida como resistividade aparente do solo. (BEZERRA, 2010).

Assim, conhecidos o valor de corrente injetada no solo e a queda de tensão causada entre as hastes 2 e 3, determina-se a resistência R (em Ω) do solo. Aplicando o valor de R na equação 1, pode-se então calcular o valor da resistividade do solo ρ (IEEE-80, 2000).

$$\rho = 2\pi aR \text{ (}\Omega\text{m)} \quad (1)$$

Vale destacar que o valor de resistividade do solo pode ser obtido diretamente através de equipamento específico, conhecido como terrômetro, abordado em seções posteriores.

2.4 Conceitos básicos de segurança em aterramento

As aplicações dos aterramentos elétricos estão fundamentalmente associadas a manter os valores de potencial elétrico em níveis que proporcionem segurança de pessoas e animais que, porventura, venham a tocar ou a pisar próximo a estruturas metálicas aterradas e energizadas acidentalmente. Com isso, pode-se minimizar as chances de choques elétricos fatais (BELTANI, 2007).

O acidente mais comum a que estão submetidas as pessoas, principalmente aquelas que trabalham em processos industriais ou desempenham tarefas de manutenção e operação de sistemas elétricos industriais, o choque elétrico devido contato indireto, em que o toque acidental em partes energizadas, faz com que o corpo energizado sob tensão entre fase e terra. Entende-se por contato indireto aquele que um indivíduo mantém com determinada massa do sistema elétrico que, por falha ou perda de sua isolamento, permitiu que esse indivíduo ficasse submetido a determinado potencial elétrico (VISACRO FILHO, 2002).

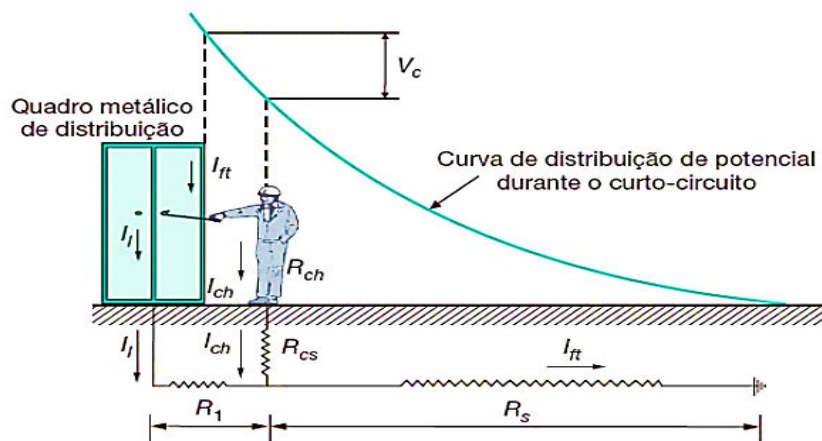
Quando o corpo humano é submetido a uma diferença de potencial, dependendo das condições de isolamento, ele pode ser percorrido por uma corrente elétrica, podendo resultar em diversos efeitos prejudiciais ao indivíduo, configurando-se, portanto, em uma condição de risco. No que se refere ao aterramento elétrico, é possível caracterizar algumas dessas situações típicas quando flui corrente pelo mesmo, sendo usual classificá-las e referenciá-las como parâmetros de restrição nos projetos elétricos. Estes parâmetros são denominados tensão de passo, tensão de toque e tensão transferida (VISACRO FILHO, 2002).

2.4.1 Tensão de toque

O fato de se aterrar as partes metálicas de uma instalação gera a preocupação de se observar os riscos associados à tensão elétrica estabelecida entre partes metálicas e a superfície do solo na vizinhança delas, quando há o escoamento de corrente elétrica do sistema de aterramento para solo. Uma situação típica para este tipo de exposição ocorre quando um indivíduo em pé sobre o solo toca em partes metálicas aterradas, a tensão aplicada sobre ele é denominada tensão de toque (NOGUEIRA, 2006).

A Figura 9 mostra as condições de um indivíduo submetido a uma tensão de toque em que V_c representa a tensão de contato ou toque.

Figura 9: Indivíduo submetido a uma tensão de toque



Fonte: Mamede Filho, 2017.

Conforme demonstrado na Figura 9, tem-se que:

- a) I_{ft} - corrente de curto-circuito fase e terra
- b) I_{ch} - corrente de choque;
- c) R_{ch} - resistência do corpo humano;
- d) R_s - resistência do solo;
- e) R_{cs} - resistencia de contato resultante de cada pé com o solo;
- f) V_s - tensão de contato.

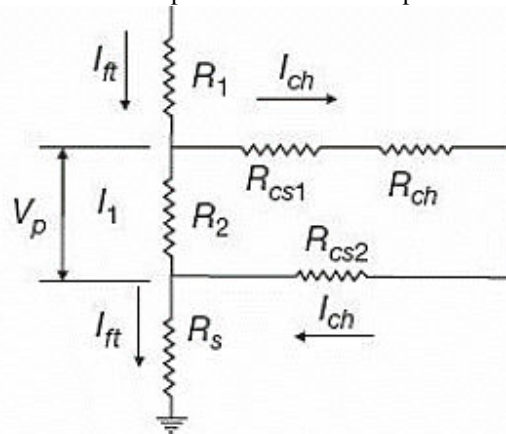
A Figura 10 mostra o esquema elétrico da circulação de choque (I_{ch}) através do corpo humano para a situação ilustrada na Figura 9 (MAMEDE FILHO, 2017).

Conforme demonstrado na Figura 11, tem-se que:

- a) R_{cs1} - resistência de contato do pé direito;
- b) R_{cs2} - resistência de contato do pé esquerdo;
- c) I_{ft} - corrente de curto-circuito fase e terra;
- d) I_{ch} - corrente de choque;
- e) R_{ch} - resistência do corpo humano;
- f) R_s - resistência do solo;
- g) V_p - tensão de passo.

A Figura 12 mostra o esquema elétrico da circulação de choque (I_{ch}) através do corpo humano para a situação ilustrada na Figura 11 (MAMEDE FILHO, 2017).

Figura 12: Circuito Elétrico correspondente a tensão de passo sofrida por um indivíduo



Fonte: Mamede Filho, 2017.

2.4.3 Tensão Transferida

O potencial transferido pode ser considerado um caso particular do potencial de toque, quando a parte metálica não tem aterramento ou tem aterramento separado. Essa é uma situação de alto risco, pois pode assumir valores comparáveis aos níveis de tensão da instalação. É o caso de cabos de comunicação, condutos metálicos, linhas de trem, etc.

Os potenciais de transferência podem ser diminuídos se a resistência (ou impedância) de terra for reduzida ao menor valor possível. A isolamento dos equipamentos de baixa tensão em locais onde há potenciais diferentes em relação à terra pode ser obtida pelo emprego de dispositivos que rejeitam tensões de modo comum, como transformadores de isolamento (MORENO; COSTA, 2018).

2.5 Principais Sistemas de Aterramento

O material utilizado nas hastes de aterramento deve possuir uma boa condutividade, boa resistência à corrosão do solo e uma boa resistência mecânica. Existem diversas maneiras de se utilizar as hastes de aterramento, sejam elas em uma haste simples, em paralelo ou a malha de aterramento. A seguir, veremos com mais detalhes cada uma delas.

2.5.1 Haste Simples

Os aterramentos compostos por hastes simples (Figura 13) geralmente são utilizados para aterrar massas que estarão em movimento, como por exemplo um caminhão de combustível que ao parar em um posto de gasolina deve ser aterrado para não correr risco de explosão. (KINDERMANN, 2002).



Fonte: Mundo da Elétrica, 2014.¹

A Figura 13 apresentada mostra detalhadamente a composição de um sistema de aterramento composto por uma haste simples. Agora, pode-se verificar, através da equação 2, como realizar o cálculo da resistência de aterramento proveniente desta haste.

$$R_{1\text{Haste}} = \frac{\rho_a}{2L} \ln \frac{4L}{d} \quad (2)$$

¹ Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/como-fazer-esquema-de-aterramento-eletrico-tn-c-s/>. Acesso em: 01 jun. 2022.

a - Resistividade da haste;

L - Comprimento da haste (m);

d - Diâmetro do círculo equivalente à área da seção transversal da haste (m);

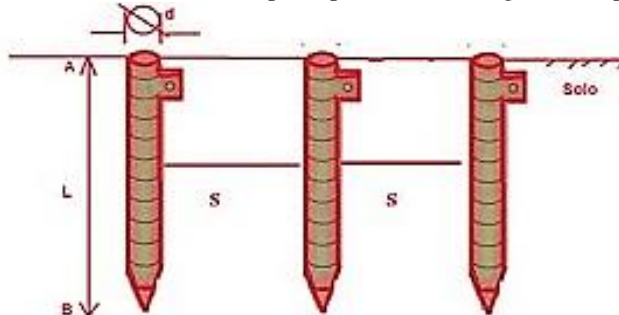
R_{1Haste} - Resistência da haste.

Nem sempre o aterramento com uma única haste irá fornecer o valor de resistência esperado. Neste caso, consegue-se observar, de acordo com a equação 2 mostrada acima, quais são os parâmetros que influenciam na redução do valor da resistência elétrica.

2.5.2 Hastes interligadas em paralelo

As hastes de aterramento, quando ligadas em paralelo (Figura 14), o efeito gerado é uma sensível diminuição no valor da resistência do sistema. O cálculo da resistência total de hastes em paralelo segue a lei simples do paralelismo de resistências elétricas. Isto é, devido às interferências nas zonas de atuação das superfícies equipotencial. Na Figura mostrada a seguir, pode-se observar um sistema de aterramento interligado de forma paralela. (KINDERMANN, 2002).

Figura 14: Sistema de aterramento composto por hastes interligadas em paralelo



Fonte: Universidade da Elétrica, 2015.

Onde:

a) L - Comprimento da haste;

b) S - Distância entre as hastes;

c) D - diâmetro das hastes.

