



**AVALIAÇÃO DE NÃO CONFORMIDADES EM ATERRAMENTO EM
MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS MÓVEIS EM CANTEIRO DE
OBRAS**

Marco Aurélio Silva Cantanhede

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos – Mestrado Profissional, PPGEP/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos.

Orientador: Rui Nelson Otoni Magno

Belém

Setembro de 2021

**AVALIAÇÃO DE NÃO CONFORMIDADES EM ATERRAMENTO EM
MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS MÓVEIS EM CANTEIRO DE
OBRAS**

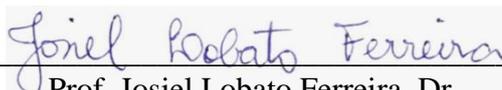
Marco Aurélio Silva Cantanhede

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PROCESSOS – MESTRADO PROFISSIONAL (PPGEP/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA DE PROCESSOS.

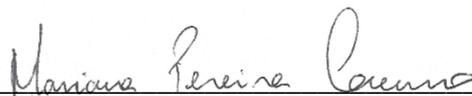
Examinada por:



Prof. Rui Nelson Otoni Magno, Dr.
(PPGEP/ITEC/UFGA-Orientador)



Prof. Josiel Lobato Ferreira, Dr.
(PPGEP/ITEC/UFGA-Membro)



Prof^a. Mariana Pereira Carneiro, Dr^a.
(UEPA-Membro)

BELÉM, PA - BRASIL

SETEMBRO DE 2021

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Cantanhede, Marco Aurélio Silva, 1982-
Avaliação de não conformidades em aterramento em
máquinas e equipamentos elétricos móveis em canteiro de
obras / Marco Aurélio Silva Cantanhede - 2021.

Orientador: Rui Nelson Otoni Magno

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal
do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Processos, 2021.

1. Aterramento 2. Máquinas e equipamentos elétricos 3.
Canteiro de obras I. Título

CDD 670.42

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, pelo direcionamento e suas dádivas em minha vida, minha mãe, esposa e filha, que sempre tiveram ao meu lado nas horas de tomar as decisões.

AGRADECIMENTOS

Queria agradecer a Deus por derramar sobre mim, sua glória e bênçãos a todos os momentos da minha vida, à toda minha família que direta e indiretamente tem acreditado que para o crescimento existe um caminho a ser traçado e o alcance do sucesso é a força de vontade, em crescer. Agradecer ao orientador Nilson Ribeiro, que hoje não está mais entre nós, ao meu orientador Rui Magno por contribuir diretamente neste trabalho, dispendo em ajudar na elaboração e orientação durante a construção dessa dissertação. Agradecer a meu pastor, pelas orações para alcance do objetivo, aos amigos de turma, que durante os estudos compartilhamos experiências e todos aqueles que permaneceram com força positiva para o resultado dessa dissertação.

“Porque o senhor dá a sabedoria, da sua boca é que vem o conhecimento e o entendimento.”

(Salomão, Pv 2:6)

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGEP/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Processos (M. Eng.)

O AVALIAÇÃO DE NÃO CONFORMIDADES EM ATERRAMENTO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS MÓVEIS EM CANTEIRO DE OBRAS

Marco Aurélio Silva Cantanhede

Setembro/2021

Orientador: Rui Nelson Otoni Magno

Área de Concentração: Engenharia de Processos

Devido a utilização de aterramento desconforme com as normas regulamentadoras, como proteção em máquinas e equipamentos móveis em canteiros de obras, neste trabalho foi realizada uma avaliação para analisar os possíveis riscos e perigos, ao utilizar o aterramento em desconformidade com as normas. As visitas foram realizadas com o objetivo de checar as condições dos cabos e acessórios que compõe o conjunto de aterramento, verificar as condições e apresentar um modelo de aterramento dentro padrões que atenda as normas, que se deu a partir de análises de campo e preparação do ambiente. Dentre as suas características e objetivos, observou-se que todo aterramento utilizado precisava ser refeito, pois foi visto que apenas se utilizava uma barra de eletrodo fora do padrão das normas vigente, como aterramento, proteção para pessoas, máquinas e equipamentos móveis. Pode-se concluir o trabalho contribuindo, apresentando um o Kit de Aterramento, para ser utilizado durante a operação e atividades no canteiro de obras.

Abstract of Dissertation presented to PPGE/UFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Process Engineering (M. Eng.)

EVALUATION OF NON-CONFORMITIES IN GROUNDING MACHINES AND MOBILE ELECTRICAL EQUIPMENT ON CONSTRUCTION SITE

Marco Aurélio Silva Cantanhede

September/2021

Advisor: Rui Nelson Otoni Magno

Research Area: Process Engineering

Forecast the use of grounding that does not comply with regulatory standards, such as protection in machinery and mobile equipment on construction sites, in this work an assessment was carried out to analyze the possible risks and dangers, when using grounding in non-compliance with the standards. The visits were carried out in order to check the conditions of the cables and accessories that make up the grounding set, check the conditions and present a grounding model within the standards that meets the standards, which was based on field and preparation of the environment. Among its characteristics and objectives, it is observed that every grounding used needs to be redone, as it was seen that only an electrode bar that does not comply with current standards is used, such as grounding, protection for people, machines and mobile equipment. The work can be completed by contributing, such as a Grounding Kit, to be used during an operation and jobsite activities.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - MOTIVAÇÃO.....	1
1.2 - OBJETIVOS.....	3
1.2.1 - Objetivo geral.....	3
1.2.2 - Objetivos específicos.....	3
1.3 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	4
CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA.....	5
2.1 - SOBRE O ESTADO DA ARTE.....	5
2.1.1 - Aterramento.....	7
2.1.2 - Componentes de um sistema de aterramento.....	8
2.1.3 - Resistividade do solo.....	9
2.1.4 - Configurações de aterramento.....	10
2.1.5 - Tratamento químico do solo.....	13
2.2 - TIPOS DE ATERRAMENTO.....	14
2.2.1 - Aterramento TT.....	14
2.2.2 - Aterramento TN.....	15
2.2.3 - Aterramento IT.....	16
2.2.4 - Materiais para aterramento.....	17
2.2.5 - Seção de condutores.....	18
2.3 - CHOQUE ELÉTRICO.....	18
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
3.1 - METODOLOGIA UTILIZADO DURANTE ESTUDO.....	22
3.1.1 - Preparação para análise experimental.....	22
3.1.2 - Aterramento de máquina de solda.....	23
3.1.3 - Aterramento de torre de iluminação.....	23
3.1.4 - Aterramento do gerador.....	24
3.1.5 - Aterramento de guindaste.....	24
3.2 - APARELHOS DE MEDIÇÃO.....	24
3.3 - ANÁLISE DA RESISTIVIDADE DO SOLO.....	26
3.4 - ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO.....	27
3.5 - SIMULAÇÕES DE TENSÕES.....	27

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1 - VALORES DA RESISTIVIDADE DO SOLO.....	28
4.2 - RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO DA HASTE.....	29
4.3 - ANÁLISE DAS MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS.....	29
4.3.1 - Análise do aterramento da máquina de solda.....	31
4.3.2 - Análise do aterramento da torre de iluminação.....	32
4.3.3 - Análise do aterramento do gerador.....	33
4.3.4 - Análise do aterramento do aterramento do guindaste.....	34
4.4 - RESISTIVIDADE DO SOLO.....	34
4.5 - PROPOSTA PARA ATERRAMENTO.....	35
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	38
5.1 - CONCLUSÕES.....	38
5.2 - LIMITAÇÕES DA TRABALHO.....	39
5.3 - PROPOSTA PARA NOVOS ESTUDOS.....	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Componentes de aterramento.....	9
Figura 2.2	Estrela de 4 pontos.....	11
Figura 2.3	Número de hastes dispostas em círculo.....	11
Figura 2.4	Número de hastes linha reta.....	12
Figura 2.5	Número de hastes uniformemente na área.....	12
Figura 2.6	Malha constituída com eletrodos horizontais.....	13
Figura 2.7	Conjunto de 3 hastes interligadas.....	13
Figura 2.8	Variação da resistência da terra.....	14
Figura 2.9	Sistema TT.....	15
Figura 2.10	Sistema TN.....	16
Figura 2.11	Sistema IT.....	17
Figura 2.12	Passagem da corrente elétrica.....	19
Figura 2.13	Zonas de intensidade e tempo da corrente.....	19
Figura 3.1	Aterramento de máquina de solda.....	23
Figura 3.2	Aterramento de torre de iluminação.....	23
Figura 3.3	Aterramento de gerador.....	24
Figura 3.4	Aterramento de guindaste.....	24
Figura 3.5	Terrômetro.....	25
Figura 3.6	Alicate terrômetro.....	25
Figura 3.7	Terrômetro.....	26
Figura 4.1	Cadeia de ajuda.....	35
Figura 4.2	Sistema de interligação de aterramento.....	36
Figura 4.3	Sistema de interligação de aterramento.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Eletrodos de aterramento.....	17
Tabela 2.2	Seção de condutores.....	18
Tabela 3.1	Guia das máquinas e equipamentos.....	22
Tabela 4.1	Valores típico de resistividade.....	28
Tabela 4.2	Prioridade.....	29
Tabela 4.3	Análise do aterramento da máquina de solda.....	31
Tabela 4.4	Análise do aterramento da torre de iluminação.....	32
Tabela 4.5	Análise do aterramento do gerador.....	33
Tabela 4.6	Análise do aterramento do guindaste.....	34

NOMENCLATURA

ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
GPR	MÁXIMA ELEVAÇÃO DE POTENCIAL DA MALHA
NBR	NORMAS BRASILEIRAS
ETI	EQUIPAMENTO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO
DPS	DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO DE SURTOS
DR	DISJUNTOR RESIDUAL
PVC	POLICLORETO DE VINIL
IEC	INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
PCMAT	PROGRAMA DE CONDIÇÕES E MEIO AMBIENTE DE TRABALHO NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO
SPDA	SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
NR 10	SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE
RTP	REGULAMENTAÇÃO TÉCNICA DE PROCEDIMENTO

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - MOTIVAÇÃO

A Dentre os diferentes sinistros que podem acontecer aos profissionais especializados durante operação de máquinas, equipamentos e em instalações prediais, o choque elétrico por contato acidental vem tomando destaque. O mesmo deixa o corpo eletrizado e sob tensão, fase e terra estabelecendo uma diferença de potencial entre dois pontos do corpo humano podendo levar à morte. Os dados estatísticos da (COPEL, ANUARIO 2019), mostra um total de 622 mortes, somente por choque elétrico, e vem se mantendo estável nos últimos 5 anos, conforme mostra a série histórica contida no documento. Além disto, percebe-se o aumento significativo de incêndios gerados por sobrecarga de energia. Em 2017 foram computadas 451 ocorrências, já em 2018, o número cresceu para 537 ocorrências o que causa sérios prejuízos a economia e vidas, sendo totalizadas 30 mortes no ano de 2017 e 61 mortes em 2018 em todo território nacional.

O aterramento é a arte de se conectar com toda a terra. A conexão do aterramento é a interface entre a terra e o sistema de aterramento, e o contato elétrico é formado entre os dois ("aterramento" e o sistema de aterramento). Obviamente, o aterramento elétrico é o assunto de muitas perguntas sobre as regras e procedimentos de ambientes elétricos industriais (BATISTA e LEMOS, 2018). O aterramento elétrico, é basicamente a forma mais segura de interferência na eletricidade de maneira a proteger e garantir um bom funcionamento da instalação elétrica.

Aterrar significa colocar instalações e equipamentos no mesmo potencial de modo que a diferença de potencial entre a terra e o equipamento seja zero.

Isso é feito para que, ao operar máquinas e equipamentos elétricos, o operador ou o profissional da área não receba descargas elétricas do equipamento que ele está manuseando, seja por corrente de falta (fuga para massa) ou por descarga eletrostática (MORENO, 2018).

Para que o sistema de potência opere normalmente, tenha continuidade de serviço suficiente, proteja o sistema com desempenho de segurança e, ainda mais

importante, garanta os limites (nível) de segurança pessoal, é essencial uma atenção especial aos itens de aterramento (MENDONÇA, 2010).

