



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

REVISÃO DE ATERRAMENTO PARA INSTALAÇÕES PREDIAIS

Carlos Eduardo da Cruz Santos

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento

Rio de Janeiro
Setembro de 2018

REVISÃO DE ATERRAMENTO PARA INSTALAÇÕES PREDIAIS

Carlos Eduardo da Cruz Santos

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

Examinado por:

Prof. Jorge Luiz do Nascimento, Dr.Eng.

(Orientador)

Prof. Antonio Carlos Siqueira de Lima, PhD.

Eng. André Luís Barbosa de Oliveira.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

SETEMBRO de 2018

Santos, Carlos Eduardo da Cruz

Revisão de Aterramento para Instalações Prediais/
Carlos Eduardo da Cruz Santos. – Rio de Janeiro: UFRJ/
Escola Politécnica, 2018.

XII, 89 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/
Curso de Engenharia Elétrica, 2018.

Referências Bibliográficas: p. 87-89.

1. Aterramento. 2. Instalações Elétricas. 3. Choque Elétrico. I. Nascimento, Jorge Luiz do. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Elétrica. III. Título.

“Todo mundo deveria ser aplaudido de pé pelo menos uma vez na vida, porque todos nós vencemos o mundo.” (August Pullman (Extraordinário))

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, a Deus pela oportunidade da vida e por todo o amparo ao longo dela.

Aos meus pais, Jurandina e Mario, pela educação, oportunidades, exemplo e todo o apoio e suporte que me deram ao longo de toda vida. Obrigado pelo carinho, pelas broncas, pelo incentivo e por tudo o que fizeram para que eu pudesse chegar até aqui.

Ao meu irmão, Felipe, pelas orientações, ajuda, carinho, apoio e pelo próprio exemplo de vida, que sempre me inspirou desde criança.

À minha namorada, Thaís, por todo o amor, por me ouvir, me aconselhar, por estar sempre ao meu lado em todos os momentos.

A todos os meus familiares, pelo apoio que me deram, e também por me receberem diversas vezes em suas casas para que eu pudesse repousar e estar mais próximo da faculdade. Em especial gostaria de lembrar da minha tia Rita, que sempre ajudou na minha criação e na minha educação, tanto a moral quanto a profissional. E também da minha prima Fabíola, que me acolheu em seu lar durante um bom período da minha graduação.

Aos meus amigos que, cada um do seu jeito, também contribuíram para que eu pudesse chegar onde estou. Em especial gostaria de lembrar do Maurício, amigo de graduação, que me deu tanto apoio e orientação para que, assim como ele, também pudesse chegar a conclusão deste curso. E também do Jonas, que me acolheu em seu lar durante um bom período da minha graduação.

Ao Prof. Jorge Luiz do Nascimento, pela orientação, dedicação e por todos os ensinamentos que tanto contribuíram no meu aprendizado.

Resumo do Projeto de Graduação em Engenharia Elétrica apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica – UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

REVISÃO DE ATERRAMENTO PARA INSTALAÇÕES PREDIAIS

Carlos Eduardo da Cruz Santos

Setembro/2018

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento, Dr. Eng.

Curso: Engenharia Elétrica

Este trabalho apresenta uma revisão da matéria aterramento nas instalações elétricas de baixa tensão e também uma análise de algumas aplicações do aterramento nestas instalações. O aterramento é de extrema importância para a segurança das pessoas e dos equipamentos, e grande parte da humanidade frequenta instalações prediais diariamente, seja morando, trabalhando, estudando ou passeando por essas instalações. Sendo assim, um aterramento bem feito pode colaborar na diminuição da grande quantidade de acidentes, devidos a choques elétricos, que ocorrem neste tipo de instalação.

Porém, o aterramento ainda é um assunto que gera muitas dúvidas quanto às suas normas e seus procedimentos, não só entre cidadãos comuns, mas até mesmo entre os profissionais eletricitas. Essas dúvidas surgem da dificuldade de se entender a sua teoria e mesmo suas aplicações práticas, visto que o material didático atual apresenta algumas fragilidades em sua estrutura e em seu conteúdo, dificultando assim o aprendizado de quem precisa entender sobre o tema. Em virtude dessa falta de compreensão sobre o aterramento, ainda se comentem muitos equívocos no seu uso. Diante desse cenário, é importante que se tenha um material sobre aterramento de instalações prediais que seja mais básico e esclarecedor, afim de auxiliar o aprendizado dos estudantes de Engenharia Elétrica.

Palavras-chave: Aterramento, Instalações Elétricas, Choques Elétricos.

Abstract of Undergraduate Project presented to the Department of Electrical Engineering of POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

REVISION OF GROUNDING IN BUILDING INSTALLATIONS

Carlos Eduardo da Cruz Santos

September/2018

Advisor: Jorge Luiz do Nascimento, Dr. Eng.

Course: Electrical Engineering

This work presents a review of the grounding in low voltage electrical installations discipline and also a analysis of some ground applications in these installations. The grounding is very important for safety of people and equipament, and a large part of humanity attends daily building installations, wheter living, working, studying or walking in these installations. Therefore, a good grounding can be reduce the large number of electrical shocks accidentes that occur in this type of installation.

However, grounding is still a subject that create many doubts about its standarts and its procedures, both among ordinary citizens and among technical professionals. These doubts arise from the difficulty of understanding its theory and even its practical applications, since the current teaching material presents some weaknesses in its structure and content, thus hindering the learning of those who need to understand the subject. Because of this lack of understanding of grounding, there are still many misconceptions in its use. In light of this situation, it is important to have a material more basic and enlightening about grounding in low voltage electrical installations, in order to help students of Electrical Engineering learn.

Keywords: Grounding, Electrical Installations, Electrical Shocks.

Sumário

1. Introdução	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Metodologia	2
1.3 Motivação	2
1.4 Relevância do tema	3
1.5 Estruturação do trabalho	3
2. Revisão Bibliográfica	4
2.1 Análise individual dos livros	4
2.1.1 Livro 1	5
2.1.2 Livro 2	5
2.1.3 Livro 3	6
2.1.4 Livro 4	7
2.1.5 Livro 5	8
2.1.6 Livro 6	10
2.1.7 Livro 7	11
2.1.8 Livro 8	12
2.1.9 Livro 9	12
2.2 Comparação entre os livros	13
3. Revisão Teórica	17
3.1 Definições, terminologias e conceitos básicos	17
3.1.1 Aterramento	17
3.1.2 Choque elétrico	17
3.1.3 Parte viva	17
3.1.4 Massa	18
3.1.5 Elemento Condutor Estranho à Instalação	18
3.1.6 Equipotencialização	18
3.1.7 Contato Direto	18
3.1.8 Contato Indireto	18
3.1.9 Sobrecorrentes	18
3.1.10 Correntes de Sobrecarga	18
3.1.11 Correntes de curto-circuito	19
3.1.12 Correntes de Fuga	19
3.1.13 Importância do aterramento	19
3.1.14 Funcionalidade do aterramento	24