Para o cálculo da resistência equivalente das hastes em paralelo, deve-se considerar o acréscimo de resistência ocasionado pela interferência entre as hastes. A equação 3 apresenta a resistência que cada haste tem inserida ao conjunto (KINDERMANN, 2002).

$$R_h = R_{ha} + \sum_{m=1, m \neq h}^n R_{hm} \quad (3)$$

2.6 Medição de sistemas de aterramento elétrico

O solo, normalmente, não apresenta condições ideais, como homogeneidade, umidade constante, ou seja, devido a sua não homogeneidade o solo apresenta características físicas químicas que alteram o valor da resistência elétrica. Assim, por melhor que tenha sido o projeto, convém realizar a medição periódica do sistema de aterramento a fim de atestar suas características. Apesar de não haver exigência única, a norma NBR 5419 (2019), por exemplo, especifica que o sistema de aterramento deve ser inspecionado em intervalos de pelo menos três anos no caso geral, e um ano nas instalações mais críticas (postos de gasolina, armazém de botijão de gás), entre cada medição, enquanto outras normas especificam outros períodos, o que não impede que se faça medições em períodos menores a fim de obter melhor acompanhamento da integridade do sistema de aterramento garantindo a segurança esperada. (NBR 5419, 2019).

É importante ressaltar que as medições no sistema de aterramento devem, preferencialmente, serem executadas com o solo seco, pois, dessa maneira, será medido, possivelmente, o pior valor de resistência, pois nessas condições o valor de resistência de aterramento é maior com o solo seco.

De acordo com a NBR 15749 (2009), medidas de segurança devem ser tomadas durante a medição de sistemas de aterramento de modo a diminuir o risco de acidentes relativos a potenciais perigosos que possam ocorrer em suas proximidades ou nas proximidades de estruturas condutoras aterradas. Como medidas de segurança, pode-se citar (NBR 15749, 2009):

- a) utilizar calçados e luvas com nível de isolamento compatível com os valores máximos de tensão que possam ocorrer no sistema sob medição;
- b) evitar a realização de medições sob condições atmosféricas adversas, tendo em vista a possibilidade de ocorrência de descargas atmosféricas;
- c) evitar que pessoas estranhas ao serviço e animais se aproximem dos eletrodos utilizados na medição.

Durante o procedimento de medição de resistência de aterramento, a corrente elétrica será injetada no solo através do sistema de aterramentos a ser medido e coletada através de um aterramento ou terra auxiliar que poderá ser composto por uma ou mais hastes interligadas. A

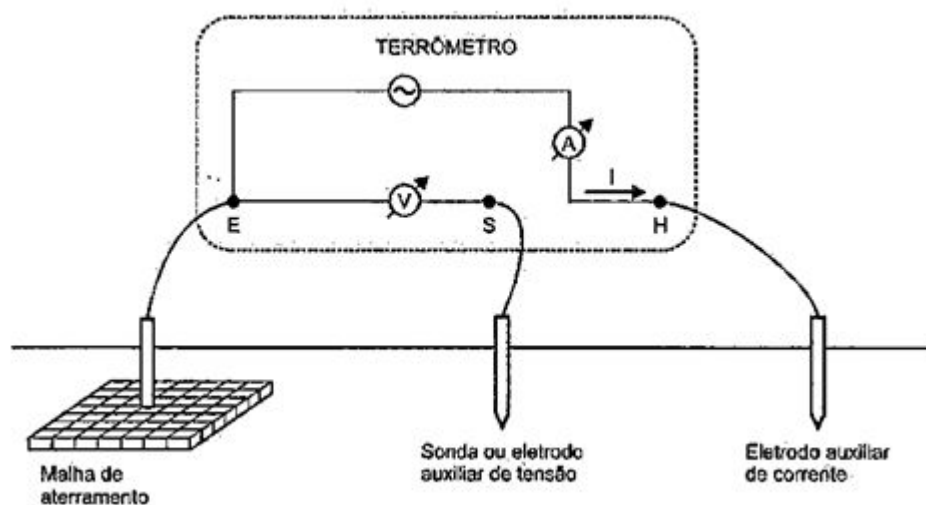
quantificação da resistência de aterramento é então realizada por meio da razão entre o potencial do sistema de aterramento em relação a um ponto infinitamente afastado e a corrente que se faz fluir entre o aterramento e tal ponto. Assim, pela Lei de Ohm, a corrente injetada circulará pela terra e provocará em sua superfície uma tensão, resultante do produto da resistência de terra até o ponto a ser medido, pela corrente injetada. (BELTANI, 2007).

Na ABNT NBR 15749 (2009), encontra-se alguns métodos de medição da resistência dos aterramentos, sendo os principais o Método da queda de potencial e o Método da queda de potencial com injeção de alta corrente. Pode-se destacar ainda que a norma citada também trata sobre a medição de tensão de toque e tensão de passo, abordado no decorrer deste capítulo.

2.6.1 Método da queda de potencial

O método da queda de potencial é recomendado para medição de resistência de aterramento através de equipamento específico, denominado de terrômetro digital. Como ilustrado na Figura 15, esse método consiste basicamente em injetar corrente ao solo através de um eletrodo de corrente (eletrodo H) e sua posterior coleta (eletrodo E do terrômetro). Com isso, a diferença de potencial entre a malha de aterramento e a terra de referência (terra remoto) pode então ser determinada por meio de uma sonda ou eletrodo auxiliar de potencial (eletrodo S do terrômetro).

Figura 15: Medição da resistência por meio de um terrômetro convencional



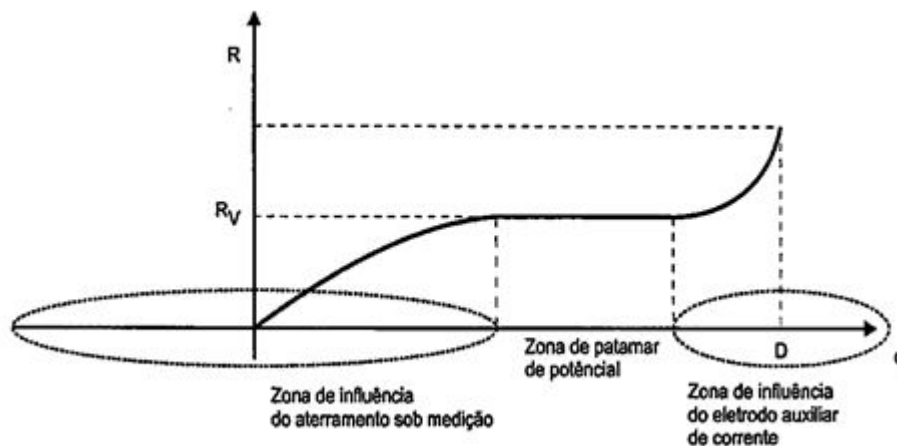
Fonte: NBR 15749:2009.

Conforme demonstrado na Figura 15, tem-se que:

- a) I - Corrente de ensaio;
- b) S - Borne para sonda ou eletrodo auxiliar de potencial;
- c) H - Borne para eletrodo auxiliar de corrente;
- d) E - Borne para a malha de aterramento sob medição.

O processo de medição se dá ao se deslocar o eletrodo de potencial ao longo da direção predefinida a partir da periferia do sistema ou malha de aterramento sob ensaio em intervalos de medição iguais a 5% da distância H onde, esta distância irá separar eletrodos S e E do terrômetro (como pode-se observar na Figura 15), realizando uma nova leitura a cada mudança de posição. Com os dados coletados e as distâncias das medições, pode-se, então, obter o comportamento gráfico da curva de resistência (Ω) do solo em relação à distância (m), como pode-se observar na Figura 16 mostrada a seguir (NBR 15749:2009).

Figura 16: Leitura gráfica da medição do valor da resistência em cada posição



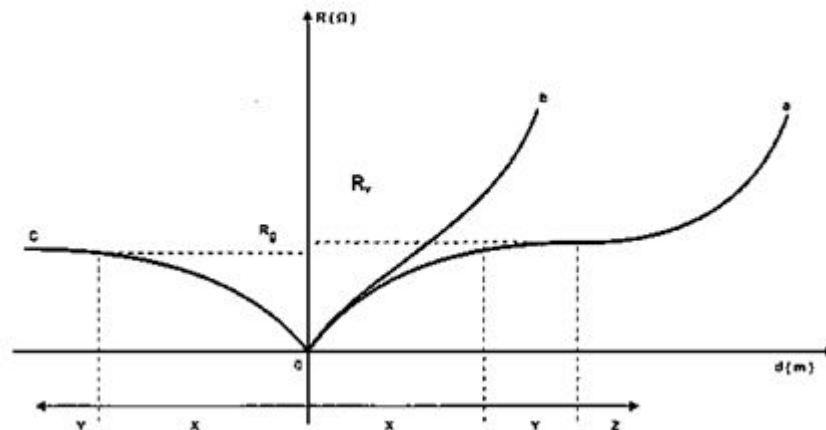
Fonte: NBR 15749:2009.

Conforme demonstrado na Figura 16, tem-se que:

- a) R - Resistência obtida variando a distância da sonda desde a distância d do eletrodo auxiliar de tensão;
- b) R_v - Valor verdadeiro da resistência de aterramento.

É importante observar que ao analisar os possíveis comportamentos da resistência, tem-se que, dependendo do sentido de deslocamento do eletrodo de potencial S (Ver Figura 15), em relação ao eletrodo E, a curva típica de resistência de aterramento pode apresentar um dos seguintes comportamentos, mostrados na Figura 17:

Figura 17: Curvas típicas de resistência de aterramento em função das posições relativas dos eletrodos auxiliares de potencial e de corrente



Fonte: NBR 15749:2009.

Segundo a NBR 15749 (2009), a curva de resistência obtida pode apresentar comportamento variados em função das posições relativas dos eletrodos auxiliares de potencial e de corrente, de modo que:

- a) se o deslocamento do eletrodo de potencial S for coincidente com a direção e o sentido do eletrodo de corrente H, e esse último estiver a uma distância satisfatória, maior que a zona de influência do sistema ensaiado E, é obtida uma curva semelhante a curva “a”;
- b) se o deslocamento do eletrodo de potencial S for coincidente com a direção e sentido do eletrodo de corrente H e este último estiver a uma distância insuficiente, menor que a zona de influência do sistema ensaiado E, é obtida uma curva semelhante a curva “b”;
- c) se o eletrodo de potencial S se deslocar na mesma direção e em sentido contrário ao eletrodo H, para o outro lado do sistema sob ensaio E, partindo do princípio que o espaçamento entre H e E seja satisfatório, é obtida uma curva semelhante à curva “c” (NBR 15749, 2009).