Segundo ARAÚJO (2013), os principais objetivos do aterramento são: Obter a menor resistência de aterramento possível para a corrente de falha de aterramento; manter o potencial gerado pela corrente de falha dentro de uma faixa segura para evitar fibrilação; tornar o equipamento de proteção mais sensível e isole rapidamente a falha de aterramento; fornecer um caminho de fluxo para a terra que emite para a atmosfera; usar a terra como um circuito de corrente no sistema Monofilar com Retorno por Terra. Descarregar a carga estática gerada na caixa do equipamento.

Existem muitas maneiras de aterrar sistemas elétricos, desde pontos mais simples ou até cabos mais complexos enterrados no subsolo. Dependendo da aplicação, o ponto do sistema que você deseja aterrar pode ser o traço na placa de circuito impresso, no motor ou na caixa do computador, ou no ponto neutro do sistema elétrico. O eletrodo de aterramento também pode ter uma configuração muito diversa. Basicamente, um eletrodo é qualquer objeto metálico enterrado no subsolo. Algumas configurações comuns podem ser listadas, como ângulos de ferro galvanizado, sistemas hidráulicos ou grades. Dependendo da aplicação, a forma e a disposição geométrica dos eletrodos no solo variam muito (ANDRADE, 2013).

Os aterramentos temporários disponíveis durante as atividades nos canteiros de obra, têm sido uma preocupação constante ao que se refere à proteção de pessoas, máquinas e equipamentos. O sistema de aterramento, uma vez que a norma não define um padrão, tem sofrido um grande impacto, pois em sua maioria, não possui confiabilidade e segurança dentro dos canteiros de obra. A NBR 5410, determina em suas alíneas eletrodos (barras) medidas de comprimentos bem definidas, e essas assim são adquiridas por fornecedores. Contudo, são partidas em pedaços pelos eletricitistas e utilizado em vários equipamentos durante as paradas de manutenção, mostrando um aterramento cada vez mais incerto, no que se diz proteção dos equipamentos e pessoas.

O aterramento utilizado nas máquinas e equipamentos temporários dentro das instalações do canteiro de obras, nas atividades de construção, em sua maioria não possui um responsável técnico e nem projeto para instalação, sendo que não é possível verificar se os aterramentos disponíveis estão seguros, uma vez que os aterramentos temporários são executados sem controle pelas empresas prestadoras de serviço (SANTANA, 2005).

O número de não conformidades registradas durante as inspeções de segurança, mostra um aterramento deficiente tanto na implantação no terreno, quanto na definição de acessórios e cabos. Os eletrodos são cortados em pedaços de 50, 60 e 80 cm, sendo que a barra penetrada no solo é de 10 a 20 cm e o restante da barra fica externo do solo, o número de equipamentos ligados a essa barra de aterramento também não são mensurados, uma vez que são interligadas várias máquinas de solda, torre de iluminação, geradores, painéis elétricos, dentre outros. O solo onde é conectado os eletrodos de aterramento dentro das instalações do canteiro de obras, nas atividades de construção, por ser um pátio antigo de depósito de minério, também dificulta a implantação dos eletrodos de aterramento, pois possui uma camada mineral de solo rígido, sem possibilidade de implantar o eletrodo, deixando um aterramento ineficiente no que se refere a proteção de pessoas, máquinas e equipamentos (GOMES, 2012).

Neste contexto, o presente trabalho pretende apresentar evidências das não-conformidades identificadas e com base nas normas definir um modelo padrão de aterramento para os equipamentos e máquinas elétricas móveis no canteiro de obras. Para isso serão feitos levantamentos das necessidades nos aspectos técnicos, materiais, humanos e legais, a fim de garantir a prevenção de acidentes relacionados a atividade.

1.2 - OBJETIVOS

1.2.1 - Objetivo geral

Avaliar o aterramento utilizado nas máquinas e equipamentos móveis definindo um modelo padrão de aterramento para utilização durante operação das máquinas e equipamentos elétricos móveis, analisando os métodos de aterramento utilizados e condições do local disponível para praticar o aterramento.

1.2.2 - Objetivos específicos

- Avaliar o sistema de aterramento utilizado nas máquinas e equipamentos elétricos móveis;
- Avaliar os eletrodos e acessórios de aterramento utilizado nos canteiros de obra;
- Apresentar mensurações do sistema de aterramentos utilizado nas máquinas e equipamentos elétricos móveis;

- Apresentar uma proposta de aterramento para os equipamentos elétricos móveis.

1.3 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O capítulo 1 apresentou a motivação, os objetivos, as contribuições da dissertação e a forma de organização do trabalho.

O capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura sobre os fundamentos, conceitos e trabalhos relacionados ao tema abordado nesta dissertação de forma concisa para que possa colocar o leitor a par do estado da arte atual.

No capítulo 3 é mostrado a metodologia utilizada para desenvolvimento do trabalho, com o capítulo 4 apresentando os resultados alcançados e discussões.

O capítulo 5 apresenta as conclusões finais e sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - SOBRE O ESTADO DA ARTE

Máquinas e equipamentos elétricos móveis, assim os estudos a seguir tratam das formas de aterramento neste seguimento.

BEZERRA (2017), utilizando a implementação da ionização, verificou a resposta transitória de uma haste concretada para solos com diferentes resistividades, 50, 100, 500 e 2500 Ω m. O autor observou que em todos os casos a haste concretada apresentou picos de impedância transitória (Z_{max}) menor que a de uma haste submetida a mesma tensão impulsiva. Notou-se que o valor máximo da impedância tende a diminuir à medida que o solo tem valores de resistividade maiores. No entanto, não houve eficiência no aumento da haste concretada quando a resistividade do solo foi modificada de 500 Ω m para 2500 Ω m.

De uma forma geral, a haste concretada apresentou resposta transitória superior em relação a uma haste nua de mesmo comprimento. O raio do concreto envolvente é um parâmetro que pode reduzir substancialmente o valor máximo da impedância transitória. À medida que se aumenta o raio do concreto ocorre o aumento da densidade de fluxo magnético e Z_{max} , dessa forma indicando que não é viável aumentar indefinitivamente a espessura do concreto da haste. Além disso, observou que o raio do concreto é um parâmetro que pode reduzir consideravelmente o dZ/dT (derivada da impedância transitória do aterramento) da curva da impedância transitória e consequentemente dV/dT (derivada do potencial escalar elétrico) no solo, evitando que durante a propagação do impulso da corrente no solo, surjam diferentes potenciais capazes de danificar os equipamentos e instrumentos eletrônico conectados ao aterramento.

Segundo NOGUEIRA (2006) a importância do sistema de aterramento para o adequado desempenho do sistema elétrico, tanto em regime permanente como sob condições de curtos-circuitos, à frequência industrial ou sob correntes de origem transitória, torna-se fundamental que os mesmos sejam tratados segundo análises criteriosas e coerentes, principalmente no que se refere às características elétricas do solo, sendo à utilização do sistema com neutro referenciado ao tipo de instalação e à

natureza adequada a instalação, que se tratando de estruturas de linhas de transmissão, os cabos para-raios são projetados para oferecer uma blindagem à incidência de descargas diretas nas fases.

BEZERRA (2011) relata que, se tratando de estruturas de linhas de transmissão, os cabos para-raios são projetados para oferecer uma blindagem à incidência de descargas diretas nas fases. Por sua vez, ao incidirem nesses cabos, as descargas se propagam e através das estruturas atingindo os seus sistemas de aterramento. Durante este processo, se a tensão entre fase e cabos para-raios no vão ou entre fase e estrutura, na cadeia de isoladores ou janela da torre, for suficiente para ocasionar ruptura do isolamento, ocorrerá um arco sustentado pela tensão do sistema. Neste caso, a corrente de falta irá percorrer os cabos para-raios, estruturas e escoará pelos respectivos aterramentos.

CAETANO (2017) em seu trabalho de estudo de um arranjo especial de aterramento que atenua o problema do comprimento efetivo, mostrava dois objetivos, sendo o primeiro, relacionado com a validação de uma nova malha de aterramento de baixa impedância e o segundo, relativo à validação da metodologia de cálculo de projeto da respectiva malha de aterramento. Onde em seu primeiro objetivo, as medições nos modelos implementados mostraram que a nova topologia de malha de aterramento de torres de Linhas de Transmissão é eficaz na redução da impedância de aterramento, mesmo quando o comprimento dos eletrodos utilizados no arranjo supera o comprimento efetivo e no segundo objetivo, tanto as medições em modelo reduzido quanto as medições no arranjo em escala real, foram bem representadas pelas simulações realizadas. A validação das metodologias de cálculo se deu através de comparação entre as curvas medidas e simuladas e, nessa condição, se verificou excelente concordância entre as curvas de cada um dos casos analisados em seu estudo do uso de aterramento para a proteção de sistemas elétricos, mais especificamente a proteção de linhas de transmissão de energia elétrica.

Segundo SANTANNA (2005) em seu trabalho concentrado nas instalações elétricas da Média Tensão e Baixa Tensão, com referência ao sistema de aterramento do posto de transformação, sistema de neutro multiaterrado e na proteção e aterramento das instalações elétricas do consumidor, verificou que o ponto de aterramento do terceiro pino da tomada de força, estarão conectados os pontos de aterramento de segurança dos equipamentos elétricos ou eletroeletrônicos. No ponto de aterramento de segurança dos equipamentos conectado ao DPS (Dispositivo de Proteção de Surtos), lembrou que não

é regra a existência dessa proteção, que seria o quarto estágio da cascata, que o susto elétrico é devolvido para rede elétrica, através do neutro. No ponto de aterramento, através do terceiro pino da tomada de força, que também estará conectado o dispositivo de proteção de surtos, será o terceiro estágio da cascata de protetores, sendo que esses dispositivos de proteção de surtos normalmente são as réguas de tomadas de força, utilizadas frequentemente com os ETI (Equipamento de Tecnologia da Informação).

KINDERMANN e CAMPAGNOLO (1995) definem que a resistividade do solo é influenciada por vários fatores: tipo de solo, mistura de diversos tipos de solo, solos constituídos por camadas estratificadas com profundidades e materiais diferentes, teor de umidade, temperatura, compactação e pressão, composição química dos sais dissolvidos na água retida e concentração de sais dissolvidos na água retida. Assim, solos aparentemente iguais, têm resistividade diferente. Os solos, na sua grande maioria, não são homogêneos, mas formados por várias camadas diferentes.

2.1.1 - Aterramento

Uma das funções do aterramento é direcionar fugas de correntes para terra e assim manter a segurança de pessoas e preservar o funcionamento de máquinas e equipamentos. Segundo KINDERMANN (1992), o aterramento é ligação elétrica intencional com a terra. Esta ligação visa proporcionar um meio favorável e seguro (de baixíssima resistência elétrica e robustez mecânica conveniente) ao percurso de correntes elétricas perigosas indesejáveis.

FILHO (2011) define que as instalações elétricas estão sujeitas a defeitos como falhas de isolamento de condutores ou partes energizadas que em contato com superfícies condutoras, poderão colocá-los sob um potencial elétrico diferente da terra. FILHO (2002) apresenta várias maneiras para aterrar um sistema elétrico, que vão desde uma simples haste, passando por placas de formas e tamanhos diversos, chegando às mais complicadas configurações de cabos enterrados no solo.

Principais tipos do sistema de aterramento definido por KINDERMANN (1992):

- Apenas uma haste cravada no chão;
- Hastes dispostas triangularmente;
- Hastes em quadrado;
- Hastes alinhadas;

- Placas metálicas enterradas no solo;
- Fios ou cabos enterrados no solo, formando várias configurações:
- Quadrados formando uma malha de terra: em cruz, estendido em vala e em estrela;
- Eletrodos de fundação / encapsulados em concreto.