3.1.15	Sistemas de Aterramento.....	25
3.2	Aterramento nas instalações prediais	33
3.2.1	Aterramento Funcional	34
3.2.2	Aterramento de Proteção	35
3.2.3	Aterramento e Equipotencialização	35
3.3	Interseções do sistema de aterramento com as demais proteções da instalação	45
3.3.1	Proteção contra efeitos térmicos.....	46
3.3.2	Proteção contra choques elétricos	46
3.3.3	Proteção dos circuitos contra sobrecorrentes.....	46
3.3.4	Proteção dos circuitos contra sobretensões	47
3.3.5	Dispositivos de proteção dos circuitos	47
3.3.6	Descargas Atmosféricas.....	49
4.	Tópicos em Análise	55
4.1	Potencial de Toque Máximo.....	55
4.2	Potencial de Passo Máximo	57
4.3	Eletrodo de aterramento	58
4.3.1	Eletrodo de Aterramento nas Fundações.....	59
4.3.2	Eletrodo de Aterramento constituído por Hastes.....	60
4.4	Condutor de Proteção dos Circuitos (PE).....	66
4.5	Escolha do Esquema de Aterramento.....	68
4.5.1	Aterramento de Prédios alimentados por Rede Pública de Distribuição em Baixa Tensão	70
4.5.2	Aterramento de Prédios alimentados por Subestação de Transformação....	70
4.5.3	Restrições de aplicação do Esquema IT	71
4.6	Exceções ao uso do aterramento.....	71
4.7	Interseções dos dispositivos de proteção com o aterramento	73
4.7.1	Esquema TT	74
4.7.2	Esquema TN.....	75
4.7.3	Esquema IT	76
4.8	Interseções da proteção de sobretensões com o aterramento	78
4.8.1	Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA).....	78
4.8.2	Sistema de Proteção contra Surtos	81
4.9	Considerações Finais.....	83
5.	Conclusões	85
6.	Referências Bibliográficas	87

Lista de Figuras

Figura 3.1:Potencial de Toque	22
Figura 3.2:Potencial de Passo	23
Figura 3.3:Tensão de Contato (U_b)	24
Figura 3.4:Haste simples cravada no solo.	25
Figura 3.5:Quatro hastes alinhadas cravadas no solo.....	25
Figura 3.6:Hastes cravadas nos vértices de um triângulo equilátero.....	26
Figura 3.7:Hastes cravadas nos vértices de um quadrado.....	26
Figura 3.8:Hastes cravadas em uma circunferência.....	27
Figura 3.9:Placa condutora enterrada no solo	27
Figura 3.10:Fio condutor estendido em uma vala	28
Figura 3.11:Hastes compondo uma cruz.....	28
Figura 3.12:Malha de terra.....	29
Figura 3.13:Esquema TT	31
Figura 3.14:Esquema TN-S	32
Figura 3.15:Esquema TN-C	32
Figura 3.16:Esquema TN-C-S	32
Figura 3.17:Esquema IT	33
Figura 3.18:Equipotencialização Principal.....	39
Figura 3.19:Detalhes das conexões da alimentação à equipotencialização principal ..	40
Figura 3.20:Exemplo de equipotencialização principal em que os elementos nela incluíveis não se concentram ou não são acessíveis num mesmo ponto da edificação.	40
Figura 3.21:Partes essenciais de um dispositivo DR.....	49
Figura 3.22:Descargas atmosféricas.....	49
Figura 3.23:Carregamento elétrico da nuvem e indução de cargas positivas no solo .	51
Figura 3.24:Processo de formação do raio	51
Figura 3.25:Campo magnético induzido em função da descarga atmosférica.....	52
Figura 3.26:Configuração dos elementos de um SPDA	53
Figura 4.1:Potencial de Passo Máximo	58
Figura 4.2:Variações das tensões geradas no solo pela passagem de uma corrente em um eletrodo de aterramento.....	60
Figura 4.3:Eletrodo constituído por uma haste cravada verticalmente no solo.....	61
Figura 4.4:Representação de um sistema de aterramento em malha.	62
Figura 4.5:Representação de um sistema de aterramento em anel	63
Figura 4.6:Aterramento do SPDA e da instalação elétrica predial: (a) utilizando um único eletrodo de aterramento (b) utilizando eletrodos de aterramento distintos	80
Figura 4.7:Esquemas de conexão do DPS no ponto de entrada da linha de energia ou quadro de distribuição principal da edificação.....	82

Lista de Tabelas

Tabela 2.1: Subtemas presentes em cada livro.	15
Tabela 3.1: Efeitos da corrente elétrica no corpo humano.	21
Tabela 3.2: Valores do fator de corrente do coração (F) para diferentes trajetos da corrente.	22
Tabela 3.3: Eletrodos de aterramento normalmente utilizados.....	37
Tabela 3.4: Código de Cores dos Condutores de Proteção dos Circuitos.	44
Tabela 3.5: Seções mínima de condutores de aterramento enterrados no solo.	44
Tabela 4.1: Valores da tensão de contato limite.....	56
Tabela 4.2: Resistência elétrica do corpo humano.....	57
Tabela 4.3: Contato das pessoas com o potencial de terra.....	57
Tabela 4.4: Tabela com hastes de comprimento de 2,4 m paralelas, alinhadas e igualmente espaçadas de 2,5 m.	64
Tabela 4.5: Tabela com hastes de comprimento de 3,0 m paralelas, alinhadas e igualmente espaçadas de 3,0 m.	65
Tabela 4.6: Seção mínima dos condutores de proteção	66
Tabela 4.7: Valores de K: dimensionamento de condutores de proteção, temperatura ambiente de 30°C.	67
Tabela 4.8: Valores máximos de resistência de aterramento das massas em um esquema TT.	75
Tabela 4.9: Tempos de seccionamento máximos no esquema TN.	76
Tabela 4.10: Tempos de seccionamento máximos no esquema IT (2ª falta).....	78
Tabela 4.11: Seções mínimas do eletrodo de aterramento de um SPDA.....	80
Tabela 4.12: Espessuras mínimas do aterramento de um SPDA.....	80
Tabela 4.13: Valor mínimo de U_c , exigível do DPS, em função do esquema de aterramento.	81

Lista de Quadros

Quadro 2.1: Livros que compõem a revisão bibliográfica.	4
Quadro 2.2: Estruturação do Livro 1.	5
Quadro 2.3: Estruturação do Livro 2.	6
Quadro 2.4: Estruturação do Livro 3.	7
Quadro 2.5: Estruturação do Livro 4.	8
Quadro 2.6: Estruturação do Livro 5.	9
Quadro 2.7: Estruturação do Livro 6.	10
Quadro 2.8: Estruturação do Livro 7.	11
Quadro 2.9: Estruturação do Livro 8.	12
Quadro 2.10: Estruturação do Livro 9.	12
Quadro 2.11: Divisão em subtemas.	14

1. Introdução

A eletricidade, ao longo do tempo, trouxe enormes benefícios para a humanidade, porém a utilização dela traz alguns riscos, principalmente em relação a segurança dos seres humanos e animais. Em virtude desses riscos, foram criadas medidas de proteção contra os perigos da eletricidade, uma dessas medidas é o aterramento.