Para a verificação do trecho horizontal (zona de patamar) da curva quando da aplicação do método da queda de potencial, o eletrodo de corrente H (Figura 15) 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. No entanto, devem ser feitas verificações, mudando a posição do eletrodo de potencial S em 5% de S para a direita obtendo-se o valor de S_1 e para esquerda obtendo-se o valor de S_2 da posição inicial S, para garantir que as medições estão sendo

executadas sem sobreposição das áreas de influência do sistema de aterramento sob ensaio e o eletrodo de corrente. Não há sobreposição entre as áreas de influência 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 ultrapassar 10% (NBR 15749, 2009).

De acordo com a NBR 15749, no procedimento de medição o deslocamento do eletrodo potencial S no mesmo sentido do eletrodo de corrente H apresenta, em dado ponto, irá apresentar um valor real da resistência R_v do sistema de aterramento sob ensaio. Considerando um solo homogêneo, afastamento adequado “d” entre H e E, e que a maior dimensão do sistema de aterramento ensaiado é menor do que a 10 m, tem-se que a resistência verdadeira R_v pode ser encontrada medindo um ponto situado a uma distância igual a 62% da distância d.

Ressalta-se que o método da queda de potencial também pode ser aplicado em sistemas de alta tensão. Apesar do presente trabalho se dedicar a medição de sistemas de aterramento existente em instalações elétricas de BT, a seguir serão apresentadas algumas considerações com relação a aplicação do método da queda de potencial em sistemas de alta tensão afim de demonstrar as suas peculiaridades.

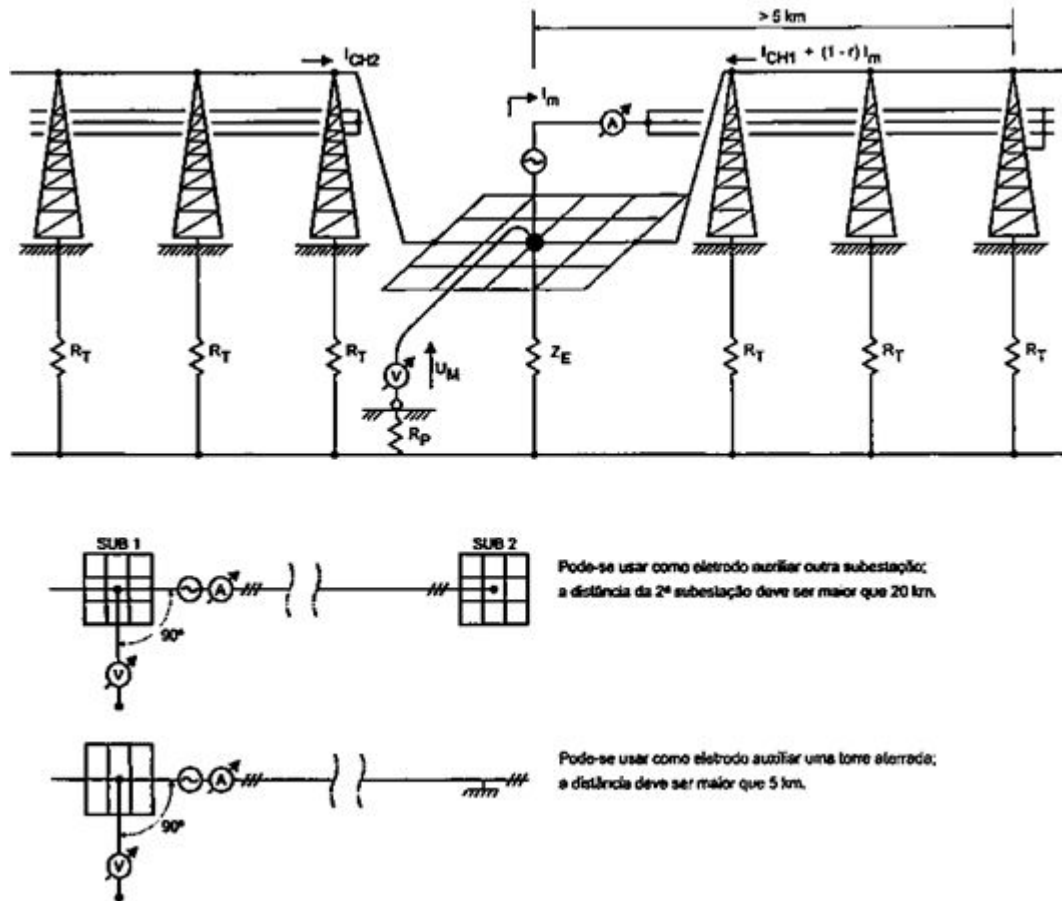
2.6.2 Método da queda de potencial com injeção de alta corrente

O método consiste em circular uma corrente de alta intensidade, entre o sistema de aterramento sob ensaio e o solo, através de um eletrodo auxiliar de corrente, medindo-se os potenciais na superfície do solo, e obtendo-se a resistência de aterramento. Esse método é recomendado para medição dos potenciais na superfície do solo bem como da resistência de um sistema de aterramento particular ou impedância de um sistema de aterramento global (envolvendo subestações com cabos para-raios das linhas de transmissão, neutro de alimentadores e outros) (NBR 15749, 2009).

Conforme já mencionado anteriormente, os ensaios de injeção de corrente se aplicam especialmente às malhas de aterramento de subestações, usinas e outros. Nestes casos, por razões práticas, de modo geral, a corrente é injetada exclusivamente entre a malha de terra e o eletrodo de corrente auxiliar, desconectando-se daquela todos os caminhos alternativos de retorno. Entretanto, muitas vezes há interesse em se verificar o comportamento do sistema de aterramento como um todo, envolvendo não só a malha, mas também os cabos para-raios de linha de transmissão, neutros de alimentadores, blindagem de cabos de potência isolados e outros que porventura a ela estejam ligados em condições operativas normais. A única maneira direta de se fazer esta verificação é realizar os ensaios de injeção de alta corrente com todos os

caminhos de retorno ligados à malha, conforme indicado na Figura 18, em que uma linha de transmissão pode ser utilizada como circuito de corrente (NBR 15749, 2009).

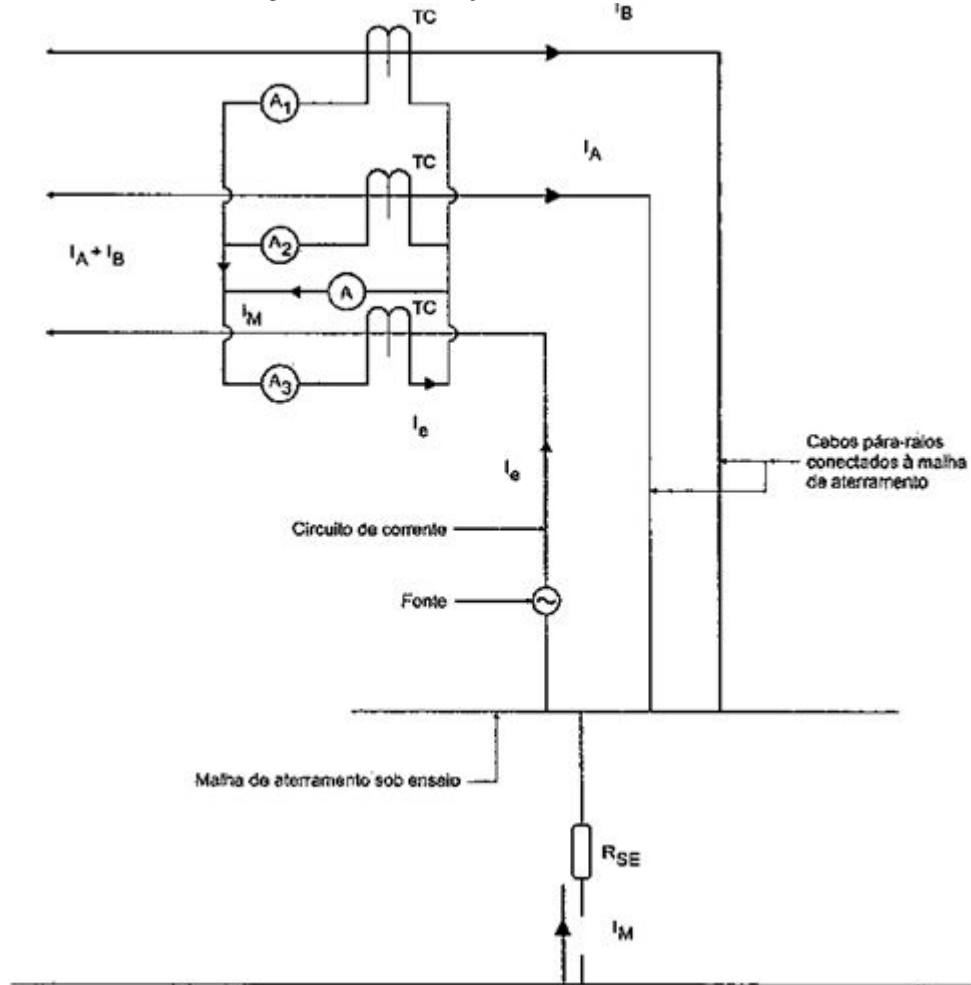
Figura 18: Método de injeção de grandes correntes



Fonte: NBR 15749:2009.

Como ilustrado na Figura 18, as correntes retomando pelos diversos caminhos do sistema de aterramento interligados (para-raios de LT'S, neutros de alimentadores e outros) podem ser determinadas diretamente através de amperímetros para corrente eficaz. Entretanto, a corrente que retorna pela malha não pode ser determinada de forma direta em virtude dos múltiplos caminhos de retorno pelos elementos aterrados. Para tanto, pode-se instalar um circuito de medição diferencial através de Transformadores de Corrente (TC'S) nos diversos caminhos de retorno, conforme ilustrado na Figura 19 (NBR 15749, 2009).