2.1.2 - Componentes de um sistema de aterramento

A construção de um sistema de aterramento requer a utilização de acessórios disponíveis no mercado através dos fabricantes de materiais de aterramentos. Os principais acessórios que compõe o sistema de aterramento são descritos a seguir, com a Figura 2.1 apresentando um diagrama de montagem.

- Caixa de inspeção para aterramento: material tipo PVC, utilizado nos locais de conexão do aterramento;
- Condutor de aterramento: condutor que interliga o terminal de aterramento principal, ao eletrodo de aterramento;
- Eletrodo de aterramento: condutor elétrico que carrega a corrente para solo em segurança;
- Terminal de aterramento: Interligar o condutor de aterramento aos condutores de proteção, inclusive aos condutores equipotencialidade e condutores de aterramento funcional.
- Condutor de Proteção: condutor que liga as massas e os elementos condutores estranhos à instalação, entre si e/ou a um terminal de aterramento.

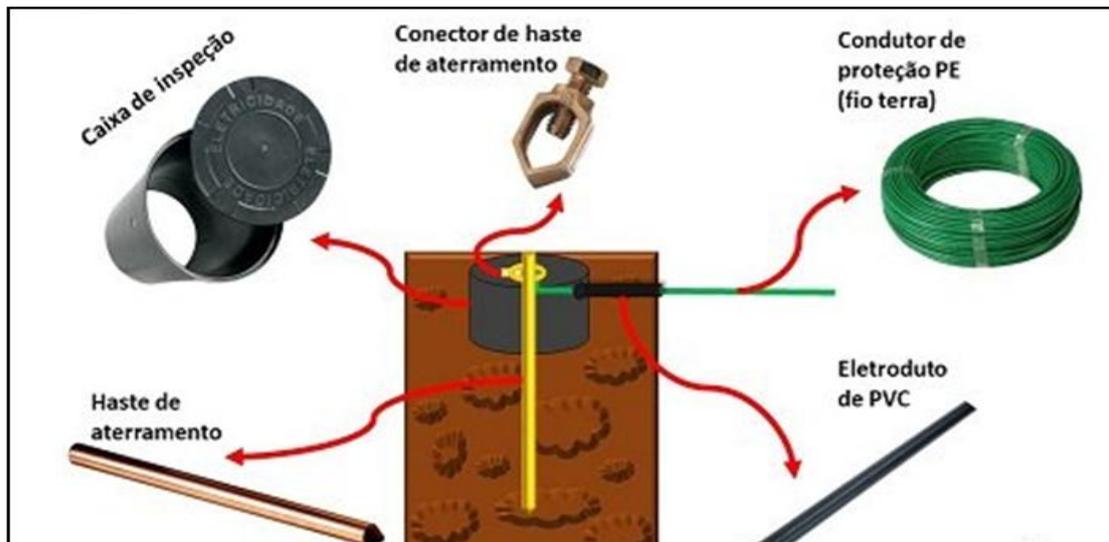


Figura 2.1 - Componentes de aterramento.
 Fonte: BENFICA e MATTE (2014).

Segundo FILHO (2002) diz que o ponto do sistema que se deseja conectar ao solo, pode ser de natureza variada. Diversos fatores podem influenciar na resistência do aterramento, bem como no seu comportamento quando submetido a correntes impulsivas, que constitui basicamente de três componentes.

- As conexões elétricas que ligam um ponto do sistema aos eletrodos;
- Eletrodos de aterramento (qualquer corpo metálico colocado no solo);
- Terra que envolve os eletrodos.

2.1.3 - Resistividade do solo

Sabe-se que quanto maior a resistividade elétrica do solo mais difícil será o caminho para passagem da corrente elétrica e quanto menor a resistividade, melhor a passagem da corrente elétrica, logo as características do solo, valor da umidade e temperatura, afetam diretamente o processo global.

Para FILHO (2002) pode-se definir a resistividade do solo (ρ) como a resistência elétrica (R) medida entre as faces opostas de um cubo de dimensões unitárias (aresta de 1 m, áreas das faces de m^2) preenchido com este solo. Sua unidade de medida é ohm ($\Omega.m$).

$$\rho = \frac{RA}{l} \tag{2.1}$$

Sendo:

ρ – Resistividade do solo;

R – Resistência elétrica;

I - Corrente elétrica;

A – Área.

KINDERMANN (1992) comenta que vários fatores podem influenciar na resistividade do solo, como:

- Tipo de solo;
- Mistura de diversos tipos de solo;
- Solos constituídos por camadas estratificadas com profundidades e materiais diferentes;
- Teor de umidade;
- Temperatura;
- Compactação e pressão;
- Composição química dos sais dissolvidos na água retida;
- Concentração de sais dissolvidos na água retida.

FILHO (2002) demonstra que vários são os fatores que influenciam na resistência de terra ou de um eletrodo ou de uma associação deles, ficando evidente que a resistividade é um forte fator. Os eletrodos, pode considerar suas dimensões, número empregado, o posicionamento relativo e o espaçamento entre eles. A seguir são mostradas as diferentes configurações de aterramento.

2.1.4 - Configurações de aterramento

Se a resistividade é um fator de influência, também o são todos aqueles fatores que determinam o seu valor.

Quanto aos eletrodos, pode-se considerar as suas dimensões, formas, número empregado, o posicionamento relativo e o espaçamento entre eles. As topologias de aterramento, são variados tipos de aterramento utilizado para estabelecer a proteção do sistema, sendo representado por formas geométricas o modelo esquemático do aterramento, seguindo padrões conforme descreve Visacro em suas edições.

- Estrela de 4 pontos colocado num plano horizontal de profundidade “d” raio do eletrodo.

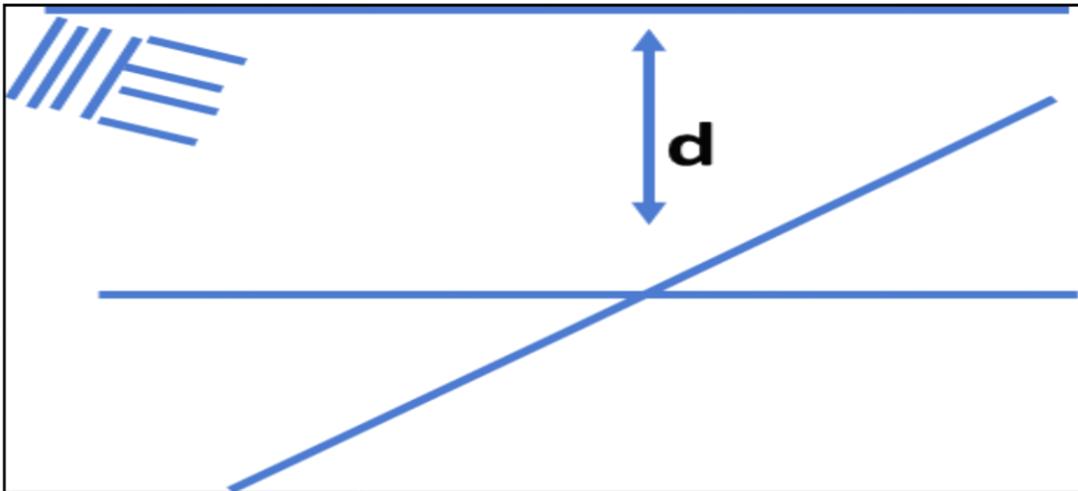


Figura 2.2 - Estrela de 4 pontos.
Fonte: VISACRO (2007).

- Número de hastes verticais dispostas em círculo ($s \gg L$).

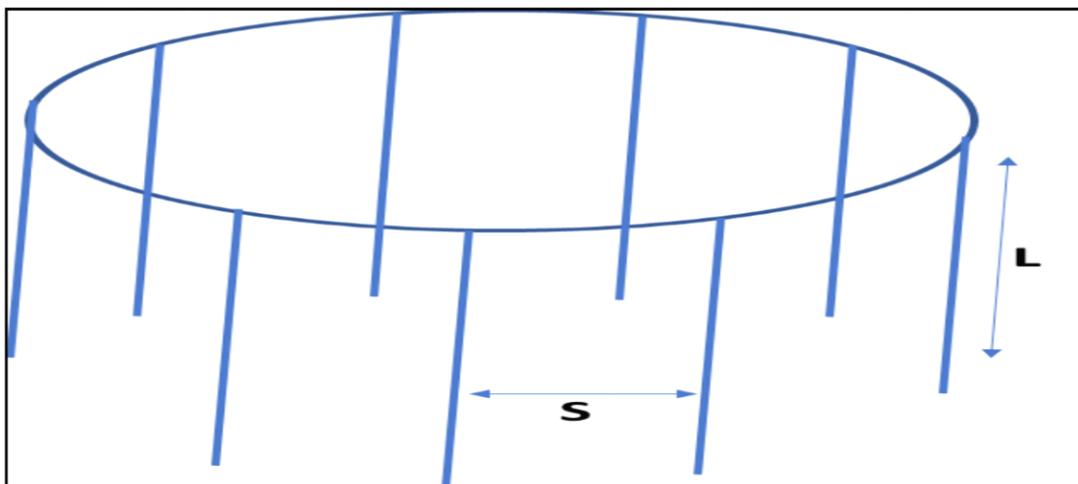


Figura 2.3 - Número de hastes dispostas em círculo.
Fonte: VISACRO (2007).

- Número de hastes verticais dispostas em linha reta ($s \gg L$).

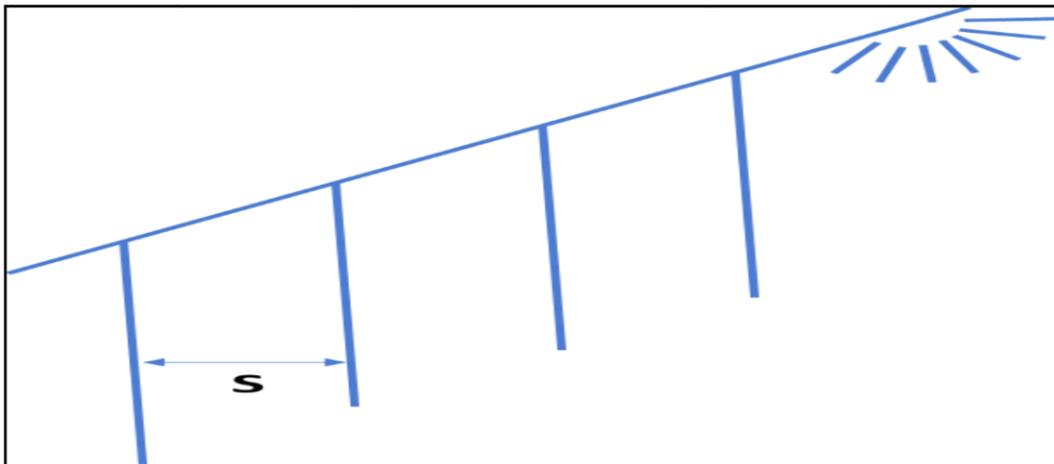


Figura 2.4 - Número de hastes linha reta.
Fonte: VISACRO (2007).

- Número de hastes verticais disposta uniformemente na área A.

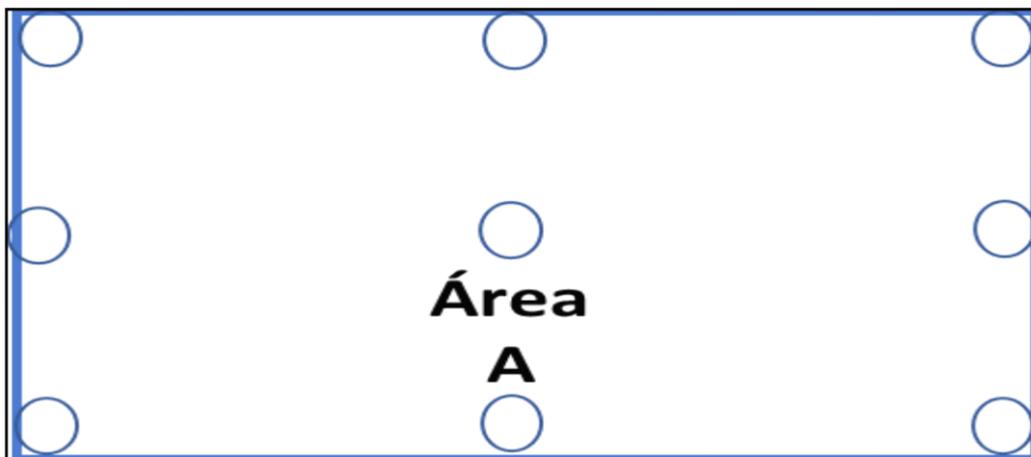


Figura 2.5 - Número de hastes uniformemente na área.
Fonte: VISACRO (2007).