O aterramento elétrico é de extrema importância para uma instalação elétrica, ele é utilizado para proteger pessoas, animais e materiais contra falhas que podem ocorrer em um determinado sistema. Um aterramento adequado pode evitar que falhas elétricas danifiquem equipamentos e estruturas, o que geraria gastos financeiros. Mas a maior importância de um aterramento, de fato, é proteger os seres vivos, evitando que estes fiquem expostos a choques elétricos.

O choque elétrico se dá pela passagem de uma corrente elétrica pelo corpo humano, e pode ocasionar graves consequências para quem o sofre, inclusive a morte. No Brasil, ocorrem muitos acidentes relacionados ao choque elétrico. A Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade (Abracopel), que levanta dados estatísticos sobre acidentes elétricos no Brasil, mostra em seu Anuário Estatístico Brasileiro de Acidentes de Origem Elétrica 2018 [1] que, em 2017 ocorreram 851 acidentes por choque elétrico, sendo 627 fatais. Além disso, também mostra que dos acidentes fatais, 218 ocorreram em instalações residenciais. Desta forma é possível notar que pelo menos 35% dos acidentes fatais por choque elétrico, em 2017, ocorreram em instalações de baixa tensão.

Estes dados alarmantes reforçam a necessidade de se ter uma proteção adequada contra choques elétricos nas instalações prediais, e conseqüentemente, uma adequada instalação do aterramento.

Porém, o aterramento ainda é um assunto que gera muitas dúvidas quanto às suas normas e seus procedimentos, não só entre cidadãos comuns, mas até mesmo entre os profissionais eletricitas. Essas dúvidas surgem da dificuldade de se entender a sua teoria e mesmo suas aplicações práticas, visto que o material didático atual apresenta algumas fragilidades em sua estrutura e em seu conteúdo, dificultando assim o aprendizado de quem precisa entender sobre o tema.

Em virtude dessa falta de compreensão sobre o aterramento, ainda se comentem muitos equívocos no seu uso, como o dimensionamento inadequado do sistema de aterramento, bitola inadequada do condutor de proteção, ou mesmo a própria ausência do aterramento. Já que em muitas das instalações elétricas, o aterramento é simplesmente ignorado.

Um outro estudo importante, feito pela Abracopel, denominado de Raio X das Instalações Residenciais Brasileiras [2], mostra que em 2016 apenas 52% dos imóveis possuíam o condutor de proteção, item tão importante de um aterramento, ou seja, 48% das instalações residenciais descumpriam a norma brasileira. Em relação ao aterramento do chuveiro elétrico os dados também são preocupantes, apenas 43% dos chuveiros elétricos estavam devidamente aterrados.

Diante desse cenário, é importante que se tenha um material sobre aterramento para instalações prediais que seja mais básico e esclarecedor, afim de auxiliar o aprendizado dos estudantes de Engenharia Elétrica.

1.1 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é realizar uma revisão da matéria aterramento nas instalações elétricas de baixa tensão, consolidando material didático auxiliar para as disciplinas de conteúdos relacionados.

Como objetivo acessório busca-se analisar algumas aplicações específicas de aterramento, cujos autores apresentam soluções diferenciadas e incompletas.

1.2 Metodologia

Para se alcançar os objetivos traçados, primeiramente será visto a segmentação existente na literatura. Em seguida, será feito uma revisão teórica, agrupando os conteúdos referentes à contextualização da questão do aterramento, ao aterramento no âmbito das instalações prediais e às relações do aterramento com as demais proteções da instalação. E por fim, será feita uma análise de algumas aplicações específicas de aterramento.

1.3 Motivação

A motivação para o presente trabalho surgiu em virtude da observação de que a literatura sobre aterramento de instalações elétricas prediais possui fragilidades. Ela está muito segmentada, ou seja, o conteúdo está distribuído por diversos livros. E além

disso, também possui soluções diferenciadas e incompletas para algumas aplicações específicas do aterramento. Deste modo, para que se consiga aprender sobre o assunto, é necessário muita pesquisa, leituras e análises comparativas.

Diante disso, espera-se que este trabalho contribua com o aprendizado dos estudantes de Engenharia Elétrica, servindo como material de apoio no estudo sobre aterramento de instalações prediais.

1.4 Relevância do tema

O aterramento é de extrema importância para a segurança das pessoas e dos equipamentos, e grande parte da humanidade frequenta instalações prediais diariamente, seja morando, trabalhando, estudando ou passeando por essas instalações. Sendo assim, um aterramento bem feito pode colaborar na diminuição da grande quantidade de acidentes, devidos a choques elétricos, que ocorrem neste tipo de instalação.

1.5 Estruturação do trabalho

No Capítulo 1 foi apresentada a introdução do presente trabalho, contendo os objetivos, a metodologia, a motivação e a relevância do tema desta pesquisa.

O Capítulo 2 faz uma revisão bibliográfica sobre livros didáticos que possuem conteúdos relacionados ao aterramento de instalações elétricas prediais, analisando a abrangência que eles dão ao tema desta pesquisa.

O Capítulo 3 apresenta uma revisão teórica em que contextualiza a questão do aterramento, destaca suas aplicações em instalações prediais e trata a respeito de suas interseções com as demais proteções da instalação.

No Capítulo 4 é feita uma análise de tópicos da literatura referentes a algumas aplicações do aterramento.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões deste trabalho e propostas de trabalhos futuros.

2. Revisão Bibliográfica

Os objetos de estudo desta pesquisa serão nove livros didáticos, sendo sete livros com foco no assunto instalações elétricas e dois focados no assunto aterramento elétrico. Neste capítulo, será feita uma revisão bibliográfica sobre esses livros.

A fim de facilitar a apresentação dos dados, os livros serão nomeados conforme o Quadro 2.1.

Quadro 2.1: Livros que compõem a revisão bibliográfica.

	Livros	Edição	Autor (es)	Editora
1	Instalações Elétricas	3ª	NORBERTO NERY	Eltec
2	Projetos de Instalações Elétricas Prediais	6ª	LIMA FILHO	Érica
3	Instalações Elétricas Prediais	14ª	CAVALIN e CERVELIN	Érica
4	Instalações Elétricas	6ª	NISKIER e MACINTYRE	LTC
5	Instalações Elétricas	16ª	HÉLIO CREDER	LTC
6	Instalações Elétricas Industriais	9ª	MAMEDE FILHO	LTC
7	Instalações Elétricas	5ª	ADEMARO COTRIM	Pearson
8	Aterramentos Elétricos	1ª	VISACRO FILHO	Artliber
9	Aterramento Elétrico	3ª	KINDERMANN e CAMPAGNOLO	Sagra

Fonte: Próprio autor

Com base nos livros citados anteriormente, a revisão bibliográfica será feita por meio de uma análise da abrangência que os livros didáticos dão ao conteúdo aterramento de instalações elétricas prediais. Esta análise será estruturada em duas etapas. Na primeira etapa cada livro será analisado individualmente. Sendo verificado os seguintes aspectos: estruturação do conteúdo do livro, os capítulos que contêm assuntos referentes ao conteúdo pesquisado e os principais assuntos presentes em cada capítulo. Em seguida, na segunda etapa, será feita uma comparação entre os livros, relacionando a quantidade de conteúdos que cada livro possui com a quantidade de conteúdo total referentes ao assunto abordado nesta pesquisa.