Figura 19: Monitoração de corrente de malha



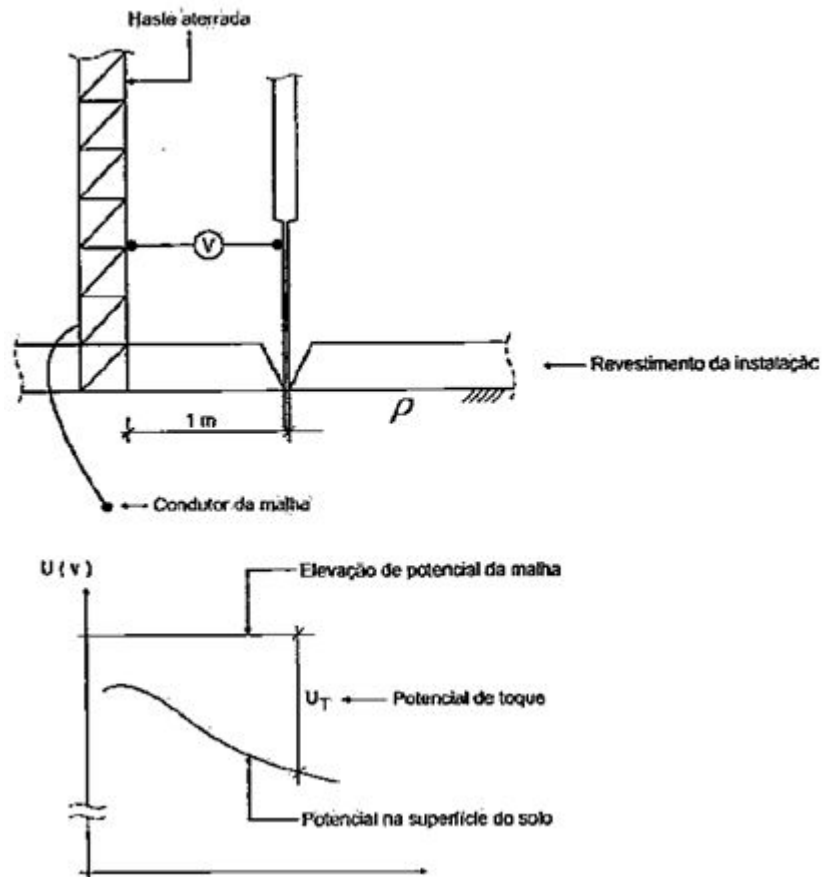
Fonte: NBR 15749:2009.

 I_e - Corrente de ensaio (A) I_M - Corrente de malha (A) I_A, I_B - correntes pelos cabos para-raios (A) R_{SE} - Resistência de aterramento da instalação (Ω)

2.6.3 Medição tensão de toque

De acordo com a NBR 15749, essa medição deve ser feita entre as partes metálicas, estruturas metálicas, carcaças de equipamentos ligadas ao sistema de aterramento sob ensaio e o eletrodo de potencial cravado no solo conforme indicado na Figura 20 abaixo (NBR 15749, 2009).

Figura 20: Medição de potencial de toque



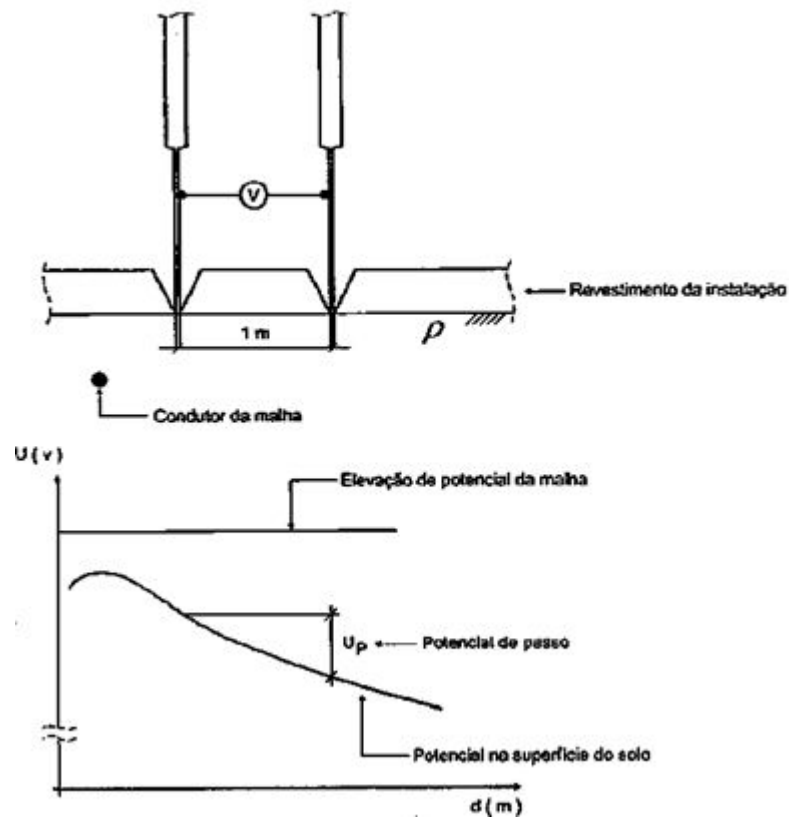
Fonte: NBR 15749:2009.

Vale ressaltar que a distância de 1 metro deve ser adotada no processo de medição apresentado na Figura 20.

2.6.4 Medição tensão de passo

No caso das tensões de passo, a tensão deve ser medida entre dois eletrodos de potencial cravados no solo e afastados em 1m, conforme mostrado a seguir Figura 21 (NBR 15749, 2009).

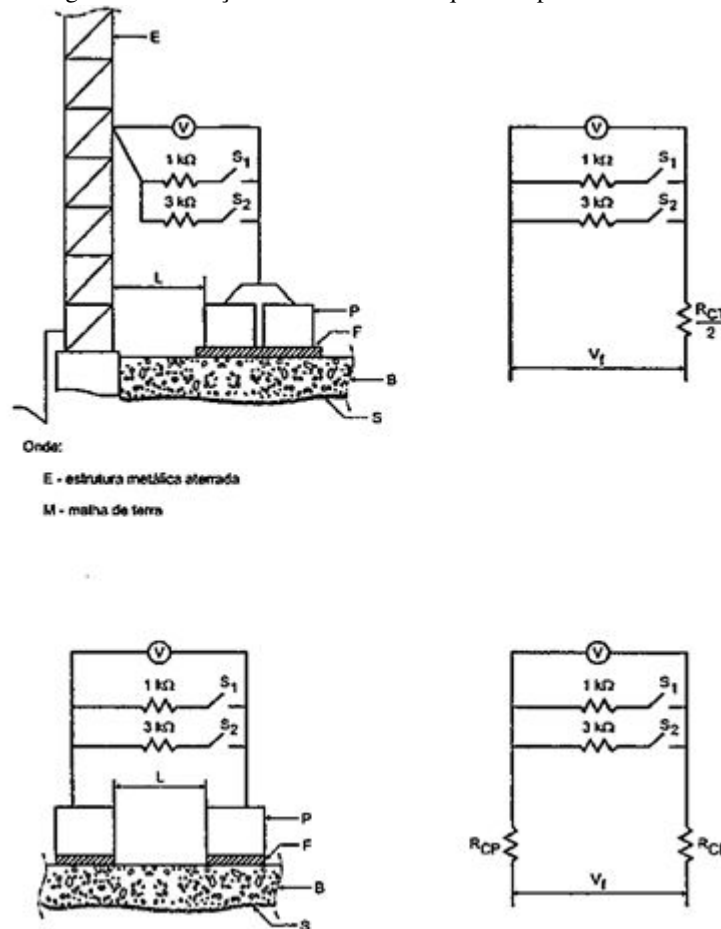
Figura 21: Medição de potencial de passo



Fonte: NBR 15749:2009.

A determinação da resistência de contato pé-brita (ou solo) deve ser realizada no ensaio de injeção de corrente, assim como a tensão aplicada diretamente sobre a pessoa. A Figura 22 fornece detalhes para a medição das tensões de toque e de passo (NBR 15749, 2009).

Figura 22: Medição das tensões de toque e de passo



Fonte: NBR 15749:2009.

Analizando a Figura 22, verifica-se o uso de duas placas de 25 quilos, barra de contato da base de 200 cm² cada e duas resistências, uma de 1000 Ω (simulando a resistência do corpo humano) e a outra de 3000 Ω. Pode-se melhorar a resistência de contato pé-brita com a utilização de um feltro umedecido com uma solução salina saturada, sendo importante fazer a investigação com a brita primeiramente seca e depois molhada nos pontos de medição. A tensão que surge sobre uma “pessoa” é medida nos terminais da resistência de 1000 Ω. Duas medições devem ser realizadas para a determinação da resistência de contato pé-brita: uma sobre a resistência de 1000 Ω e outra sobre a de 3000 Ω (NBR 15749, 2009).

Considerando os circuitos equivalentes representados na Figura 22, as seguintes relações podem ser obtidas (NBR 15749, 2009).

No circuito montado para análise da tensão de toque, obtém-se as Equações 4 e 5:

$$V_f = V_{1k} + \frac{V_{1k}}{1000} \times \frac{R_{ct}}{2} \quad (4)$$

$$V_f = V_{3k} + \frac{V_{3k}}{3000} \times \frac{R_{ct}}{2} \quad (5)$$

Resolvendo-se o sistema, obtém-se a Equação 6:

$$R_{ct} = \frac{2(V_{3k} - V_{31})}{\left(\frac{V_{1k}}{1000} - \frac{V_{3k}}{3000}\right)} \quad (6)$$

No circuito para a tensão de passo, obtém-se as Equações 7 e 8:

$$V_f = V_{1k} + \frac{V_{1k}}{1000} \times 2R_{cp} \quad (7)$$

$$V_f = V_{3k} + \frac{V_{3k}}{1000} \times 2R_{cp} \quad (8)$$

Resolvendo-se o sistema, obtém-se a Equação 9:

$$R_{ct} = \frac{(V_{3k} - V_{31})}{2 \left(\frac{V_{1k}}{1000} - \frac{V_{3k}}{3000} \right)} \quad (9)$$

2.7 Equipamentos utilizados para medição de sistemas de aterramento existentes

A seguir, serão apresentados alguns equipamentos utilizados na realização das medições de aterramento que tem por objetivo verificar a adequação do sistema ao que se estabelece as normas vigentes.