- Malha constituída por reticulado formado com eletrodos horizontais, cobrindo a área A e comprimento total de condutores L.

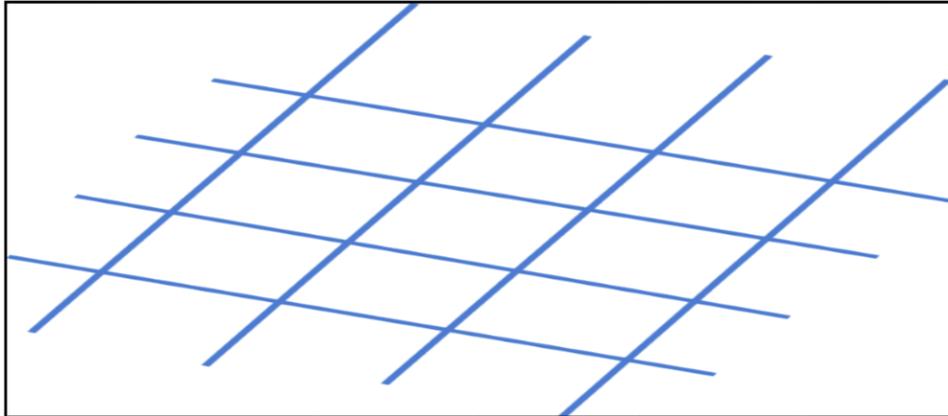


Figura 2.6 - Malha constituída com eletrodos horizontais.
Fonte: VISACRO (2007).

- Conjunto de 3 hastes interligadas, disposta ao vértice de um triangulo equilátero (aplicação típica de aterramento de para raios).

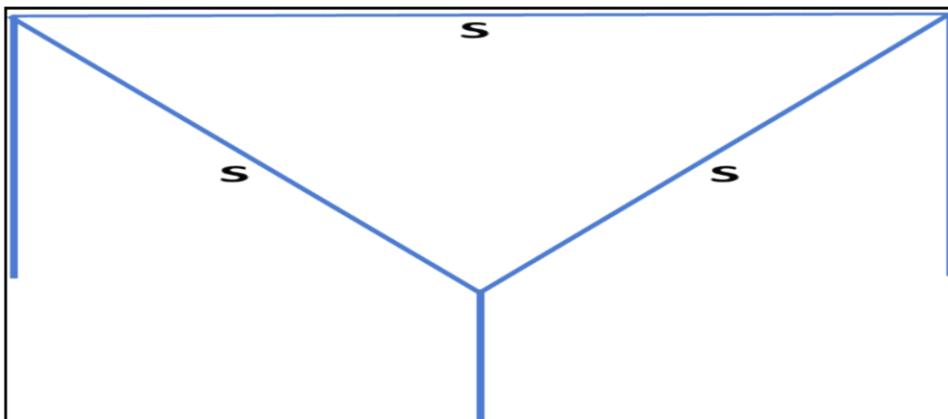


Figura 2.7 - Conjunto de 3 hastes interligadas.
Fonte: VISACRO (2007).

2.1.5 - Tratamento químico do solo

O tratamento químico do solo visa a diminuição de sua resistividade, consequentemente a diminuição da resistência ao aterramento (FILHO, 2002). O tratamento químico é empregado na correção de aterramento existente e sua eficiência (K_t) é definida, conforme Eq. (2.2).

$$K_t = \frac{R_{com}}{R_{sem}} \quad (2.2)$$

Onde:

K_t – Tratamento químico;

R_{com} – Resistência com tratamento;

R_{sem} – Resistência sem tratamento.

KINDERMANN (1992) apresenta a variação da resistência da terra com tratamento químico, com o tempo, de hastes em solos tratados e não tratados adjacentes com a Figura 2.8 apresentado seus resultados.

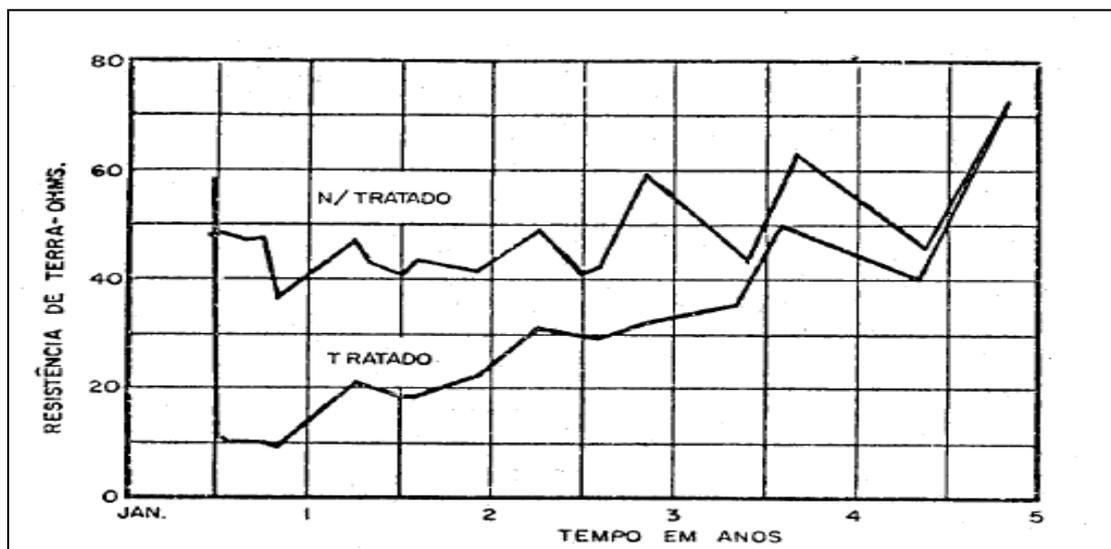


Figura 2.8 - Variação da resistência da terra.
Fonte: KINDERMANN (1992).

2.2 - TIPOS DE ATERRAMENTO

2.2.1 - Atterramento TT

O neutro da fonte é ligado diretamente ao aterramento, estando as massas da instalação ligados a eletrodo de aterramento independente da fonte.

ABNT NBR 5410:2004, comenta que o esquema TT possui um ponto da alimentação diretamente aterrado, estando as massas da instalação ligada(s) a eletrodo(s) de aterramento eletricamente distinto(s) do eletrodo de aterramento da alimentação. Durante a falta, o percurso da corrente fase massa inclui a terra, limitando

o valor da corrente devido ao alto valor da resistência de terra. A Figura 2.9 apresenta um esquema desse tipo de aterramento.

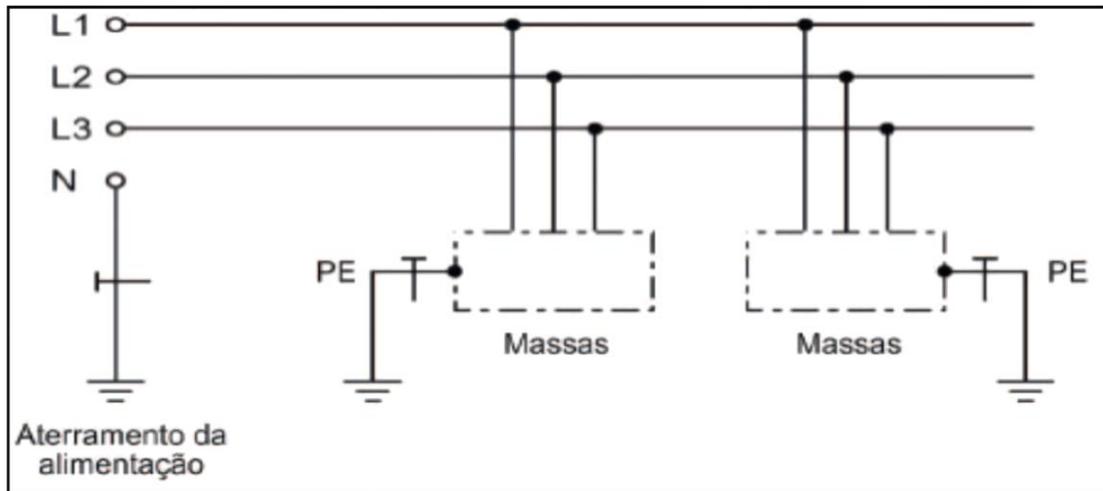


Figura 2.9 - Sistema TT.
Fonte: ABNT NBR 5410:2004.

Quando o neutro da fonte está ligado diretamente no aterramento, estando as massas da instalação, ligados a este mesmo ponto por condutores metálicos, o percurso da corrente fase é de baixa impedância e a corrente pode atingir elevados valores suficientes para o seccionamento do sistema de proteção.

2.2.2 - Aterramento TN

ABNT NBR 5410:2004, 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, conforme a Figura 2.10.

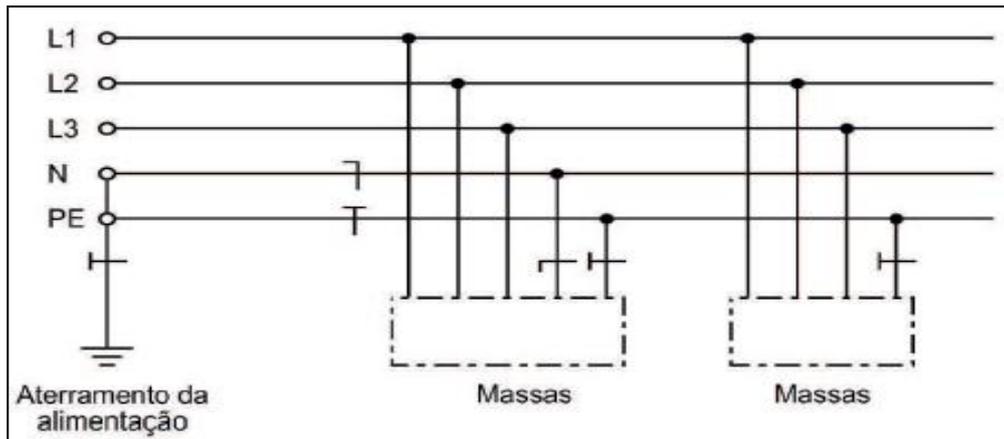


Figura 2.10 - Sistema TN.
 Fonte: ABNT NBR 5410:2004.

2.2.3 - Aterramento IT

O esquema IT parecido com aterramento da fonte, através da inserção de uma impedância de valor elevado, limita-se a corrente da falta a um valor desejado, de modo a não permitir que a primeira falta, desligue o sistema.

Geralmente essa corrente não é perigosa para as pessoas, mais como a instalação estará operando em condição de falta, devem ser adotadas dispositivos para monitorar a isolação dos condutores.

ABNT NBR 5410:2004, diz que no esquema IT Conforme mostrado na Figura 2.11 a seguir, todas as partes vivas são isoladas da terra ou o ponto de alimentação é aterrado por impedância. O bloco de montagem é aterrado, vendo as seguintes possibilidades: (i) o bloco de aterramento no mesmo eletrodo de aterramento da fonte de alimentação e (ii) o bloco aterrado no respectivo eletrodo de aterramento sem a fonte de alimentação de aterramento do eletrodo de aterramento, ou devido a qualidade o eletrodo de aterramento do bloco é independente do eletrodo de aterramento da fonte de alimentação.