2.1 Análise individual dos livros

A análise individual de cada livro será feita abaixo, pela verificação dos seguintes aspectos: estruturação do conteúdo do livro, os capítulos que contêm

assuntos referentes ao conteúdo pesquisado e os principais assuntos presentes em cada capítulo.

2.1.1 Livro 1

O Livro 1, *Instalações Elétricas* [3] do autor Norberto Nery, possui quinze capítulos divididos em quatro unidades, conforme pode ser visto no Quadro 2.2.

Quadro 2.2: Estruturação do Livro 1.

Estruturação do Conteúdo do Livro 1		
Unidade	Capítulo	Nome
Unidade I	1	Aspectos Essenciais de uma Instalação Elétrica
	2	Tópicos a respeito do Fornecimento de Energia Elétrica
	3	Ligações Usuais e sua Representação Unifilar
Unidade II	1	Classificação, Previsão de Potência, Quantificação, e Distribuição das Tomadas
	2	Pontos de Luz e Interruptores
	3	Distribuição de Cargas em Circuitos, Quadros de Distribuição, Indicação da Rede de Eletrodutos e Condutores
	4	Condutores Elétricos
	5	Dispositivos de Proteção
	6	Métodos de Instalação
	7	Projeto e Dimensionamento da Entrada Elétrica
Unidade III	1	Grandezas Luminotécnicas
	2	Características e Tipos de Lâmpadas
	3	Projeto de Iluminação
Unidade IV	1	Motores Elétricos e suas Características
	2	Instalações de Motores Elétricos

Fonte: Próprio autor

Destes capítulos, apenas o capítulo 5 (da unidade II) possui conteúdos relacionados ao tema da pesquisa. Este capítulo aborda sobre os esquemas de aterramento e sobre as interseções do aterramento com a proteção dos circuitos.

2.1.2 Livro 2

O Livro 2, *Projeto de Instalações Elétricas Prediais* [4], do autor Lima Filho, está dividido em doze capítulos, conforme pode ser notado no Quadro 2.3.

Quadro 2.3: Estruturação do Livro 2.

Estruturação do Conteúdo do Livro 2	
Capítulo	Nome
1	Projeto: Conceito, Atribuições e Responsabilidade Profissional
2	O Projeto de Instalações Elétricas Prediais
3	Previsão de Cargas de Instalação Elétrica
4	Demanda de Energia de uma Instalação Elétrica
5	Divisão de instalação em circuitos
6	Fornecimento de Energia: Padrão e Dimensionamento
7	Dimensionamento de Condutores Elétricos
8	Dimensionamento de eletrodutos
9	Dispositivos de Proteção contra Sobrecorrentes
10	Aterramento e Proteção Contra Choques Elétricos
11	Proteção Contra Descargas Atmosféricas
12	Projeto de Instalações Telefônicas

Fonte: Próprio autor

Neste livro, os capítulos 7, 10 e 11 possuem conteúdos relacionados ao tema da pesquisa. O capítulo 7 fala sobre condutor de proteção dos circuitos e condutores de aterramento. O capítulo 10 trata a respeito do aterramento, dos perigos e efeitos da corrente elétrica, da tensão de contato e das interseções do aterramento com a proteção dos circuitos. Já o capítulo 11 trata a respeito das interseções do aterramento com o SPDA.

2.1.3 Livro 3

O Livro 3, *Instalações Elétricas Prediais* [5], dos autores Cavalin e Cervelin, está estruturado em quinze capítulos, conforme pode ser observado no Quadro 2.4.

Quadro 2.4: Estruturação do Livro 3.

Estruturação do Conteúdo do Livro 3	
Capítulo	Nome
1	Conceitos Básicos de Eletricidade para Aplicação em Instalações Elétricas
2	Símbolos Gráficos para Instalações Elétricas Prediais
3	Ferramentas para Instalações Elétricas
4	Luminotécnica
5	Utilização de Esquemas
6	Dispositivos de Comando de Iluminação e Sinalização
7	Segurança em Instalações Elétricas
8	Previsão de Cargas e Divisão de Instalações Elétricas
9	Fornecimento de Energia Elétrica
10	Condutores Elétricos: Dimensionamento e Instalação
11	Eletrodutos e Acessórios para Instalações Elétricas
12	Proteção em Instalações Elétricas Prediais
13	Aterramento em Energia Elétrica
14	Proteção contra Descargas Elétricas Atmosféricas
15	Leitura, Análise e Interpretação de Projetos Elétricos Prediais

Fonte: Próprio autor

Neste livro, os capítulos 7, 12, 13, 14 e 15 possuem conteúdos referentes ao tema da pesquisa. O capítulo 7 mostra a necessidade do aterramento de um chuveiro elétrico numa instalação Elétrica Predial. O capítulo 12 aborda sobre as interseções do aterramento com a proteção dos circuitos. O capítulo 13 discorre sobre esquemas de aterramento, aterramento e equipotencialização, condutores de proteção, condutores de equipotencialização e utilização de equipotencialização principal. O capítulo 14 aborda sobre as interseções do aterramento com o SPDA. E por fim, o capítulo 15 trata a respeito da importância de um aterramento elétrico adequado.

2.1.4 Livro 4

O Livro 4, *Instalações Elétricas* [6], dos autores Niskier e Macintyre, tem sua estrutura dividida em dezessete capítulos, conforme pode ser visto no Quadro 2.5.

Quadro 2.5: Estruturação do Livro 4.

Estruturação do Conteúdo do Livro 4	
Capítulo	Nome
1	Conceitos Básicos de Eletricidade com Vistas a Instalações
2	Fornecimento de Energia aos Prédios. Alimentadores Gerais
3	Instalações para Iluminação e Aparelhos Domésticos
4	Economia de Condutores Elétricos. Dimensionamento e Instalação. Aterramento. O choque Elétrico
5	Comando, Controle e Proteção dos Circuitos
6	Instalação para Motores
7	Tubulações Telefônicas - Sequência Básica para Elaboração do Projeto
8	Luminotécnica
9	Contra o Desperdício de Energia. Correção do Fator de Potência. Harmônicos nas Instalações
10	Proteção das Edificações. Para-raios Prediais. Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA)
11	Sinalização, Comunicação e Comandos
12	Eletrotermia
13	Subestações Abaixadoras de Tensão
14	Sistemas de Segurança e Centrais de Controle
15	Materiais Empregados e Tecnologia de Aplicação
16	Exemplo de Projeto de Instalações Elétricas
17	Unidades e Conversões de Unidades

Fonte: Próprio autor

Destes capítulos, apenas os capítulos 2, 4 e 10 contêm conteúdos relacionados ao tema da pesquisa. O capítulo 2 trata a respeito do aterramento na entrada de energia de uma Instalação Elétrica Predial. O capítulo 4 aborda sobre os esquemas de aterramento, os condutores de proteção e o choque elétrico. E o capítulo 10 mostra as interseções do aterramento com o SPDA.

2.1.5 Livro 5

O Livro 5, *Instalações Elétricas* [7], do autor Hélio Creder, é dividido em treze capítulos e quatro apêndices, conforme pode ser notado no Quadro 2.6.

Quadro 2.6: Estruturação do Livro 5.