2.7.1 Alicate terrômetro

A Figura 23 ilustra o modelo de um alicate terrômetro real. É interessante destacar que, para atenuar as perturbações provocadas pela presença de tensões espúrias, esse tipo de equipamento geralmente trabalha com frequências de medição diferentes da frequência industrial (tipicamente entre 1500Hz e 2500Hz) e possuem filtros adequados (NBR 15749, 2009).

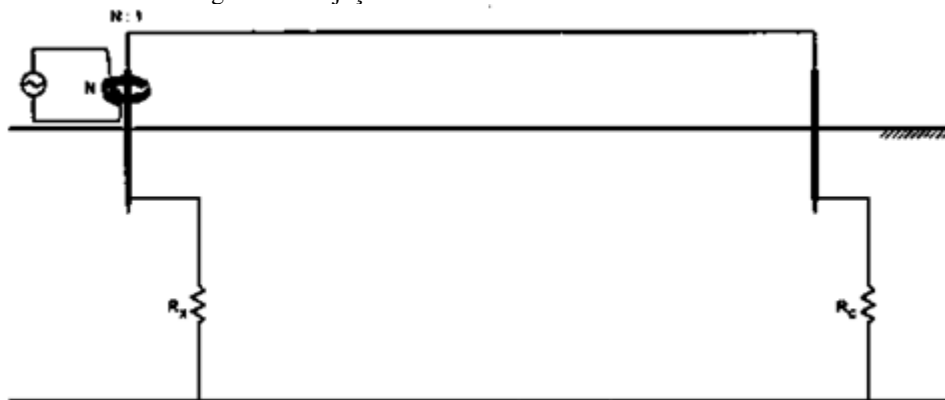
Figura 23: Alicate terrômetro ET-4310



Fonte: Site Minipa Ferramentas, 2022.²

De acordo com a NBR 15749, o princípio de funcionamento desse medidor consiste em um gerador de Corrente Alternada (CA), que aplica uma tensão numa bobina com N espiras, cujo núcleo ferromagnético envolve um circuito fechado como o indicado na Figura 24, a qual representa a única espira do secundário de um transformador com relação $N:1$. A tensão aplicada na bobina produzirá no circuito fechado uma Força Eletromotriz (FEM).

Figura 24: Injeção de uma FEM num circuito fechado



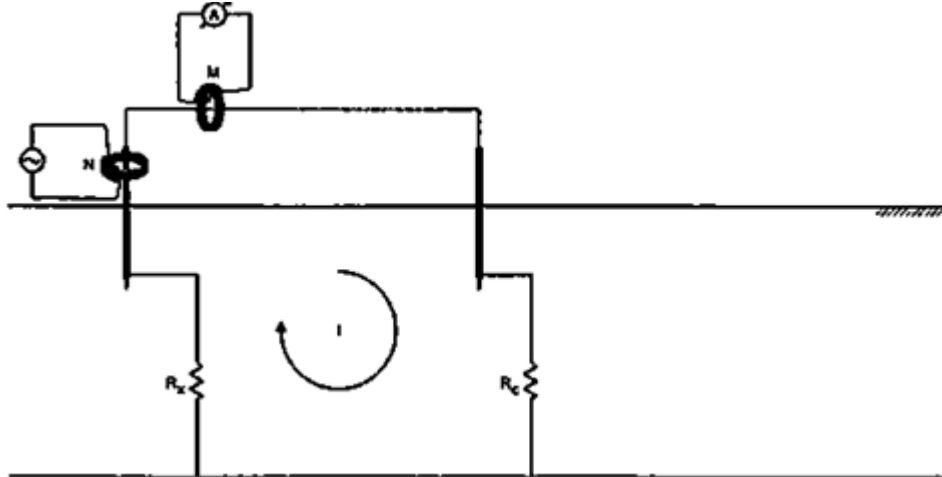
Fonte: NBR 15749:2009.

Com outra bobina com M espiras pode-se medir a corrente que circula no circuito fechado forma entre os eletrodos e a terra, como pode ser observado na Figura 25, em que a

² Disponível em: <https://www.minipa.com.br/ferramentas-eletricas/alicate-terometro/68-et-4310>. Acesso em: 01 jun. 2022.

soma das resistências $R_x + R_c$ pode ser obtida pela relação entre a tensão gerada e a corrente circulante (NBR 15749, 2009).

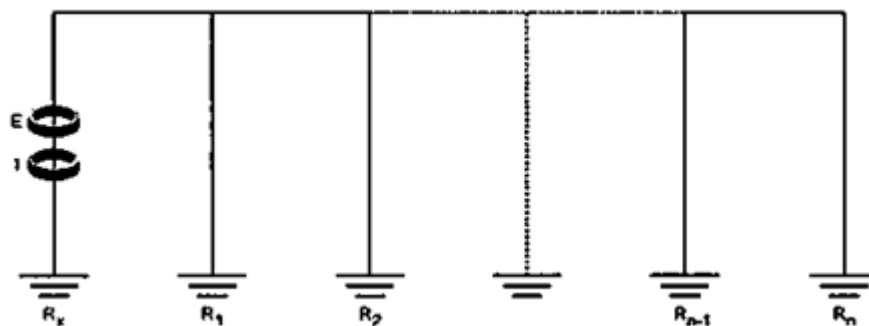
Figura 25: Princípio de funcionamento de um terrômetro alicate



Fonte: NBR 15749:2009.

É importante destacar que quando R_c for referente a um conjunto de eletrodos conectados em paralelo, como ilustrado na Figura 26, que representa um sistema multiterrado, pode-se considerar R_x muito maior que R_c . Logo, o instrumento indicará o valor da resistência de aterramento R_x procurada.

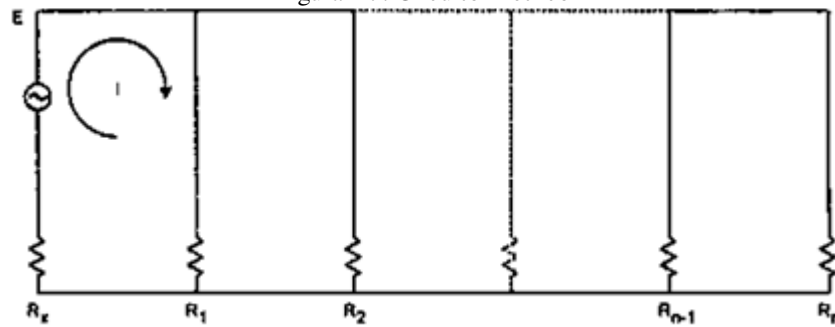
Figura 26: Sistema multiterrado



Fonte: NBR 15749:2009.

No caso de se analisar um sistema multiterrado, o circuito elétrico correspondente é aquele ilustrado na Figura 27.

Figura 27: Circuito Elétrico



Fonte: NBR 15749:2009.

Considerando o circuito da Figura 27, pode-se escrever que:

$$\frac{E}{I} = R_x + \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}} \quad (10)$$

Admitindo que:

$$R_x \gg \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}} \quad (11)$$

Tem-se como resultado de R_x :

$$R_x = \frac{E}{I} \quad (12)$$

Realizar medições de resistência de aterramento sem precisar desconectar/isolar o ponto a ser medido, ainda mais sem precisar utilizar estacas auxiliares espaçadas tantos metros forem necessários, seria uma praticidade enorme. O alicate terrômetro ajuda bastante quanto a estas facilidades, porém a NBR 15749 estabelece algumas restrições para o uso do alicate terrômetro, quais sejam:

- o método pode ser aplicado para medição de resistência de aterramento quando existe um circuito fechado (laço), incluindo a resistência do aterramento que se deseja medir. O equipamento não pode ser aplicado na medição de eletrodos que não formam parte de um laço, como é o caso do aterramento simples de um para-raios;
- a resistência do sistema 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 respectivas zonas de influência não apresentem sobreposição. No caso de aterramentos de múltiplos

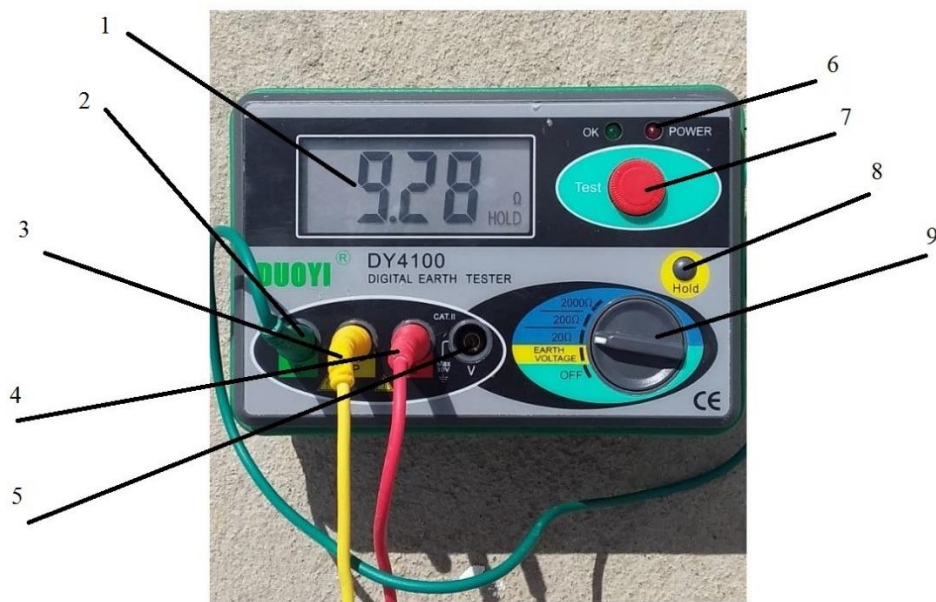
eletrodos (por exemplo, uma malha de aterramento). Não é válida a medição de cada eletrodo por separado para calcular a resistência do conjunto;

- d) a resistência do sistema sob medição deve ser percorrida pela totalidade de corrente injetada no terreno. 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-se ocorrer o erro de se estar medindo a resistência do laço fechado quando se envolver descida de SPDA.

2.7.2 Terrômetro

O instrumento utilizado para medição da resistência de terra é o terrômetro convencional, onde, com este equipamento, pode-se aplicar o método da queda de potencial apresentado na NBR 15749. Esse instrumento possui 2 hastes de referência, que servem como divisores resistivos, conforme indicado na Figura 28. Na verdade, o terrômetro injeta uma corrente pela terra que é transformada em “quedas” de tensão pelos resistores, formados pelas hastes de referência e pela própria haste de terra. Através do valor dessa queda de tensão, o mostrador é calibrado para indicar o valor ôhmico da resistência da terra (KINDERMANN, 2002).