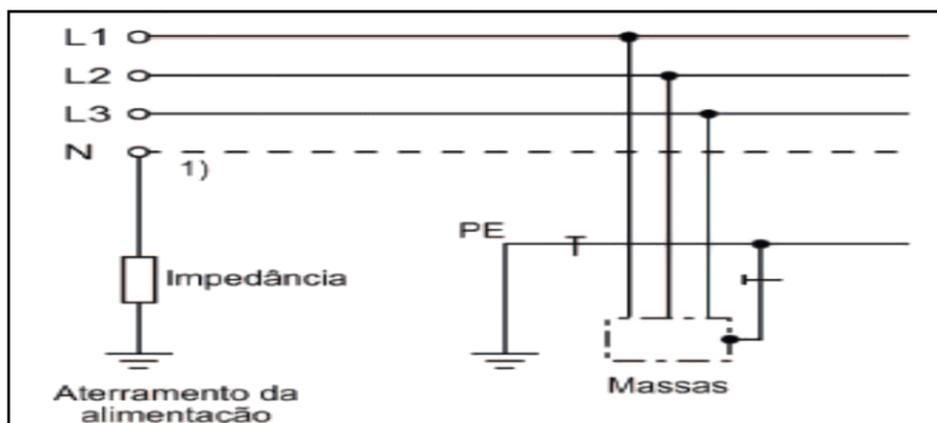


Figura 2.11 - Sistema IT.
 Fonte: ABNT NBR 5410:2004.

2.2.4 - Materiais para aterramento

O sistema de aterramento deve ser sempre dimensionado, levando em conta a segurança das pessoas e a sensibilidade das máquinas e equipamentos. O projeto do sistema de aterramento deve ser desenvolvido de acordo com normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

A Tabela 2.1 traz um demonstrativo dos tipos de eletrodos e suas estruturas, dimensões mínimas e máxima dos eletrodos e quanto a sua profundidade.

Tabela 2.1 - Eletrodos de aterramento.

Tipo de eletrodo	Dimensões mínimas	Observações
Tubo de aço zincado	2,40 m de comprimento e diâmetro nominal a 25 mm	Enterrado totalmente vertical
Perfil de aço zincado	Cantoneira de (20 mm x 20 mm x 3 mm) com 2,40 m de comprimento	Enterrado totalmente vertical
Haste de aço zincado	Diâmetro de 15 mm com 2 m ou 2,40 m de comprimento	Enterrado totalmente vertical
Haste de aço revestida de cobre	Diâmetro de 15 mm com 2 m ou 2,40 m de comprimento	Enterrado totalmente vertical
Haste de cobre	Diâmetro de 15 mm com 2 m ou 2,40 m de comprimento	Enterrado totalmente vertical
Fita de cobre	25 mm ² de secção 2 mm de espessura e 10 m de comprimento	Profundidade mínima de 0,60. Largura na posição vertical
Fita de aço galvanizado	10 mm ² de secção 3 mm de espessura e 10 m de comprimento	Profundidade mínima de 0,60. Largura na posição

		vertical
Cabo de cobre	25 mm ² de secção e 10 m de comprimento	Profundidade mínima de 0,60. Largura na posição vertical
Cabo de aço zincado	95 mm ² de secção e 10 m de comprimento	Profundidade mínima de 0,60. Largura na posição vertical
Cabo de aço cobreado	50 mm ² de secção e 10 m de comprimento	Profundidade mínima de 0,60. Largura na posição vertical

2.2.5 - Seção de condutores

Os condutores devem ser dimensionados conforme o circuito, realizando o cálculo da corrente, que é a corrente de um circuito, seja terminal ou de distribuição, levando em conta sua característica nominal.

Na Tabela 2.2, podemos conhecer as seções e os tipos de condutores utilizados nos sistemas de aterramento.

Tabela 2.2 - Seção de condutores.

Proteção	Proteções contra danos mecânicos	Não protegido contra danos mecânicos
Proteção contra corrosão	- Cobre 2,5 mm ² - Aço 10 mm ²	- Cobre 16 mm ² - Aço mm ²
Não protegido contra corrosão	- Cobre: 50 mm ² (solos ácidos ou alcalinos) - Aço: 80 mm ²	
Seção dos condutores de fase mm ²		Seção mínima do condutor de proteção correspondente
S < 16		S
S < S < 35		16
S > 35		S/2

2.3 - CHOQUE ELÉTRICO

Os efeitos fisiológicos da corrente elétrica, são os efeitos da corrente sobre o corpo humano, sendo analisado em dois aspectos, corrente elétrica de baixa intensidade e alta intensidade.

KINDERMANN (1992), comenta que o choque elétrico é a perturbação da natureza e efeitos diversos que se manifesta no organismo humano ou animal quando este é percorrido por uma corrente elétrica.

Os acidentes a qual as pessoas estão submetidas, principalmente profissionais que operam máquinas e equipamentos durante as construções e manutenções, é o choque por contato acidental, deixando o corpo eletrizado e sob tensão, fase e terra. Sabe-se que é a corrente elétrica é que pode levar a pessoa à morte, o contato direto com a massa, estabelece uma diferença de potencial entre dois pontos do corpo humano.

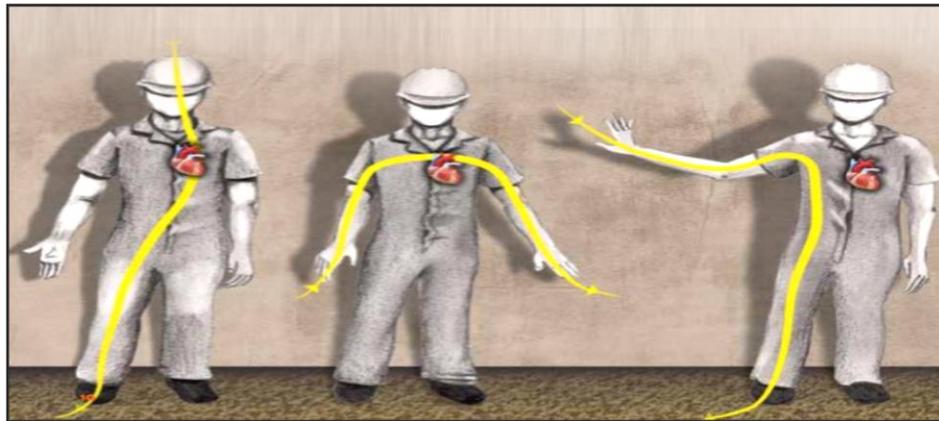


Figura 2.12 - Passagem da corrente elétrica.
 Fonte: CARTILHA CONTRA CHOQUES ELÉTRICOS (2018).

A Figura 2.12 mostra a classificação do choque elétrico em 4 zonas, quando circulado no corpo, baseado na intensidade da corrente e no tempo de exposição do corpo à corrente, já as curvas que vai de 01 a 03, mostra o efeito da fibrilação ventricular quando exposto a corrente.

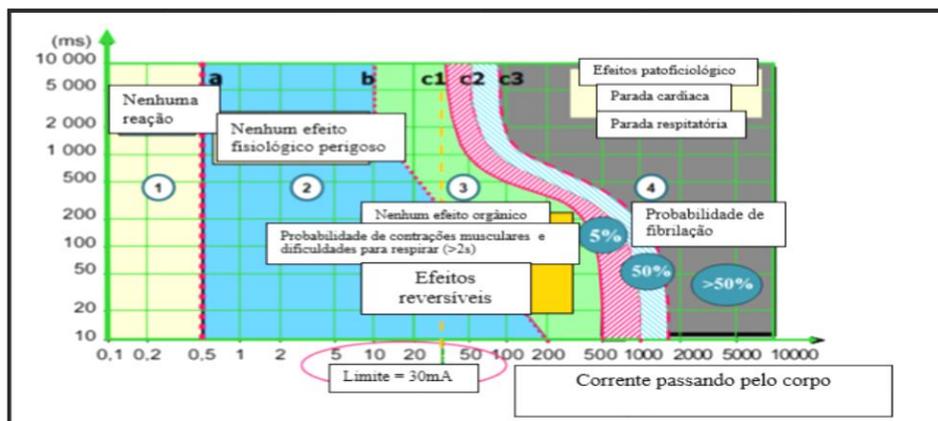


Figura 2.13 - Zonas de intensidade e tempo da corrente.
 Fonte: IEC 60479-1(2018).

De acordo com as Zonas, é possível verificar a circulação no corpo humano, defino pelo risco e seus efeitos, conforme segue abaixo.

- **Zona 1** – Imperceptível: As correntes de até 0,5 mA não causam efeitos no corpo;
- **Zona 2** – Perceptível: Esta zona delimita a intensidade e o tempo de exposição no qual a pessoa sentirá a sensação do choque, mas sem haver risco à saúde;
- **Zona 3** – Reações reversíveis: Esta zona delimita a intensidade e o tempo de exposição no qual a pessoa terá contração muscular, gerando um risco de ficar presa ou causar outro acidente como consequência;
- **Zona 4** – Possibilidade de efeitos irreversíveis: Esta zona apresenta a região na qual há risco à vida.
- **Curva C1:** Não há risco de fibrilação ventricular;
- **Curva C2:** Há 5% de chance de ocorrer fibrilação ventricular;
- **Curva C3:** Há 50% de chance de ocorrer fibrilação ventricular.

A gestão de segurança das instalações, precisam de ferramentas e recursos poderosos, medidas administrativas relacionadas ao controle e sistema de prevenção definitivamente com base na certificação padrão País (regulamentos e tecnologia) e Padrões internacionais. No entanto, observa-se em estudos que principalmente empresas de pequeno porte não estão tendo tanto cuidado com sua instalação elétrica se supondo que sejam passivos de eventuais acidentes envolvendo descargas elétricas (HERING, 2017).

Nesse sentido também se observa empresas com documentações que descrevem algo que não condiz com a realidade, como se as instalações e equipamentos estão guardados de maneira correta, porém não é bem assim. Um arquivo é real se representar uma verdade confiável se não portanto, este é um documento falso (BEZERRA, 2011).

Qualquer observador com o mínimo de treinamento em manutenção elétrica pode facilmente descobrir que a empresa considera o equipamento seguro, e que existem vários tipos de anormalidades, em última análise, esses fenômenos anormais irão promover acidentes a quem lida com eles todos os dias (ALMEIDA, 2008).

O estudo realizado por SCHOONENBERG (2018), foi observado que quase todas as empresas brasileiras têm os seguintes problemas citados a seguir:

- Áreas vivas expostas com ausência de empecilhos ou obstáculos;

- Sinal é fraco ou inexistente e não há dispositivo diferencial residual no circuito na área úmida;
- O bloco de metal condutor não tem aterramento equipotencial e é não se destina à condução;
- Instalação de cabos com a borda é afiada;
- O raio de curvatura do condutor é bastante reduzido;
- Armazenamento de itens que guarda os combustíveis são especialmente papel e plástico em gabinetes elétricos;
- Armazenamento incorreto nesses gabinetes;
- Uso de fusíveis com correntes nominais diferentes no mesmo circuito;
- Nenhum dispositivo que permita o travamento e identificação;
- Eletricistas estão expostos a outros equipamentos elétricos perigos (como trabalhar em altura);
- Iluminação insuficiente, espaço de manutenção limitado e eletricistas devem adotar posturas inadequadas no local de trabalho;
- Quadros e painéis elétricos são mantidos desbloqueados e podem ser acessados por pessoas descuidadas;
- O equipamento tem manutenção insuficiente.

Diante disso observa-se a necessidade da padronização dos serviços de aterramento visando uma maior qualidade nos serviços além de melhorias para a gestão física e financeira da empresa, sendo assim o próximo capítulo descreve o percurso realizado em campo para elaboração do trabalho, descrevendo o mesmo de maneira minuciosa para maior entendimento.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - METODOLOGIA UTILIZADA DURANTE ESTUDO

Este estudo mostra como se encontra os aterramentos utilizados para proteção de pessoas, máquinas e equipamentos, durante a operação no canteiro de obra.

A NBR 5410 (2008) retrata que a infraestrutura dos aterramentos deve ser concebida de modo que seja confiável e satisfaça os requisitos de segurança das pessoas. Possa conduzir correntes de falta à terra sem risco de danos térmicos, termomecânicos e eletromecânicos, ou de choques elétricos causados por essas correntes e quando aplicável, atenda também aos requisitos funcionais da instalação.