Estruturação do Conteúdo do Livro 5	
Capítulo	Nome
1	Introdução às Instalações Elétricas de Baixa Tensão
2	Conceitos Básicos Necessários aos Projetos das Instalações Elétricas
3	Projetos das Instalações Elétricas
4	Dispositivos de Seccionamento e Proteção
5	Aterramento de Instalações em Baixa Tensão - BT
6	Instalações para Força Motriz e Serviços de Segurança
7	Transmissão de Dados, Circuitos de Comando e de Sinalização
8	Instalações de Para-raios Prediais
9	Correção do Fator de Potência e Instalação de Capacitores
10	Técnica de Execução das Instalações Elétricas
11	Entrada de Energia Elétrica nos Prédios em Baixa Tensão
12	Projeto de uma Subestação Abaixadora
13	Noções de Luminotécnica
Apêndice A	Exemplo de um Projeto de Instalação de um Edifício Residencial
Apêndice B	Roteiro para Execução de Projetos de Instalações Elétricas para Prédios Residenciais
Apêndice C	Dimensionamento de Circuitos em Anel
Apêndice D	Instalações Telefônicas em Edifícios

Fonte: Próprio autor

Neste livro, os capítulos 4, 5, 8 e 11 possuem conteúdos referentes ao tema da pesquisa. O capítulo 4 aborda sobre as interseções do aterramento com a proteção dos circuitos. O capítulo 5 trata a respeito dos sistemas de aterramento, dos esquemas de aterramento, dos eletrodos de aterramento, dos condutores de proteção, do aterramento de equipamentos eletrônicos sensíveis, do aterramento em armaduras de estruturas de concreto e das tensões associadas ao aterramento. O capítulo 8 mostra as interseções do aterramento com o SPDA. Por fim, o capítulo 11 trata a respeito do aterramento na entrada de energia de uma Instalação Elétrica Predial.

2.1.6 Livro 6

O Livro 6, *Instalações Elétricas Industriais* [8], do autor Mamede Filho, é dividido em dezesseis capítulos e um apêndice, conforme pode ser visto no Quadro 2.7.

Quadro 2.7: Estruturação do Livro 6.

Estruturação do Conteúdo do Livro 6	
Capítulo	Nome
1	Elementos de projeto
2	Iluminação Industrial
3	Dimensionamento de condutores elétricos
4	Fator de potência
5	Curto-circuito nas instalações elétricas
6	Motores Elétricos
7	Partida de motores elétricos de indução
8	Fornos Elétricos
9	Materiais elétricos
10	Proteção e coordenação
11	Sistemas de aterramento
12	Subestações de consumidor
13	Proteção contra descargas atmosféricas
14	Automação Industrial
15	Eficiência Energética
16	Usinas de geração industrial
Apêndice A	Exemplos de Aplicação

Fonte: Próprio autor

Os capítulos 1, 3, 10, 11 e 13 deste livro possuem conteúdos relacionados ao tema da pesquisa. O capítulo 1 aborda sobre a necessidade de uma empresa ter um diagrama unifilar com as especificações do sistema de aterramento de suas Instalações Elétricas. O Capítulo 3 mostra os esquemas de aterramento. O capítulo 10 aborda sobre as interseções do aterramento com a proteção dos circuitos. O capítulo 11 trata a respeito da importância do aterramento, da proteção contra contatos indiretos, do aterramento dos equipamentos, dos elementos de uma malha de terra, da resistividade do solo, do cálculo de um sistema de aterramento com hastes verticais, da medição da resistência de um sistema de aterramento e do medidor de resistividade do solo. E por fim, o capítulo 13 aborda sobre as interseções do aterramento com o SPDA.

2.1.7 Livro 7

O Livro 7, *Instalações Elétricas* [9], do autor Ademaro Cotrim, está estruturado em dezesseis capítulos e dois apêndices, conforme pode ser observado no Quadro 2.8.

Quadro 2.8: Estruturação do Livro 7.

Estruturação do Conteúdo do Livro 7	
Capítulo	Nome
1	Fundamentos
2	Conceitos Fundamentais
3	Proteção contra choques elétricos - fundamentos
4	Planejamento da instalação
5	Linhas Elétricas
6	Dispositivos de manobra, proteção, comando e seccionamento não automático
7	Medidas de proteção contra choques elétricos (I) - básica e supletiva
8	Medidas de proteção contra choques elétricos (II) - seccionamento automático
9	O aquecimento dos condutores e a queda de tensão
10	Cálculo de correntes de falta
11	Proteção contra sobrecorrentes
12	Proteções contra sobretensões
13	Dimensionamentos
14	Compensação da energia reativa
15	Instalações de segurança e de reserva
16	Luminotécnica
Apêndice A	Influências Externas
Apêndice B	Os eletrodos de fundação e a equalização de potencial

Fonte: Próprio autor

Neste livro os capítulos 1, 3, 6, 7, 8, 11, 12 e o apêndice A possuem conteúdos relacionados ao tema da pesquisa. O capítulo 1 trata a respeito do choque elétrico. O capítulo 3 aborda sobre a corrente elétrica no corpo humano, os fundamentos da proteção contra choques elétricos, o aterramento e a equipotencialização, as isolações e os graus de proteção, a proteção básica contra contatos diretos e as interseções do aterramento com o SPDA. Os capítulos 6, 11 e 12 abordam sobre as interseções do aterramento com a proteção dos circuitos. O capítulo 7 mostra a proteção em locais não

condutores, a proteção por ligações equipotenciais locais não aterradas e a proteção por separação elétrica. No capítulo 8 encontram-se os esquemas de aterramento e suas aplicações, os condutores de proteção e as interseções do aterramento com a proteção dos circuitos. Por fim, no apêndice A aborda sobre as interseções do aterramento com o SPDA.

2.1.8 Livro 8

O Livro 8, *Aterramentos Elétricos* [10], do autor Visacro Filho, tem sua estrutura dividida em seis capítulos, conforme pode ser visto no Quadro 2.9.

Quadro 2.9: Estruturação do Livro 8.

Estruturação do Conteúdo do Livro 8	
Capítulo	Nome
1	Teoria básica de aterramentos elétricos
2	Conceitos básicos em condições de baixa frequência: resistividade do solo e resistência de aterramento
3	Métodos de medição de resistência de aterramento e de resistividade do solo
4	Instrumentação para medição de terra e resistividade do solo
5	Conceitos básicos de segurança em aterramentos
6	Filosofias de aterramento

Fonte: Próprio autor

Todos os capítulos deste livro possuem conteúdos relacionados ao tema da pesquisa. O capítulo 1 trata a respeito da definição, importância e aplicações do aterramento. No capítulo 2 encontram-se os conceitos básicos de resistividade do solo e resistência de aterramento. O capítulo 3 abrange os métodos de medição de resistência de aterramento e de resistividade do solo. O capítulo 4 aborda sobre a instrumentação para medição de resistência de terra e resistividade do solo. O capítulo 5 discorre sobre os conceitos básicos de segurança em aterramento. E por fim, o capítulo 6 trata sobre os modelos de aterramentos elétricos e a influência do aterramento num sistema elétrico.