Figura 28: Terrômetro Digital



Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Onde:

- a) display LCD;
- b) terminal de entrada 1 (que irá se conectar ao sistema existente);
- c) terminal de entrada 2 (que irá se conectar à ponta de prova e injetar corrente);
- d) terminal de entrada 3 (que irá se conectar à ponta de prova 3 e realizar a medição da tensões);
- e) terminal de entrada 4 (que irá se conectar à ponta de prova 4, utilizado para medição da resistividade com o método de quatro pontas);
- f) sinalização por led do estado do equipamento (ligado/desligado);
- g) tecla de teste;
- h) *hold/salve*;
- i) seletor do nível de resistência a ser medido.

Na Figura 29 mostrada abaixo, pode-se observar ainda as hastes auxiliares que são utilizadas no processo de medição.

Figura 29: Hastes auxiliares utilizadas no processo de medição

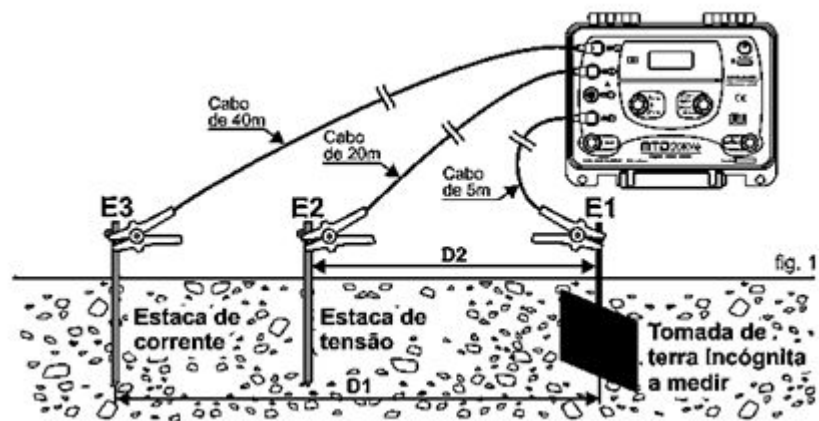


Fonte: Site Elefio, 2022.³

O princípio de funcionamento para o terrômetro de três pontas acontece da seguinte forma: com o equipamento montado, conforme o exemplo mostrado na Figura 30, ao ligar a fonte, uma corrente alternada de valor constante circula entre o eletrodo de aterramento sob ensaio E_1 e o eletrodo auxiliar E_3 (eletrodo de corrente). Um segundo eletrodo auxiliar E_2 (eletrodo de tensão ou potencial) é inserido a meio caminho entre E_1 e E_3 , efetuando a medida da diferença de potencial entre E_1 e E_2 . A resistência de aterramento do eletrodo E_1 será igual a tensão entre E_1 e E_2 dividida pela corrente que circula entre E_1 e E_3 , presumindo-se que não haja influência mútua entre os eletrodos (NBR 15749).

³ Disponível em: <https://www.elefio.com.br/hastes-aterramento>. Acesso em: 01 jun. 2022.

Figura 30: Procedimento de medição



Fonte: Manual Megabras, 2008.

O solo, normalmente, não apresenta condições ideais, como homogeneidade, umidade constante, etc. Assim, por melhor que tenha sido o projeto, convém realizar uma medição de verificação frequentemente, a fim de verificar se o sistema se encontra eficaz e apto a escoar as correntes indesejadas.

3 METODOLOGIA

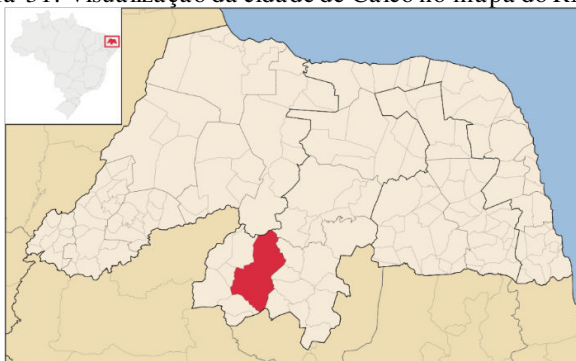
A seguir, serão apresentados todos os detalhes da metodologia utilizada no trabalho, tais como: locais de realização do estudo, assim como as referências e métodos utilizados.

3.1 Locais onde foram realizados os estudos de caso

3.1.1 Caicó - Rio Grande do Norte

A cidade de Caicó-RN situa-se a 272,3 Km da capital do estado, Natal, e foi o local da primeira coleta de dados.

Figura 31: Visualização da cidade de Caicó no mapa do RN



Fonte: FamilySearch wiki, 2017.⁴

O local se tratava de uma residência, onde foram realizadas três medições utilizando o terrômetro digital exposto no Apêndice A.

3.1.2 Caraúbas – Rio Grande do Norte

A cidade de Caraúbas-RN situa-se a 311,8 Km da capital do estado, Natal, e foi o local da segunda coleta de dados.

⁴ Disponível em: https://www.familysearch.org/pt/wiki/index.php?title=Caic%C3%B3,_Rio_Grande_do_Norte_-_Genealogia&oldid=82956. Acesso em: 01 jun. 2022.

Figura 32: Visualização da cidade de Caraúbas no mapa do RN



Fonte: FamilySearch wiki, 2017.⁵

O local se tratava de uma subestação aérea, onde foram realizadas 10 medições para obtenção da curva da resistência verdadeira em relação a distância. O terrômetro utilizado nesta medição pode ser observado no apêndice G.

3.2 Procedimento experimental

Para parametrizar as resistências dos aterramentos, a metodologia utilizada teve como referência principal a NBR 15749:2009, que trata sobre a medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento, no qual, foram seguidas as instruções técnicas normativas do método de medição da resistência de aterramento referente a queda de tensão.

Os experimentos foram realizados em dois locais diferentes (uma residência e uma subestação aérea), onde, inicialmente, foi utilizado como primeiro método, o método aproximado sendo necessário para a obtenção dos valores das resistências medidas nos locais determinados. O segundo método se deu a partir da utilização da construção gráfica da curva da resistência verdadeira, tendo em vista a finalidade de verificar o valor da resistência verdadeira e, também, se os valores encontrados estavam sofrendo influência do sistema de aterramento medido ou ainda do eletrodo auxiliar de corrente. Ambas as metodologias de medições analisadas se basearam na variação da sonda de potencial nos locais onde foram realizadas as medições, onde, esta sonda era utilizada como eletrodo auxiliar para, assim, se encontrar as diferenças de potenciais medidos entre a periferia do sistema de aterramento estudado e o eletrodo auxiliar de corrente.

⁵ Disponível em:

https://www.familysearch.org/pt/wiki/index.php?title=Cara%C3%BAbas,_Rio_Grande_do_Norte_-_Genealogia&oldid=83002. Acesso em: 01 jun. 2022.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, serão apresentados os resultados das medições, assim como as análises realizadas.

4.1 Medições das resistências de aterramento encontrados na residência

Inicialmente, foi analisado o sistema de aterramento que estava instalado na residência, onde se pôde observar a existência de 3 hastes de cobre que estavam com uma configuração em linha reta e espaçadas 2,4 metros umas das outras, configurando um sistema com uma maior largura equivalente a 7,2 metros. Além disso, pôde-se observar também que as hastes estavam interligadas umas nas outras através de cabos de cobre com uma espessura de 10mm². Na Figura 33 mostrada a seguir, pode-se observar 2 das três caixas de passagem existentes no local.

Figura 33: Caixas de passagem contendo as hastes de aterramento do local



Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Tendo em vista as características existentes no sistema encontrado, foram seguidas as instruções normativas da metodologia da NBR 15749, onde, inicialmente foi calculado o valor de S (valor da distância entre o eletrodo auxiliar de corrente e a periferia da malha a ser medida a resistência de aterramento). Este valor foi calculado considerando 3 vezes o valor da maior dimensão (L) encontrada do eletrodo de aterramento, como pode-se observar a seguir:

$$S = 3 L$$

$$S = (2,4 + 2,4 + 2,4) \times 3$$

$$S = 21,6 \text{ m}$$

Ao realizar-se o cálculo de S, observou-se que o seu valor era superior ao valor dos cabeamentos auxiliares do terrômetro, portanto, realizou-se a medição utilizando o valor máximo dos cabeamentos que foi de 18 metros, tendo, portanto, como novo valor de S:

$$S = 18\text{m}$$

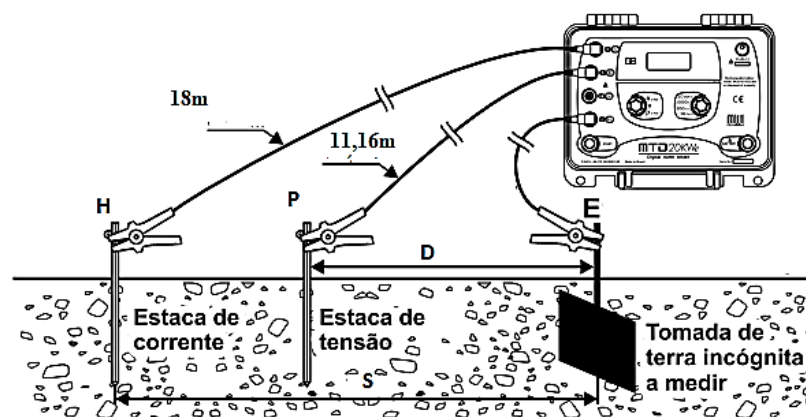
Em seguida, foi calculado qual seria a distância D (distância em que ficaria o eletrodo auxiliar de potencial, utilizado para medir os potenciais entre a periferia da malha de aterramento e o eletrodo auxiliar de corrente), pois de acordo com a NBR15749, deve-se ficar inicialmente a uma distância de 62% do eletrodo de corrente para se obter o valor da primeira resistência do aterramento .

$$D = 0,62 \times S$$

$$D = 0,62 \times (18\text{m})$$

$$D = 11,16 \text{ m}$$

Figura 34: Medição para obtenção do valor de R1

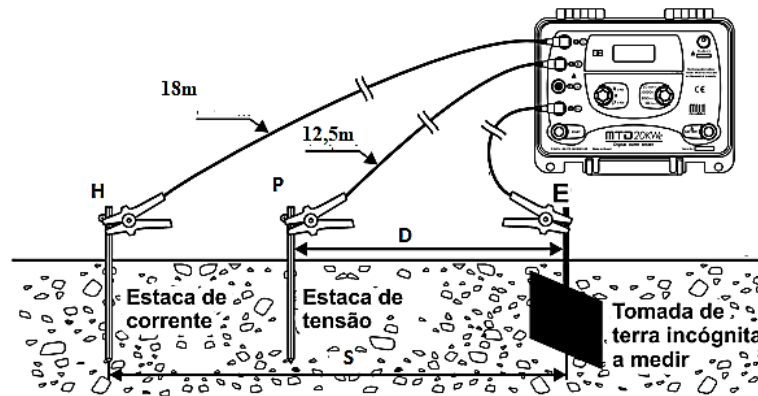


Fonte: Adaptada pelo autor, 2022.