A NBR 5410 (2008) não determina um valor para se ter um aterramento ideal, porém as características de montagem e de utilização dos materiais, encontram-se bem definidos em sua estrutura, considerando as hastes, conectores e fios e dentro de uma escala, aproximado de “0”. Foi realizada inspeção visual de todo sistema que contempla os elementos do aterramento, a fim de verificar as possíveis falhas durante os testes e logo após inspeção se deu início aos ensaios com os instrumentos de medições e outros mecanismos indiretos de aferições.

A Tabela 3.1 é o demonstrativo de máquinas e equipamentos disponível no canteiro de obras em operação, que será realizado as análises.

Tabela 3.1 - Guia das máquinas e equipamentos.

Máquinas	Equipamento
Máquina de solda	Guindaste
Torre de iluminação	
Gerador	

3.1.1 - Preparação para análise experimental

Os experimentos foram realizados no canteiro de obras, conforme guia das máquinas e equipamentos que iriam ser inspecionados e necessitou de uma preparação antecipada, como:

- Verificação do local onde estavam posicionados o conjunto de aterramento nas máquinas e equipamentos, para avaliações das medições de acompanhamento da performance do aterramento;
- Condições do aterramento e materiais;
- Preparação dos aparelhos de medições:
 1. Terrômetro Hikari HTR 770;
 2. Alicates Terrômetro Digital HM-1000^a;
 3. Miliohmímetro Digital HMMD-1.

3.1.2 - Aterramento de máquina de solda

A Figura 3.1 representa a condição do aterramento utilizado nas máquinas de solda no canteiro de obras durante os experimentos.



Figura 3.1 - Aterramento de máquina de solda.

3.1.3 - Aterramento da torre de iluminação



Figura 3.2 - Aterramento de torre de iluminação.

3.1.4 - Aterramento do gerador

A Figura 3.3 representa a condição do aterramento utilizado no gerador de energia elétrica no canteiro de obras, durante os experimentos.



Figura 3.3 - Aterramento de gerador.

3.1.5 - Aterramento de guindaste

A Figura 3.4 representa a condição do aterramento utilizado nos guindastes no canteiro de obras, durante os experimentos.



Figura 3.4 - Aterramento de guindaste.

3.2 - APARELHOS DE MEDIÇÃO

Foi utilizado os seguintes instrumentos para análise e medição dos aterramentos, conforme segue:

- Terrômetro Hikari HTR 770

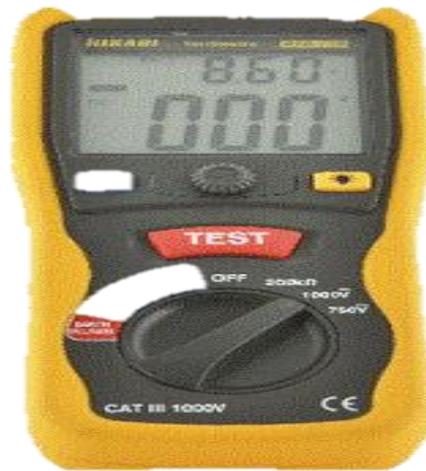


Figura 3.5 - Terrômetro.

- Alicates Terrômetro Digital HM-1000^a



Figura 3.6 - Alicates terrômetro.

- Miliohmímetro Digital HMMD-1



Figura 3.7 - Terrômetro.

Os aparelhos acima demonstrado através das figuras, a exemplo do terrômetro de 4 Bornes HMTR-20 Highmed, por ser um equipamento apropriado até para os locais com alta resistividade do solo, é um medidor de resistência de aterramento e resistividade do solo, utilizado para verificação do aterramento durante a realização dos testes, para verificação do aterramento utilizado nas máquinas e equipamentos.

3.3 - ANÁLISE DA RESISTIVIDADE DO SOLO

A NBR 7117 (NB716) de 07/2012 – Medição da resistividade e determinação da estratificação do solo estabelece os requisitos para medição da resistividade e determinação da estratificação do solo. Sendo esta influenciada por vários fatores, onde a umidade e os sais dissolvidos na água que se encontram no solo, são fatores que têm potencial na influência do valor da resistividade do solo.

A resistividade do solo é uma medida de quanto o solo resiste ao fluxo de eletricidade. É um fator crítico na concepção de sistemas que dependem da passagem de corrente através da superfície terrestre. A compreensão da resistividade do solo e a sua variação com a profundidade no solo, é necessária para projetar o sistema de aterramento.

Devido a vários fatores, o solo não é homogêneo, e sua resistividade varia com a profundidade.

A propriedade mais importante do solo é a capacidade de retenção da umidade, influenciada pela porosidade do terreno que permite a passagem de altas correntes.

3.4 - ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO

O cobre, usualmente utilizado nos aterramentos, pode apresentar sérios efeitos de corrosão na presença de estruturas de ferro ou aço que estão eletricamente conectadas a ele, o problema é por causa da corrosão Galvânica que acontece quando dois metais diferentes, imersos em um meio apropriado (eletrólito), formam uma pilha. A posição relativa de cada metal na série eletromotiva determina a diferença de potencial presente entre os dois metais e que é a responsável pela circulação de uma corrente que sai do aço (ânodo), vai para o solo e entra no cobre (cátodo) (PROCOBRE, 2015).

Para a medição da resistência de aterramento da haste, foi utilizado o instrumento de medir resistência de terra, analógico.

Utilizando o termômetro para análise do aterramento, foi verificado todo aterramento já instalado nas máquinas e equipamentos, desligado o cabo terra interligado nas máquinas e equipamentos, deixando apenas as hastes interligado no termômetro e hastes auxiliares de corrente e potencial, utilizando método de três polos foi iniciado os testes e análise do aterramento.

3.5 - SIMULAÇÕES DE TENSÕES

As simulações foram realizadas com sentido de uma fuga de corrente, onde foi instalado o instrumento e verificado que o aterramento apresenta vários momentos, durante a simulação.

Durante análise foi utilizado uma fase a da máquina de solda para simular a corrente de fuga para o aterramento, uma vez que a análise era de caráter experimental e não uma corrente de fuga das máquinas e equipamentos.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - VALORES DA RESISTIVIDADE DO SOLO

Ao ser iniciado as verificações foi identificado que no local não existia malha de aterramento ou Sistema de Proteção Contra Descarga Atmosférica (SPDA). Durante a análise foi preparado todo aterramento no local para verificar a resistividade do solo, uma vez que o cenário foi montado para esta análise, instalado as hastes interligadas no instrumento de resistividade Miliohmímetro Digital, os cabos potenciais nas hastes de potencial e os cabos correntes nas hastes externas e analisados os seguintes valores em ohm.

A primeira visita no local pode se observar uma variação de não conformidades, nesse caso o aterramento não estava preparado, apenas uma haste de eletrodo interligado aos equipamentos estava conectada ao solo cerca de 10 cm de profundidade.

Durante os testes pode-se observar que aparentemente o solo arenoso, é um solo apropriado para implantar o sistema de aterramento, conforme os valores observados na Tabela 4.1, sem a necessidade de preparação do solo. Como pode-se observar a tabela apresenta valores em conformidades segundo as normas técnicas NBR 7117, apresentando assim um solo favorável para implantação do sistema de aterramento.

Tabela 4.1 - Valores típico da resistividade.

LOCAL	MEDIÇÃO 1 (Ω)	MEDIÇÃO 2 (Ω)	MEDIÇÃO 3 (Ω)	MEDIÇÃO 4 (Ω)	Resistividade Média
Máquina de solda	33,2 (Ω)	40 (Ω)	39,6 (Ω)	33,2 (Ω)	36,5 (Ω)
Torre de Iluminação					
Gerador					
Guindaste					

4.2 - RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO DA HASTE

Na Tabela 4.2 os valores constantes na coluna “Prioridades de Manutenção” são orientações teóricas para check em manutenção. Os intervalos citados não consideram parâmetros importantes tais como criticidade das máquinas e equipamentos no processo produtivo.

Durante a análise do aterramento, vai ser proposto sugestões para adequação conforme a norma, a tabela mostra prioridade, porém serve apenas de base para avaliação durante o estudo.

Tabela 4.2 - Prioridade.

Tabela de Prioridades		
Tabela – Critério Flexível para Componentes Avariados		
Severidade	Nível de Variação	Prioridades de Manutenção
Normal	Verde	0,0 a 3,5 Ω Normal
Regular	Amarelo	21,0 Ω Acompanhar Evolução
Irregular	Vermelho	Ω realizar manutenção

4.3 - ANÁLISE DAS MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS

A medição das máquinas e equipamentos foi realizada no canteiro de obras, com a utilização de instrumentos de medição calibrados. A medição foi realizada por profissional de elétrica que atua na área, como profissional autônomo.

Durante a inspeção foi constatado por medição “ Ω ” ôhmica que não há continuidade no aterramento, a malha se encontrava ou desconectada, necessitando assim de uma adequação, com o objetivo de manter a segurança eficaz do aterramento. A análise do aterramento, foi identificado que os resultados obtidos conforme a planilha de dados do aterramento, inspeção no local das máquinas e equipamentos, apresenta-se anormal, os condutores são de vários tipos, não possui conectores, para interligar o cabo no eletrodo, é utilizado garras para conectar cabos de solda.

O local do aterramento das máquinas de solda é úmido, o local não foi preparado, o local não possui malha de aterramento. A análise através da tabela de prioridades, foi classificado como prioridade ALTA, a realização da adequação do aterramento, visto que gera risco para pessoas, máquinas e equipamentos.

Já no aterramento da iluminação, só tinha o cabo do aterramento em pedaço de haste, o local estava encharcado, lama no local, devido ao período chuvoso, que através da tabela de prioridades, foi classificado como prioridade ALTA, a realização da adequação do aterramento, visto que gera risco para pessoas, e o funcionamento da máquina.

O aterramento do gerador foi verificado que não possui conector, apenas uma fita isolante sobre o cabo terra no eletrodo de aterramento. O eletrodo foi cortado, possui apenas cerca de 30 cm, totalmente descaracterizado de sua forma, conforme a norma, o local possui vegetação, foi cravado cerca de 0,5 a 10 cm, no solo, caracterizando um aterramento desprovido e sem atendimento a norma. Foi classificado como prioridade ALTA, a realização da adequação do aterramento, visto que gera risco para pessoas, e o funcionamento do equipamento.

O aterramento do guindaste, este foi mensurado, porém, o aterramento foi qualificado não atendido, pelos menos aos parâmetros mínimo da norma, visto que a situação do cabo, eletrodo e a garra utilizado para interligar o cabo no eletrodo, apresentava-se com um aterramento inadequado. Foi classificado como prioridade ALTA, a realização da adequação do aterramento, visto que gera risco para pessoas, e em caso de contato com fontes externas e descarga de raios, o aterramento não funcionaria com proteção ou meio de passagem para terra.

Dentro do canteiro não possui um padrão de aterramento, projeto e responsável técnico. O problema torna se mais generalizado, visto que a preparação do aterramento, as análises e medições obtidas, todos caracterizaram fora de um padrão ideal, conforme a norma, não possui projeto e responsável técnico pelos aterramentos e a fixação fica a critério do eletricitista e operador das máquinas e equipamentos.

Notou-se diante de todos os resultados obtidos através das análises e por meio de equipamentos específicos, que é de suma importância considerar que, no momento existe a necessidade IMEDIATA de manutenção nas instalações visitadas, pois sem as garantias do sistema não é possível assegurar proteção das pessoas, máquinas e equipamentos. Os indicadores utilizados como referências para essa constatação foram obtidos pelas análises coletadas pelos instrumentos de medição.