2.1.9 Livro 9

O Livro 9, *Aterramento Elétrico* [11], dos autores Kindermann e Campagnolo, é dividido em onze capítulos e três apêndices, conforme pode ser notado no Quadro 2.10.

Quadro 2.10: Estruturação do Livro 9.

Estruturação do Conteúdo do Livro 9	
Capítulo	Nome
1	Introdução ao Sistema de Aterramento
2	Medição da Resistividade do Solo
3	Estratificação do Solo
4	Sistemas de Aterramento
5	Tratamento Químico do Solo
6	Resistividade Aparente
7	Fibrilação Ventricular do Coração Pelo Choque Elétrico
8	Malha de Aterramento
9	Medida da Resistência de Terra
10	Corrosão no Sistema de Aterramento
11	Surtos de Tensão
Apêndice A	Tabela de Hastes Paralelas, Alinhadas e Iguamente Espaçadas
Apêndice B	Retorno da Corrente de Sequência Zero do Curto-Circuito
Apêndice C	Resistência de Malha

Fonte: Próprio autor

Os capítulos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11 e o apêndice A deste livro possuem conteúdos relacionados ao tema da pesquisa. O capítulo 1 trata a respeito da definição, importância e esquemas do aterramento. O capítulo 2 aborda sobre as características práticas da medição de resistividade do solo de um local virgem. No capítulo 3 encontram-se as técnicas de modelagem do solo. O capítulo 4 abrange os sistemas de aterramento. O capítulo 5 discorre sobre o tratamento químico do solo. O capítulo 6 trata sobre a resistividade aparente de um sistema de aterramento. O capítulo 7 trata a respeito da fibrilação ventricular do coração pelo choque elétrico. O capítulo 9 refere-se ao processo de medição da resistência de terra. O capítulo 10 aborda sobre a corrosão num sistema de aterramento. O capítulo 11 faz uma análise de surtos de tensão num sistema de aterramento com uma haste. E no apêndice A encontram-se as tabelas de hastes paralelas, alinhadas e igualmente espaçadas.

2.2 Comparação entre os livros

Afim de se facilitar uma comparação entre a abrangência de conteúdo dos livros didáticos analisados nesta pesquisa, os conteúdos relacionados ao tema Aterramento de Instalações Elétricas Prediais serão divididos em subtemas. Essa

divisão se dará por meio da similaridade dos assuntos. O Quadro 2.11 mostra a divisão dos conteúdos.

Quadro 2.11: Divisão em subtemas.

Subtemas	Conteúdos
Definições	Definições de palavras chaves essenciais para o entendimento do tema da pesquisa. Exemplos: aterramento, choque elétrico, parte viva, elemento condutor, etc.
Importância	Assuntos relacionados a importância de se fazer um aterramento. Exemplos: questões de segurança, influência da corrente elétrica no corpo humano, desempenho de um sistema elétrico, etc.
Aplicações	Aplicações ou funções que o aterramento pode ter. Exemplos: aterramento funcional, aterramento de proteção, caminho de escoamento para descargas atmosféricas, etc.
Necessidades	Assuntos referentes a necessidade de um local ou equipamento precisar ser aterrado. Exemplos: aterramento obrigatório de instalações elétricas, aterramento obrigatório de chuveiro elétrico, etc.
Exceções	Assuntos relacionados a ocasiões em que um local ou equipamento não precisa ser aterrado. Exemplos: proteção em locais não condutores, proteção por separação elétrica, etc.
Métodos de Aplicação	Métodos de aplicação de um aterramento. Exemplos: esquemas de aterramento, ligações entre equipamentos e aterramento, etc.
Métodos de Medição	Métodos de medição dos componentes de um aterramento. Exemplos: medição da resistência do aterramento e da resistividade do solo, tratamento químico do solo, etc.
Fórmulas	Fórmulas utilizadas no cálculo de um aterramento e de seus componentes. Exemplos: resistência de aterramento, resistência de aterramento do eletrodo, tensão de passo, etc.
Circuitos	Assuntos que envolvem as interseções do aterramento com a proteção dos circuitos
SPDA	Assuntos referentes às interseções do aterramento com o SPDA

Fonte: Próprio autor

Com base no Quadro 2.11 e no subitem 2.1 é possível analisar quais subtemas estão presentes em cada livro. Permitindo assim, comparar a abrangência que cada livro dá ao conteúdo aterramento de instalações elétricas prediais. A Tabela 2.1 mostra

quais e quantos subtemas aparecem nos livros, os nomes entre parênteses referem-se aos autor(es) dos livros.

Tabela 2.1: Subtemas presentes em cada livro.

Subtemas	Livro 1 (Nery)	Livro 2 (Lima)	Livro 3 (Cavalin e Cervelin)	Livro 4 (Niskier e Macintyre)	Livro 5 (Creder)	Livro 6 (Mamede)	Livro 7 (Cotrim)	Livro 8 (Visacro)	Livro 9 (Kindermann e Campagnolo)
Definições	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Importância	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Aplicações	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Necessidades		•	•	•	•	•	•		•
Exceções		•			•		•		
Métodos de Aplicação	•	•	•	•	•	•	•		•
Métodos de Medição						•		•	•
Fórmulas		•			•	•	•	•	•
Circuitos	•	•	•		•	•	•		
SPDA		•	•	•	•	•	•		
Total	5	9	7	6	9	9	9	5	7

Fonte: Próprio autor

Ao se observar a Tabela 2.1, pode-se perceber que os livros de 1 a 7, focados em Instalações Elétricas, possuem uma semelhança nos subtemas abordados. Assim como os livros 8 e 9, voltados para Aterramento Elétrico, que também possuem uma semelhança entre si.

Os livros que possuem maior abrangência do conteúdo são o Livro 2, o Livro 5, o Livro 6 e o Livro 7, ambos têm nove dentre os dez subtemas do assunto. Enquanto que o Livro 1 e o Livro 8 apresentam menor abrangência, apenas com metade dos subtemas.

Além disso, também pode-se notar que o subtema Métodos de Medição está presente somente nos livros 6, 8 e 9. Encontra-se com abordagem em poucos livros também o subtema Exceções, que só aparece no Livro 2, no Livro 5 e no Livro 7. E mais, nenhum dos livros possui todos os subtemas.

Desta maneira, nota-se que o conteúdo aterramento de instalações elétricas prediais encontra-se segmentado nos livros didáticos. Em cada livro há uma porção do conteúdo, o que dificulta o aprendizado dos alunos que necessitam aprender sobre este tema.

3. Revisão Teórica

Com base na análise feita na revisão bibliográfica, neste capítulo será feita uma revisão teórica visando contextualizar a questão do aterramento. Esta revisão tem como finalidade apresentar um conteúdo que sirva de base teórica para o capítulo seguinte, no qual será visto, de forma mais específica, algumas aplicações do aterramento para instalações elétricas prediais.

A NBR 5410:2004 [12] estabelece que as proteções contra choques elétricos, efeitos térmicos, sobrecorrentes e sobretensões são fundamentais para garantir a segurança de pessoas, animais e bens contra perigos e danos que possam resultar da utilização das instalações elétricas.

Um item de extrema importância na proteção contra choques elétricos é o aterramento, foco deste trabalho. Que, por sua vez, também possui interseções com outras proteções de uma instalação, como será visto na seção 3.3.