Após a realização dos cálculos, as hastes foram posicionadas na distância D calculada, onde pode-se medir o valor da primeira resistência encontrada no local. Em seguida, realizou-se as demais medições aplicando as devidas variações de distância, sendo elas de acordo com a

NBR15749 de 5% de S (no sentido do eletrodo de corrente e também no sentido da periferia da malha de aterramento), para assim, a partir dos novos valores da distância D calculados se obter os novos valores das resistências R_2 e R_3 . Nas Figuras 35 e 36 mostradas a seguir, pode-se observar a ilustração das medições e das devidas variações da distância D calculada.

Figura 35: Medição para obtenção do valor de R_2



Fonte: Adaptada pelo autor, 2022.

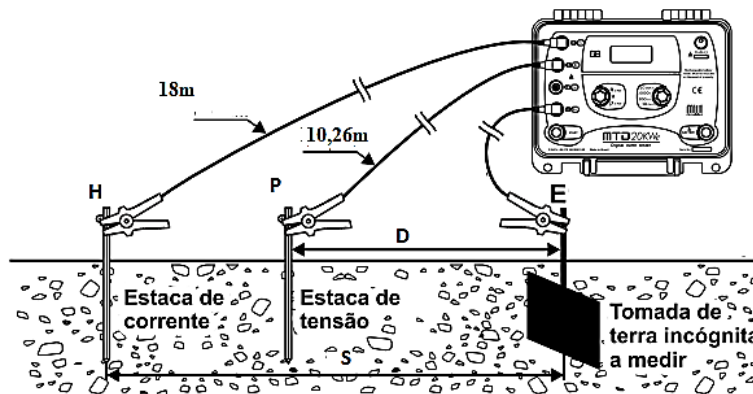
$$D_1 = D + (0,05 \times S)$$

$$D_1 = 11,16 + (0,05 \times 18\text{m})$$

$$D_1 = 12,5\text{m}$$

Pode-se observar acima, que a primeira variação realizada no eletrodo auxiliar de tensão, foi no sentido do eletrodo de corrente. Agora, pode-se observar a seguir que a segunda variação de distância foi realizada no sentido do eletrodo do sistema de aterramento existente

Figura 36: Medição para obtenção do valor de R_3



Fonte: Adaptada pelo autor, 2022.

$$D_2 = D + (0,05 \times S)$$

$$D_2 = 11,16 - (0,05 \times 18\text{m})$$

$$D_2 = 10,26\text{m}$$

Conforme exposto nos apêndices B ao I, observam-se alguns registros fotográficos realizados durante as medições. Ressalta-se ainda que foi observado um cuidado para se ter um espaçamento entre o borne de corrente e de tensão, a fim de que não houvesse uma interação eletromagnética entre os fios.

Na Tabela 2 mostrada a seguir, pode-se observar os valores da resistência de aterramento obtidos na primeira medição realizada em uma residência, como já explicado anteriormente, onde foi utilizado o método da queda de tensão já mostrado no procedimento experimental, para se encontrar os respectivos valores de resistência mostrados a seguir e o erro relativo calculado.

Tabela 2: Resultados da aplicação do método aproximado

Distância (m)	Resistencia (Ω)	Erro Relativo (%)
11,26	9,15	0
12,5	9,39	2,62
10,26	8,98	1,85

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

O erro relativo E_r (%) foi calculado a partir da equação 12 mostrada abaixo, onde, se teve como referência o valor da primeira medição de resistência realizada na distância D, como pode-se observar a seguir:

$$E_r = \frac{R_2 - R_1}{R_2} 100\% \quad (12)$$

Observou-se a partir dos resultados do erro relativo calculado que os valores de resistência medidos apresentaram um erro relativo cujo valor da diferença dos mesmos foi inferior a 10%, sendo assim, de acordo com a NBR 15749, estes valores estão na zona de patamar e não estão sofrendo influência de outras zonas. Contudo, a partir do cálculo realizado através de uma média aritmética, pode-se obter o valor aproximado da resistência verdadeira do local, como pode-se observar a seguir:

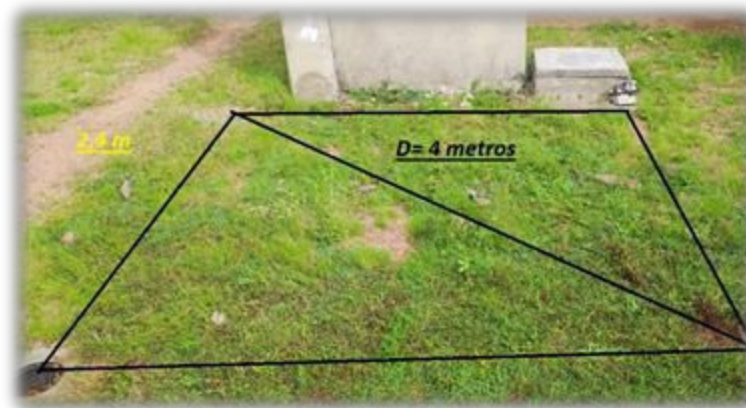
$$\begin{aligned}
 R_v &= (R_1 + R_2 + R_3) / 3 \\
 R_v &= (9,15 + 9,39 + 8,98) / 3 \\
 R_v &= 9,16 \, \Omega
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

Portanto, considera-se este valor da resistência encontrada um valor satisfatório, tendo em vista que na NBR5410, recomenda que o valor das resistências sejam abaixo de 10 Ω . Além disso, por sofrer baixas variações, considera-se ainda que os valores medidos não estão sofrendo influência das zonas de influência do sistema analisado.

4.2 Medição no sistema de aterramento encontrado na subestação aérea

Em um segundo momento, no sistema de aterramento da subestação aérea, foram encontradas 4 hastes de aterramento interligadas formando um anel no formato quadrado, sendo a aresta dessa distribuição igual a 2,4, como ilustrado na Figura 37. Nesse caso, a diagonal dessa distribuição representa a maior dimensão do eletrodo de aterramento (anel no formato quadrado), sendo igual a D=4 m.

Figura 37: Sistema de aterramento da subestação aérea



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Multiplicando D por 3, é possível obter a distância de localização do eletrodo de injeção de corrente em relação a própria malha de aterramento, isto é:

$$S = 3 \times L$$

$$S = 3 \times (4\text{m})$$

$$S = 12 \text{ m.}$$

Tendo encontrado o valor de S, realizou-se uma variação de 5% deste valor, obtendo assim valores diferentes para D, partindo da periferia do sistema de aterramento a ser medido, seguindo em direção ao eletrodo auxiliar de corrente, conforme recomenda a NBR15749, obtendo-se os seguintes valores de resistência mostrados na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3: Resultados da variação da Resistência em função do aterramento que menos variaram durante a realização da medição

Distância (m)	Resistência (Ω)
0,6	1,27
1,2	1,46
1,8	1,63
2,4	1,76
3	1,85
3,6	2,01
4,2	2,13
4,8	2,23
5,4	2,49
6	2,84
6,6	3,05
7,2	3,31
7,8	3,84
8,4	4,35
9	5,35
9,6	6,36
10,2	8,24
10,8	12,02
11,4	12,8

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Com os valores obtidos nas medições, observou-se uma pequena variação entre três dos valores medidos e portanto, foram calculados os valores dos erros relativos (%) entre eles, com o auxílio da equação 12 e utilizando o valor da resistência $R = 2,13 \Omega$ como referência, obtendo-se assim os valores mostrados na Tabela 4 mostrada a seguir.

Tabela 4: Resultados da variação da Resistência em função do aterramento variaram durante a realização da medição

Distância (m)	Resistência (Ω)	Erro (%)
3,6	2,01	5,63
4,2	2,13	0
4,8	2,23	4,69

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

A partir dos cálculos realizados dos erros relativos entre as resistências de aterramento medidas, tem-se então que os mesmos foram inferiores a 10% e que, de acordo com a NBR15749, os mesmos estão na zona de patamar e foram das zonas de influência, ou seja, pode-se então calcular a sua resistência verdadeira a partir de uma média aritmética entre os três valores encontrados, como mostrado a seguir:

$$R_v = (R_1 + R_2 + R_3) / 3$$

$$R_v = (2,01 + 2,13 + 2,23) / 3$$

$$R_v = 2,12 \, \Omega$$
(14)

Foi obtido um excelente valor de resistência no local, tendo em vista que a NBR5410 recomenda que ela não seja superior a 10 Ω . Tendo calculado o valor da resistência verdadeira R_v , foi utilizado o mesmo como referência para realização do cálculo dos demais erros relativos dos outros valores de resistência medidos no local, para então, observar-se suas demais variações como pode-se observar na Tabela 5 abaixo.