4.3.1 - Análise do aterramento da máquina de solda

As máquinas de solda disponíveis nas frentes de serviço para realizar atividades de solda, habitualmente acondicionadas em casinhas contra intemperes, suas estruturas metálicas e coberto com telhas galvanizadas, condutores de eletricidade, apresentaram valores anormais durante a análise do seu aterramento, falha na conexão do aterramento e uma variação de valores, sendo classificado com uma prioridade ALTA para manutenção de seu aterramento, conforme a Tabela 4.2 de prioridades. A Tabela 4.3 mostra os valores e condições do aterramento.

Tabela 4.3 - Análise do aterramento da máquina de solda.

Máquina de solda			
DESCRIÇÃO TÉCNICA			
Data: 02/02/2020	Resist. Mín: 0,17 Ω	T. Amb: 32°C	Corrente Min: 0,10 mA
DADOS DE ATERRAMENTO			
Informações sobre o componente: Cabo, conector e haste de aterramento Defeito: Falhas de conexão e Aterramento Tipo de componente: Aterramento Prioridade do Sistema: ALTA	Medições Encontradas		
	Parâmetros	Valor	Status
	C. Máx (I)	4.2 A	Anormal
	Res. Máx (Ω)	36,6 Ω	Anormal
	Isolação	∞	Anormal
	* Valores de medição anormais		
	* Conectores mal conectados		
* Variação de valores			

4.3.2 - Análise do aterramento da torre de iluminação

Torre de iluminação, máquinas que tem sua própria geração de energia, transformando energia mecânica em elétrica, utilizado nas atividades noturnas, por possuir um conjunto de refletores e praticidade durante seu deslocamento, sua estrutura toda metálica, também apresenta valores anormais durante a análise do seu aterramento, falha na conexão do aterramento e uma variação de valores, sendo classificado com uma prioridade ALTA para manutenção de seu aterramento, conforme a tabela de prioridades. Em pontos específicos, conforme análise, foi encontrado condutor de aterramento com rupturas ou sem conexão. Por meio de medição ôhmica, constatou-se que não houve continuidade de malha de aterramento, onde os cabos estavam mal conectados conforme a Tabela 4.2. A Tabela 4.4 mostra os valores e condições do aterramento.

Tabela 4.4 - Análise do aterramento da torre de iluminação.

Torre de iluminação			
DESCRIÇÃO TÉCNICA			
Data: 02/02/2020	Resist. Min: 0,54 Ω	T. Amb: 32°C	Corrente Min: 0,12 mA
DADOS DE ATERRAMENTO			
Informações sobre o componente: Cabo, conector e haste de aterramento Defeito: Falhas de conexão e Aterramento Tipo de componente: Aterramento Prioridade do Sistema: ALTA	Medições Encontradas		
	Parâmetros	Valor	Status
	C. Máx (I)	3.1 A	Anormal
	Res. Máx (Ω)	47,6 Ω	Anormal
	Isolação	∞	Anormal
	* Valores de medição anormais		
* Conectores mal conectados			
* Variação de valores			

4.3.3 - Análise do aterramento do gerador

Equipamento utilizado nas frentes de serviço para gerar energia elétrica, tem seu funcionamento com motor a diesel, possuem quadro de comando em seu corpo, apresenta a resistência normal, porém apresenta falhas na conexão do aterramento e a isolação anormal, sendo classificado com uma prioridade ALTA para manutenção de seu aterramento, conforme a tabela de prioridades.

Para esta análise foi verificado uma descontinuidade, visto que o cabo que estava interligando a haste de aterramento, estava fixado com fita isolante conforme Tabela 4.2. A Tabela 4.5 mostra os valores e condições do aterramento.

Tabela 4.5 - Análise do aterramento do gerador.

Gerador			
DESCRIÇÃO TÉCNICA			
Data: 02/02/2020	Resist. Min: 6,4 Ω	T. Amb: 31°C	Corrente Min: 2,1 mA
DADOS DE ATERRAMENTO			
Informações sobre o componente: Cabo, conector e haste de aterramento	Medições Encontradas		
	Parâmetros	Valor	Status
Defeito: Falhas de conexão e Aterramento	C. Máx (I)	5.8 A	Anormal
	Res. Máx (Ω)	10,1 Ω	Normal
Tipo de componente: Aterramento	Isolação	∞	Anormal
Prioridade do Sistema: ALTA	* Valores de medição anormais		
	* Conectores mal conctados		
	* Variação de valores		

4.3.4 - Análise do aterramento do guindaste

Guindaste, equipamento utilizado para a elevação e a movimentação de cargas e materiais pesados, tendo seu aterramento não conforme, uso de garras negativas, utilizado em máquinas de solda, falha na conexão do aterramento, sendo o aterramento classificado com uma prioridade ALTA para manutenção, conforme a tabela de prioridades 4.2. A Tabela 4.6 mostra os valores e condições do aterramento.

Tabela 4.6 - Análise do aterramento do guindaste.

Guindastes			
DESCRIÇÃO TÉCNICA			
Data: 02/02/2020	Resist. Min: 12,8 Ω	T. Amb: 31°C	Corrente Min: 1,4 mA
DADOS DE ATERRAMENTO			
Informações sobre o componente: Cabo, conector e haste de aterramento	Medições Encontradas		
	Parâmetros	Valor	Status
Defeito: Falhas de conexão e Aterramento	C. Máx (I)	4,9 A	Anormal
	Res. Máx (Ω)	76,5 Ω	Normal
	Isolação	100	-
Tipo de componente: Aterramento	* Valores de medição anormais		
	* Conectores mal conectados		
	* Variação de valores		
Prioridade do Sistema: ALTA			

4.4 - RESISTIVIDADE DO SOLO

A NBR 7117 (NB716) de 07/2012, que trata da medição da resistividade e determinação da estratificação do solo estabelece os requisitos para medição da

resistividade e determinação da estratificação do solo. A resistividade do solo é uma medida de quanto o solo resiste ao fluxo de eletricidade. É um fator crítico na concepção de sistemas que dependem da passagem de corrente através da superfície terrestre. A compreensão da resistividade do solo e a sua variação com a profundidade no solo é necessária para projetar o sistema de aterramento como por exemplo em uma subestação elétrica ou para condutores de raios.

O valor da resistividade obtido através da estratificação dos valores medidos nos eletrodos de aterramento cravados cerca de 10 cm no solo, não atendendo no tamanho da barra e a cravação no solo, conforme os valores obtidos conforme a tabela 4.1 de resistividade.

4.5 - PROPOSTA PARA ATERRAMENTO

Foi estabelecido uma cadeia de ajuda para se implantar o aterramento a partir do planejamento, visto que é onde se tem a programação e a necessidade de realização das atividades, a partir de cada fase e avanço da obra, durante operação das máquinas e equipamentos.

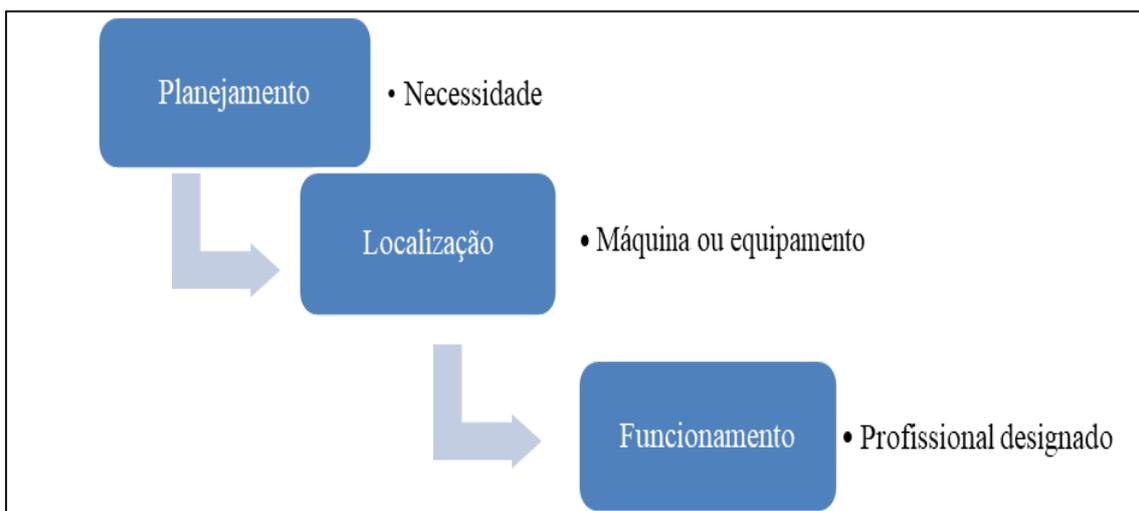


Figura 4.1 - Cadeia de ajuda.

Para adequação, a proposta para se manter um aterramento em funcionamento, com seus respectivos aspectos conforme a norma, a proposta durante todo estudo desse trabalho, foi propor uma adequação do aterramento dentro do canteiro, fixado um padrão e uma estrutura mínima para o aterramento. Foi proposto posicionar nos quatros do canteiro conforme a Figura 4.2, caixas com sistemas de aterramento interligado e o

disponibilizado o KIT aterramento temporário, para área operacional fazer a utilização durante operação das máquinas e equipamentos.

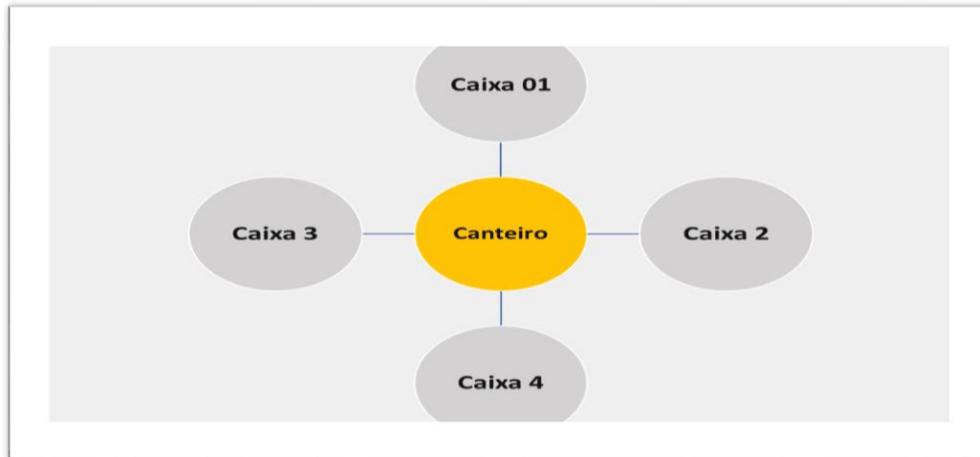


Figura 4.2 - Sistema de interligação de aterramento.

Para atendimento a NR 10, item 10.2.8.3, o aterramento das instalações elétricas deve ser executado conforme regulamentação estabelecida pelos órgãos competentes e, na ausência desta, deve atender às Normas Internacionais vigentes e visando atender e padronizar o aterramento a ser utilizado no canteiro, foi proposto o Kit aterramento temporário conforme a Figura 4.3.

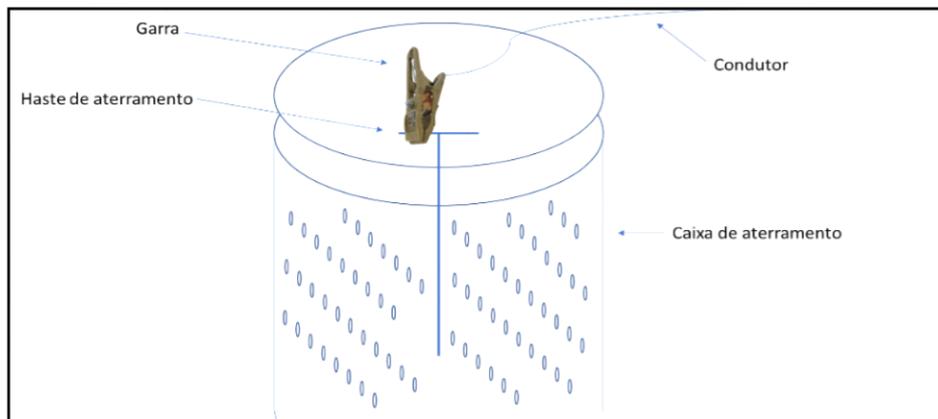


Figura 4.3 - Sistema de interligação de aterramento.