3.1 Definições, terminologias e conceitos básicos

Para que se possa entender o aterramento no contexto de instalações elétricas prediais, é essencial saber as definições das palavras, as terminologias utilizadas e os conceitos básicos que fundamentam a matéria.

3.1.1 Aterramento

Consiste na ligação intencional e de baixa impedância de uma estrutura ou instalação à terra (solo). Essa ligação faz com que o solo se torne referência do sistema elétrico (ponto com potencial zero volt) e proporciona um caminho seguro para a dispersão de uma corrente elétrica.

3.1.2 Choque elétrico

É a perturbação, de natureza e efeitos variados, que ocorre pela passagem de uma corrente elétrica pelo corpo humano, ou de animais.

3.1.3 Parte viva

Parte condutora (condutor elétrico ou qualquer outro elemento condutor), pertencente à instalação, que pode ser energizado em condições normais de uso.

3.1.4 Massa

Elementos condutores que não são energizados em condições normais de uso. Mas que em caso de faltas ou defeitos podem tornar-se energizados, provocando acidentes ao serem tocados diretamente. São exemplos de massa, as estruturas e invólucros metálicos de equipamentos elétricos.

3.1.5 Elemento Condutor Estranho à Instalação

Qualquer elemento que não faz parte da instalação, mas pode introduzir nela um potencial elétrico, normalmente o de terra.

3.1.6 Equipotencialização

Também conhecido por ligação equipotencial. É a ligação elétrica que faz com que as massas e elementos condutores fiquem aproximadamente no mesmo potencial.

3.1.7 Contato Direto

Ocorre quando uma pessoa toca um elemento energizado da instalação, sendo esse elemento uma parte viva. Na maior parte dos casos sua ocorrência é devido a desconhecimento, negligência ou imprudência das pessoas, e por esses motivos é mais raro de acontecer [9].

3.1.8 Contato Indireto

Ocorre quando uma pessoa toca um elemento energizado da instalação, sendo esse elemento uma massa sob tensão. Sua ocorrência é mais frequente e imprevisível.

3.1.9 Sobrecorrentes

São correntes elétricas cujos valores superam o valor da corrente nominal. Podem ser originadas por: solicitação do circuito acima das características do projeto (sobrecarga) ou falta elétrica (curto-circuito).

3.1.10 Correntes de Sobrecarga

São altamente prejudiciais ao sistema elétrico, provocam elevação da corrente do circuito a valores que podem ser bem maiores que a corrente nominal, o que gera efeitos térmicos muito danosos aos circuitos.

3.1.11 Correntes de curto-circuito

São geradas por falhas ou defeitos graves da instalação, produzindo correntes extremamente altas em relação ao valor da corrente nominal do circuito.

3.1.12 Correntes de Fuga

São correntes que, na ausência de falta, fluem para terra ou para elementos condutores estranhos à instalação.

3.1.13 Importância do aterramento

O aterramento é de muita importância para um sistema de energia elétrica. Quando bem feito ele permite uma adequada continuidade de serviço, um desempenho seguro do sistema de proteção e, mais ainda, garante os limites (dos níveis) de segurança pessoal.

Um aterramento correto permite que os equipamentos funcionem de maneira adequada, e os protege contra possíveis falhas. Pois ele propicia a interrupção do suprimento de energia de um sistema ou circuito elétrico, a fim de isolar o defeito. O que impede que a falha se propague, evitando danos para os equipamentos, para a edificação e para os seres vivos.

Em relação à segurança dos seres vivos, a proteção contra choques elétricos é importantíssima. O choque elétrico ocorre pela passagem de uma corrente elétrica pelo organismo, e pode causar efeitos graves numa pessoa, inclusive levá-la a óbito. Devido a isso, visando ratificar a importância do aterramento no quesito segurança das pessoas, a seguir serão vistos assuntos relacionados ao choque elétrico e seus efeitos no corpo humano.

3.1.13.1 Efeitos da Corrente Elétrica no Corpo Humano

Os efeitos provenientes de um choque elétrico variam e dependem de:

- Intensidade da corrente elétrica;
- Percurso da corrente elétrica pelo corpo;
- Tensão elétrica;
- Frequência da corrente elétrica;
- Espécie da corrente elétrica;

- Tempo de duração do choque elétrico;
- Estado de umidade da pele;
- Condições orgânicas do indivíduo.

Devido a tantos fatores influenciarem um choque elétrico, é complexo avaliar seus efeitos. Porém, numa escala progressiva em relação a intensidade de corrente, é possível dizer que as manifestações do choque elétrico no corpo humano evoluem numa certa sequência [10]:

- Simples formigamento (ou aquecimento);
- Enrijecimento muscular;
- Inibição dos centros nervosos (com chance de parada respiratória);
- Alteração do ritmo cardíaco (em algumas situações causando a fibrilação ventricular);
- Ocorrência de queimaduras profundas com necrose dos tecidos;
- Alterações no sangue (ocasionadas por efeitos térmicos e eletrolíticos da corrente elétrica).

Na Tabela 3.1 também é possível ver uma estimativa das manifestações da corrente elétrica no corpo humano. Ela apresenta os efeitos causados por correntes alternadas de 50 a 60 Hz, e não levam em conta o tempo de duração do choque.

Tabela 3.1: Efeitos da corrente elétrica no corpo humano.

I (mA)		Reação Fisiológica	Consequência	Salvamento	Resultado final mais provável
CA	CC				
Até 25	Até 80	1 mA (CA): - Limiar de sensação/sensação de formigamento	Se a corrente for próxima de 25 mA (CA), pode haver asfixia e consequentemente a morte aparente.	Respiração artificial	Restabelecimento
		5-15 mA (CA): - Contração muscular			
		15-25 mA (CA): - Contrações violentas - Impossibilidade de soltar o fio energizado - Problemas respiratórios			
25-80	80-300	- Sensação insuportável - Contrações violentas - Asfixia	Morte aparente	Respiração artificial	Restabelecimento
> 80	> 300	- Asfixia imediata - Fibrilação ventricular - Alterações musculares (químicas) - Queimaduras	Morte aparente	Respiração artificial Massagem cardíaca	Restabelecimento, caso levado ao hospital e feito a desfibrilação
Corrente da ordem de ampères		- Queimaduras (efeito térmico) - Necrose dos tecidos - Fibrilação ventricular - Asfixia imediata - Danos posteriores resultantes da eletrólise	- Morte aparente - Dependendo da extensão das queimaduras, sequelas ou morte	Respiração artificial Massagem cardíaca Tratamento hospitalar	- Hospital - Desfibrilação - Recuperação difícil - Atrofia muscular - Outros danos

Fonte: Adaptado de Aterramento Elétrico [11]. 124 p.

Dentre as manifestações citadas acima, uma que merece grande destaque no estudo de aterramento é a fibrilação ventricular. Que é definida como o estado de vibração irregular e sem ritmo das paredes dos ventrículos, com perda total do êxito do bombeamento do sangue. Sua importância se justifica pelo fato dela estar associada ao potencial de toque e passo, que serão vistas mais a frente neste capítulo.