Tabela 5: Resultados da variação da Resistência em função do aterramento que menos variaram durante a realização da medição

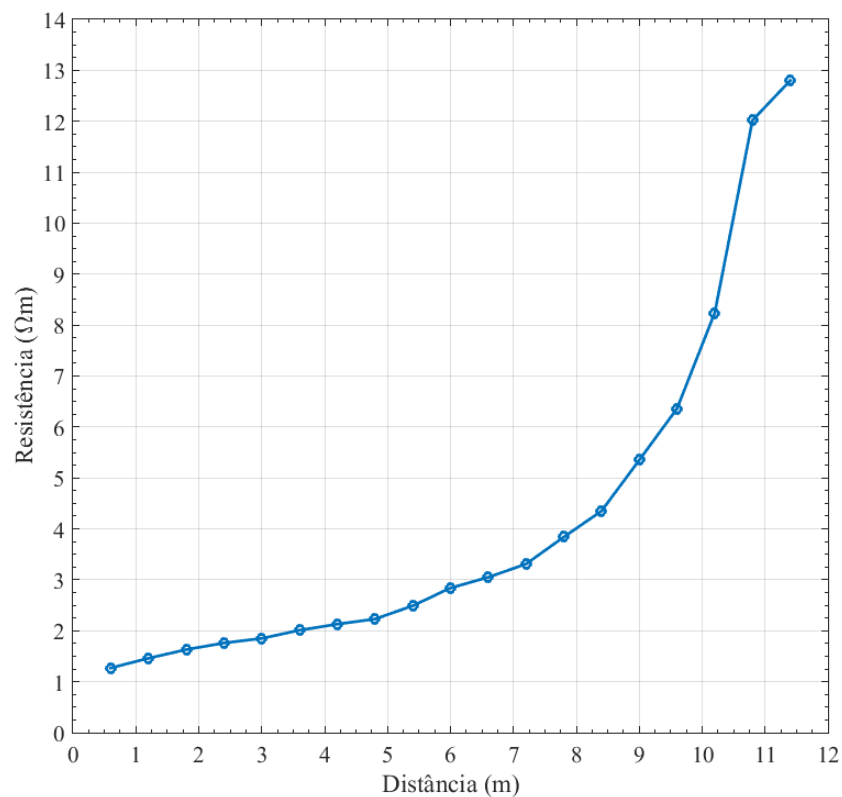
Distância (m)	Resistência (Ω)	Erro (%)
0,6	1,27	40,09
1,2	1,46	31,13
1,8	1,63	23,11
2,4	1,76	19,98
3	1,85	12,74
3,6	2,01	5,18
4,2	2,13	0,47
4,8	2,23	5,18
5,4	2,49	17,45
6	2,84	33,96
6,6	3,05	43,86
7,2	3,31	56,13
7,8	3,84	81,13
8,4	4,35	105,18
9	5,35	152,36
9,6	6,36	200
10,2	8,24	288,68
10,8	12,02	466,98
11,4	12,8	503,77

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Pode-se observar a partir dos resultados calculados dos erros relativos, que os mesmos foram superiores a 10% e que, portanto, estão sofrendo influência tanto da zona de influência do sistema de aterramento existente, quanto da zona de influência do eletrodo auxiliar de corrente.

Por fim, foi construída a curva da resistência verdadeira a partir dos valores obtidos, onde se pode visualizar graficamente as zonas de influência do sistema de aterramento, a zona de patamar e a zona de influência do eletrodo de corrente, mostradas a seguir.

Figura 38: Gráfico dos valores medidos da Resistência (Ω) versus a Distância (m)



Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

A partir do gráfico apresentado acima, pode-se constatar que existe variação nas medições das resistências realizadas no intervalo de medição de 0 a 3 metros, configurando assim uma zona de influência do sistema de aterramento existente. Já nas medições de resistência realizadas nas distâncias compreendidas entre 3 e 5 metros, observa-se uma certa constância nos valores encontrados, podendo então, estes valores, serem considerados dentro da zona de patamar, não sofrendo assim influência de nenhuma zona e portanto, estando compreendido dentro da zona de patamar o valor da resistência verdadeira do local. Por fim, estando os valores de resistência que foram encontrados nas distâncias acima de 5 metros

sofrendo um alto índice de variação, considera-se que eles estão sofrendo influência do eletrodo auxiliar de corrente.

5 CONCLUSÃO

Mediante a conclusão deste trabalho, consideramos que é de suma importância o tratamento dos dados coletados, o que influencia diretamente nos resultados. Desse modo, destacamos que nas medições realizadas, os resultados utilizados nas análises cumpriram fielmente o que foi encontrado em campo, mostrando a realidade dos procedimentos de medição in loco.

No trabalho desenvolvido, foi possível realizar as medições de forma convergente ao que se apresentava como proposta do trabalho, conseguindo assim, a obtenção dos valores das resistências de aterramento elétrico nos locais estudados, seguindo as instruções normativas da NBR15749:2009. Além disso, foi realizada a análise dos valores encontrados a fim de verificar se eles estavam sofrendo alguma influência das zonas de influência dos sistemas de aterramento estudado. Por fim, conseguiu-se realizar a construção gráfica dos valores encontrados, como também mostrar os dados através de Tabelas, para que seja possível fazer uma leitura gráfica da medição do valor da resistência em cada posição. Portanto, dentro do que este trabalho apresentou, é possível afirmar os objetivos traçados foram alcançados.

É importante informar que durante a realização das medições deparou-se com algumas dificuldades técnicas, como por exemplo o fato de um dos equipamentos possuir cabeamento com distâncias insuficiente para aplicação do método de medição da resistência existente como descrito na NBR 15749. Além disso, a realização das medições em locais povoados, pela falta de espaço ao redor da construção para serem realizadas (lançamento dos cabos com os eletrodos auxiliares), dificulta o cravamento dos eletrodos auxiliares utilizados para injeção e medição da resistência.

Para trabalhos futuros, torna-se relevante realizar um estudo aprofundado dos tipos de solos existentes, analisando as suas características, medindo a sua resistividade e verificando a sua interação com os diferentes tipos de sistemas de aterramento. Fica também a possibilidade da realização das medições de tensão de passo e tensão de toque e apresentar sua metodologia detalhada.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15749**: “Medição de Resistência de Aterramento e de Potenciais na Superfície do Solo em Sistemas de Aterramento”, norma técnica, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: “Instalações Elétricas de Baixa Tensão”, norma técnica, versão corrigida, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419**: “Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas”, norma técnica, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7117**: “Medição de Resistividade e Determinação da Estratificação do solo”, norma técnica, 2012.
- BELTANI, J. M. **Medição de malha de terra em subestações energizadas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2007.
- BEZERRA, S. R. C.; KANASHIRO, A. G. Sistema de aterramento elétrico com hastes envolvidas em concreto. In: **Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos**. Belém, Brasil: [s.n.], 2010.
- BORTOLUZZI, H. **Choque elétrico – BarraShoppingSul**. 2009. 47f. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- BRASIL. **NR 10 – Segurança em instalações e serviços em eletricidade**. Portaria n.º 3214/78. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2004.
- DOMINGUES, H. L. **Análise comparativa entre métodos de verificação das conexões de equipamentos à malha de aterramento em subestações energizadas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
- GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de fisiologia médica**. 10. Ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 2002.
- INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **IEEE Std 80**: Guide for Safety in AC Substation Grounding, Piscataway 2000.
- KINDERMANN, G.; CAMPAGNOLO, J. M. **Aterramento elétrico**. Porto Alegre: Sagra-DC Luzzatto, 2002.
- LEITE, C. M.; PEREIRA FILHO, M. L. **Técnicas de aterramentos elétricos: cálculos, projetos e softwares para aterramentos elétricos**. 2.ed. São Paulo: Oficina de Mydia, 1996.
- MAMEDE FILHO, J. **Instalações elétricas industriais**. 9.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.
- MODENA, J.; SUETA, H. E. Métodos normalizados para medição de resistência de aterramento. **O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 6, n. ju 2011, p. 40-44, 2011.

MORENO, H.; COSTA, P. F. **Aterramento Elétrico**. 2018. Disponível em: <http://www.abcobre.org.br/uploads/conteudo/conteudo/2019/11/GOdTD/e-book-aterramento-eletrico.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2022.

NOGUEIRA, R. L. S. **Análise de sistemas de aterramento sob solicitações impulsivas: otimização e critérios de segurança em aterramentos de estruturas de linhas de transmissão**. 2006. 165f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: 2006.

RANGEL FILHO, A. (coord.). **Engenharia de segurança do trabalho na indústria da construção**. Ministério do Trabalho. São Paulo: Fundacentro, 2001.

SUETA, H. E. **Uso de componentes naturais de edificações como parte integrante do sistema de proteção contra descargas atmosféricas: uma visão relativa aos danos físicos**. Orientador: José Aquiles Baesso Grimoni. 2005. 288f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

TELLÓ, Marcos; et al. **Aterramento elétrico impulsivo**, em baixa e alta frequências. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

VIANA, M. J. **Proteção contra choques elétricos em canteiros de obras**. São Paulo: Fundacentro, 2018.

VICENTINI, Marianne. **A importância das normas técnicas na construção civil**. Ideal consultoria Júnior. Disponível em: <https://www.idealjr.com/post/a-import%C3%A2ncia-das-normas-t%C3%A9cnicas-na-constru%C3%A7%C3%A3o-civil>. Acesso em: 01 jun. 2022.

VISACRO FILHO, S. **Aterramentos elétricos: conceitos básicos, técnicas de medição e instrumentação, filosofias de aterramento**. São Paulo: Artliber, 2002.

APÊNDICE A – Terrômetro digital utilizado para medição em uma residência no município de Caicó-RN



Fonte: Autoria própria.

APÊNDICE B – Registro fotográfico das medições realizadas em uma residência no município de Caicó-RN



Fonte: Autoria própria.

APÊNDICE C – Registro fotográfico das medições realizadas em uma residência no município de Caicó-RN



Fonte: Autoria própria.

APÊNDICE D – Registro fotográfico das medições realizadas em uma residência no município de Caicó-RN



Fonte: Autoria própria.

APÊNDICE E – Registro fotográfico das medições realizadas em uma residência no município de Caicó-RN



Fonte: Autoria própria.

APÊNDICE F – Registro fotográfico das medições realizadas em uma residência no município de Caicó-RN



Fonte: Autoria própria.

APÊNDICE G – Registro fotográfico das medições realizadas em uma subestação aérea localizada no município de Caraúbas-RN



Fonte: Autoria própria.

APÊNDICE H – Registro fotográfico das medições realizadas em uma subestação aérea localizada no município de Caraúbas-RN



Fonte: Autoria própria.

APÊNDICE I – Registro fotográfico das medições realizadas em uma subestação aérea localizada no município de Caraúbas-RN



Fonte: Autoria própria.