Considerando que os acidentes vão trazer prejuízos à saúde dos trabalhadores, custos econômicos diretos e indiretos e redução da produtividade, recomenda-se a realização de atividades e/ou ações educativas, como evitar que haja materiais suficientes no canteiro de obras, mas não há informações sobre o método de uso correto; essas atividades podem eliminar ou evitar problemas de aterramento ou elétricos e

padrões abertos, além de fornecer informação e treinamento aos trabalhadores da construção civil, as principais partes relacionadas à prevenção de choques elétricos estão relacionadas aos procedimentos de montagem, operação e manutenção de instalações elétricas provisórias em canteiros de obras. A DR (disjuntor residual) é obrigatória, o equipamento é uma medida adicional e, como meio indispensável, deve ser incluído na proteção complementar dos equipamentos elétricos de baixa tensão.

Pode-se observar também que as empresas que possuem PCMAT (Programa de Condições e Meio Ambiente de Trabalho) e continuam verificando e cumprindo a política do PCMAT (Programa de Condições e Meio Ambiente de Trabalho), conforme mostra SCHOONENBERG (2018), dificilmente sofrerão acidentes, para que possamos ver locais de trabalho mais produtivos, organizar o layout e não preparar para vias de tráfego congestionadas, equipes bem treinadas e condições sociais adequadas. Além de um local seguro, tudo isso pode melhorar a imagem corporativa do consumidor perante os concorrentes.

Para melhorar a qualidade e a produtividade das edificações civis, é extremamente importante melhorar as condições de segurança do trabalho, pois é impossível para uma empresa ignorar a vida de seus produtores e ao mesmo tempo prestar um serviço de excelência. No entanto, diferentes tipos de projetos, a falta de equipes de produção de segurança profissional, o caráter temporário das instalações de canteiro de obras e a alta mobilidade de mão de obra neste setor são fatores que dificultam a produção segura e a manutenção da segurança.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 - CONCLUSÕES

A proposta do trabalho em busca dos resultados e objetivos foi iniciada mediante a verificação e análise de todo aterramento utilizado nas máquinas e equipamentos móveis no canteiro de obras, observando o seu funcionamento e materiais utilizados nos aterramentos.

Com relação ao primeiro objetivo, foi possível verificar que todos os aterramentos utilizados nas máquinas e equipamentos estavam em desconformidade com as normas que regulamentam a utilização de aterramento, gerando uma falsa segurança para pessoas, máquinas e os equipamentos em operação durante a realização das atividades nos canteiros de obras.

Com relação ao segundo objetivo, os cabos estavam dimensionados incorretamente, conectores folgados e a utilização de garras negativas sem prévia seleção e o local que não possui malha de aterramento, sendo que diante deste cenário foi solicitado a manutenção nas fichas de análise de aterramento das máquinas e equipamentos.

Com relação ao terceiro objetivo, as mensurações obtidas a partir das análises realizadas nos aterramentos, pode-se observar uma falta de continuidade de conexão dos aterramentos, os valores obtidos classificados com anormal mostra um aterramento ineficiente, carga máxima na corrente, resistência mínima e sua isolação classificado como anormal, dispondo uma fragilidade na utilização do aterramento tanto no que se refere a proteção para as pessoas como para as máquinas e equipamentos móveis.

Tendo alcançado esses resultados e mensurações, agora partiu para fase de adequação, onde foi apresentado a proposta de se ter uma malha de aterramento dentro das instalações e o KIT aterramento, disponibilizando para cada operador, instalar seu aterramento interligado a malha de aterramento, mantendo proteção para pessoas, máquinas e equipamentos e empregados.

5.2 - LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Durante a realização do trabalho, pela falta de disponibilidade de informações quanto layout do local, manuais das máquinas e equipamentos, a não referências de estudos voltados ao tema do trabalho, as análises e pesquisas se deu a partir de parâmetros das normas que regulamenta a utilização do aterramento, sendo que as normas de referência não definem hoje um valor ideal para se manter um aterramento interligado a máquinas e equipamentos.

5.3 - PROPOSTA PARA NOVOS ESTUDOS

Durante análise dos estudos, foi verificado que o guindaste possui suas partes de contato (pneus) isolado, neste sentido sugere-se que seja feito um estudo quanto necessidade de utilização do aterramento em locais abertos com a referência a descarga atmosférica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. B. de; CATELANI JÚNIOR, L. C. **Aterramento temporário: a medida provisória usada em redes elétricas desenergizadas protege o trabalho.** Proteção, v. 21, n. 195, p. 104-110, março. 2008.

American National Standards Institute (ANSI), IEC 60479-1:2018 - Effects of Current On Human Beings.

ANDRADE A. A. **Padronização dos procedimentos de segurança para atividade de manutenção em tanques de armazenamento de combustíveis – espaço confinado.** 2013 94 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós graduação) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, São Paulo, 2013.

ARAÚJO, A. N. **Análise do trabalho em espaço confinado: O caso de manutenção de redes subterrâneas.** 2006. 141 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

BATISTA P. P.; LEMOS H. T. Q. **Análise da normatização o internacional do aterramento de sistemas fotovoltaicos.** 2018, 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado Em Ciência E Tecnologia). Universidade Federal Rural do Semiárido - UFRSA 2018.

BEZERRA. G. V. N. **Análises de Sistema de Aterramento com Hastes Concretadas Submetidos a Correntes Impulsivas.** Campina Grande, Paraíba. Eletricidade Moderna, v. 23, n. 218, p. 18-32, mar. 2017.

BERNARDO. B. L. **Estudo do Aterramento dos Pés de Torres de Linha de Transmissão Frente às Descargas Atmosféricas.** Bauru, 2012.

BATISTA. R e ARAÚJO. M. R. **Estimação da Resistência de Malhas de Aterramento Típicas de Estruturas de Linhas de Transmissão por Meio de Aplicativo para Android.** maio de 2019.

BEZERRA. S. R. C. **Avaliação de Sistema de Aterramento Considerando a Utilização de Condutores e Hastes Envolvidos em Concreto.** São Paulo, Brasil, 2011.

BELTANI. J. M. **Medição de Malha de Aterramento em Subestações Energizadas.** Ilha Solteira, 2017.

BENFICA, A. e MATTE, H. **Mundo da elétrica 2014.**

BARBOSA. T. D. **Proteção Contra Descargas Atmosféricas de Edificações Utilizando a Ferragem Estrutural.** Belo Horizonte, 2014.

CERRETTI, A.; DI LEMBO, G.; VALTORTA, G. **Aumento da continuidade com bobinas de Petersen e automação na rede de média tensão.** Eletricidade Moderna, v. 35, n. 393, p. 134- 145, dez. 2006.

CAETANO. C. E. F. **Estudo de um Arranjo Especial de Aterramento que Atenua o Problema do Comprimento Efetivo, Belo Horizonte.** Eletricidade Moderna, v. 15, n. 16, p. 60-69, 2017.

CAPELLI. A. **Aterramento Elétrico.** Saber Eletrônica, Nº 329/JUNHO/2000.

CLAUSEN, W.; FACCIONI FO, M.; RAIZER, A.; COELHO, V. L.; LIMA, M. R. **Nova técnica de aterramento para sistemas de distribuição de energia.** Eletricidade Moderna, v. 34, n. 381, p. 110-125, dez. 2005.

COSTA, P. F. **Aterramento de Sistemas Elétricos Industriais de Média Tensão com a Presença de Cogeração.** Capítulo IV, Aterramento do Neutro.

DOMINGUES, H. L. **Análise Comparativa entre Métodos de Verificação das Conexões de equipamentos à Malha de Aterramento em Subestações Energizadas.** Curitiba, 2011.

FALCOSKI, G. de M.; JUNIOR, A. A. P. **Cálculo da corrente que penetra a terra durante faltas em cabines primárias.** Eletricidade Moderna. v. 32, n. 359, p. 156-163, fev. 2004.

FILHO, J. M. **Instalações Elétricas Industriais.** 7ª Edição, LTC Editora, 2007.

FILHO, V. S. **Aterramentos Elétricos.** Artliber Editora, 2002.

FILHO, D. L. L. **Projetos de instalações elétricas prediais.** | 21 agosto 2011.

GOMES, L. V. **Sistema Eletrônico Embarcado Para Diagnostico das Condições de Aterramento de Subestações Energizadas.** agosto 2012.

GARCIA, C. H. F. P. **CESP, Aterramento dos Sistemas de aterramentos de Distribuição (medições, Projetos e Cálculos).** 1990.

HERING; E. **Medição da resistência de aterramento - realização dos ensaios.** Eletricidade Moderna, v. 35, n. 402, p.136-151, setembro. 2017.

KINDERMMANN. Ge CAMPAGNOLO, J, M. **Aterramento Elétrico.** Sacra DC Luzzatto, 3ª Edição, Modificada e Ampliada, Porto Alegre, 1995.

LOPES, J. A.; LIMA, M. A. X.; COSTA, E. G.; NÉRI, M. G. G.; FERREIR, T. V.; BEZERRA, J. M. B.; SILVA, A. A. P.; NASCIMENTO, M. P.; CAVALCANTI, A. L. T. **Estudo de Alternativas ao Aterramento Convencional de Estruturas de Transmissão de Energia Elétrica.** junho de 2009.

MIRANDA, A. P. R. **Aterramento para proteção contra fenômenos naturais e produzidos pelo homem.** Eletricidade Moderna, v. 32, n. 358, p. 128-133, jan. 2004.

MENDONÇA, M. V. **Contribuições ao processo computacional para análise de pedidos de indenização por danos em equipamentos elétricos.** 2010. 182 f. Tese (Doutorado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

MORENO. H. Internacional Copper Association Brazil. **Aterramento Elétrico.** Brasil 2018.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGDO [MTE]. **Norma Regulamentadora 12 Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos.** Modificado Portaria SEPRT n.º 916, de 30/07/19.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGDO [MTE]. **Norma Regulamentadora 10 Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade.** Portaria MTE n.º 598, de 07 de dezembro de 2004.

NOGUEIRA. R. L. S. **Análise de Sistema de Aterramento sob Solicitações Impulsivas: Otimização e Critérios de Segurança em Aterramento de Estruturas de Linhas de Transmissão.** Rio de Janeiro, Brasil, 2006.

NORMA BRASILEIRA. **ABNT NBR 5410:2004: instalação elétrica de baixa tensão.** 2ª edição.

SANTANNA, S. J. Estudo do Desempenho de Sistemas de Aterramento Frente as Descargas Atmosférica em Instalações de Média e Baixa Tensão. 196 f. Tese (Doutorado em Engenharias) - Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2005.

SANT'ANNA, C. J. Aterramento de equipamentos de telecomunicação utilizando o aço das fundações. Eletricidade Moderna, v. 31, n. 348, p. 50-65, mar. 2003.

SCHOONENBERG, G. M. A evolução do seccionamento e do aterramento nos conjuntos de média tensão. Eletricidade moderna - v.37, n.420, p.44-53, março 2018.

SURTEES, A. J.; ROUSSEAU, A.; MARTZLOFF, F. Resistência de aterramento versus impedância de aterramento. Eletricidade Moderna, v. 35, n. 395, p. 170-179, fev. 2007.

TUMA, E. T.; SANTOS, R. O.; OLIVEIRA, R. M. S; e SOBRINHO, C. L. S. S. Análise do Comportamento Transitório dos Parâmetros de Sistemas de Aterramento Usando o Método FDTD. IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS, vol. 4, no. 1, march 2006.

VIANA, M. e FERREIRA. S. Proteção contra choques elétricos em canteiros de obras. 2018.

VIANA, M.; SILVA, A.; e CASSIANO, O. M. [et al]. São Paulo: Fundacentro, 2007. 44 p.: il. (Recomendação técnica de procedimentos. RTP; 05).

VISACRO, S. A. Comprehensive approach to the grunding response to lightning currents. IEEE Transactions on Power delivery. Janeiro 2007.