Um outro fator que também influencia muito no efeito da corrente elétrica é o caminho que ela percorre no corpo. Os caminhos que passam próximos ao coração são os mais perigosos para o ser humano. Dentro desse contexto, a Tabela 3.2 mostra os valores do fator de corrente do coração (F) para diferentes trajetos da corrente no corpo humano. Quanto maior o valor de F, mais perigoso o trajeto é para uma pessoa.

Tabela 3.2: Valores do fator de corrente do coração (F) para diferentes trajetos da corrente.

Trajeto da Corrente que passa pelo corpo humano	F
Mão esquerda ao pé esquerdo, ao pé direito ou aos dois pés	1,0
Das mãos aos pés	1,0
Da mão esquerda à direita	0,4
Da mão direita ao pé esquerdo, ao pé direito ou a ambos	0,8
Das costas à mão direita	0,3
Das costas à mão esquerda	0,7
Do peito à mão direita	1,3
Do peito à mão esquerda	1,5
Mão esquerda, mão direita ou mão e nádegas	0,7

Fonte: Instalações Elétricas [9]. 72 p.

3.1.13.2 Potencial de Toque

É definido como a diferença de potencial entre o ponto da estrutura metálica, localizada ao alcance da mão de uma pessoa, e um ponto no chão localizado a 1m da base da estrutura [11], também pode ser chamado de tensão de toque. A Figura 3.1 ilustra esse conceito.

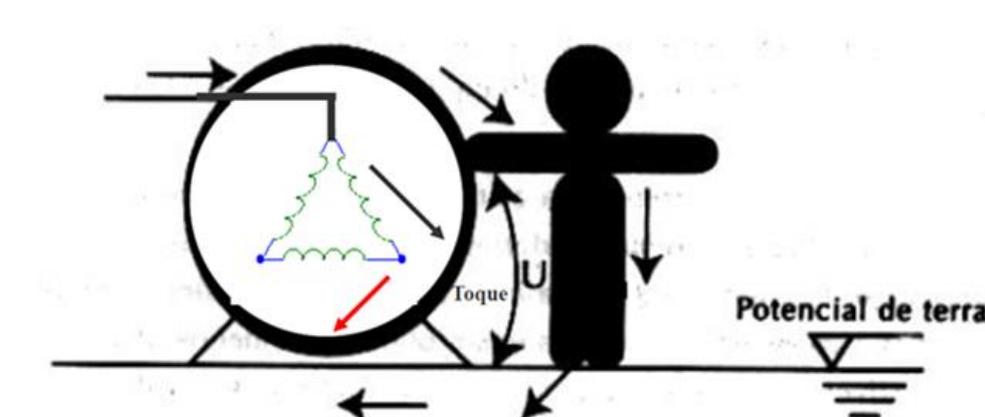


Figura 3.1: Potencial de Toque - Fonte: Pantoja Engineering [18]

3.1.13.3 Potencial de Passo

É definido como a diferença de potencial existente entre os dois pés. Ele pode ocorrer quando os membros de apoio (pés) se encontrarem sobre linhas equipotenciais diferentes [11], também pode ser chamado de tensão de passo. Essas linhas equipotenciais surgem na superfície do solo ao ocorrer escoamento da corrente de curto-circuito. Caso os dois pés estejam sobre a mesma linha equipotencial, ou se somente um único pé estiver sendo usado como apoio, não haverá tensão de passo.

Para análise de segurança, a distância entre os dois pés é normalmente considerada de 1m.

A Figura 3.2 indica o potencial de passo.

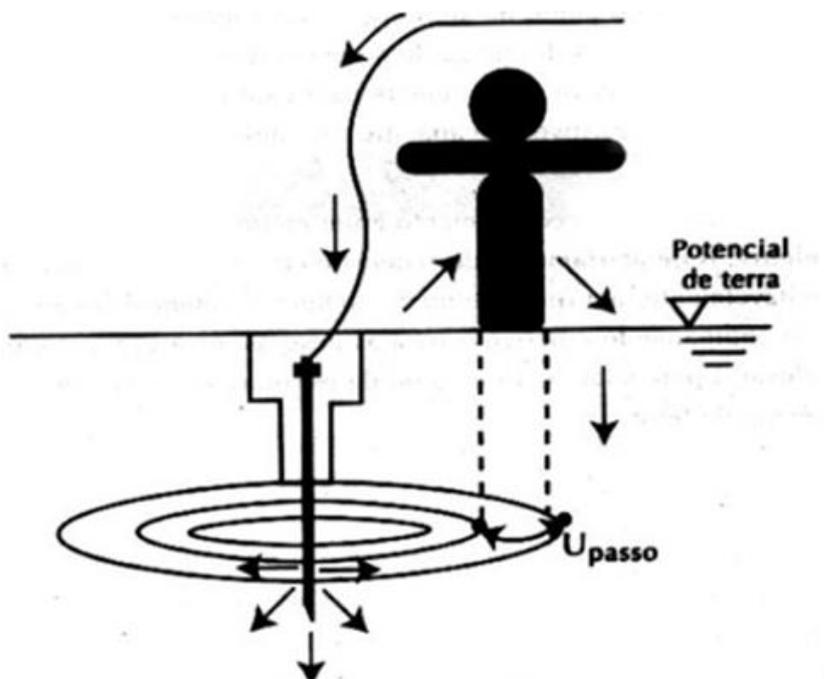


Figura 3.2:Potencial de Passo - Fonte: Pantoja Engineering [18]

3.1.13.4 Tensão de contato

É definido como a tensão que pode aparecer acidentalmente entre duas partes simultaneamente acessíveis da instalação, quando há uma falha de isolamento [9]. Esta diferença de potencial pode aparecer entre duas mãos, entre uma mão e um pé, entre duas mãos e os dois pés, ou em outras situações em que o indivíduo fique sujeito a uma diferença de tensão ao tocar duas partes da instalação.

A Figura 3.3 ilustra a tensão de contato entre as duas mãos de um indivíduo.

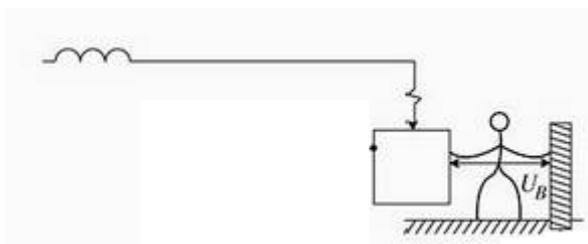


Figura 3.3:Tensão de Contato (U_B) - Fonte: Adaptado de Instalações Elétricas [9]. 83 p.

3.1.14 Funcionalidade do aterramento

Existe um conjunto de funções que o aterramento pode desempenhar num sistema. De acordo com a natureza dessa função, o aterramento pode ter configuração bem diversificada (a nível do posicionamento dos seus eletrodos no solo e de sua dimensão). No entanto, as correspondentes aplicações estão associadas a dois fatores fundamentais [10]:

- Desempenho do sistema ao qual o aterramento está conectado;
- Questões de segurança (de seres vivos) e proteção (de equipamentos).

Dentro desse contexto as principais funções do aterramento são:

- Obter uma resistência de aterramento que seja a mais baixa possível, para correntes de falta à terra;
- Fazer que equipamentos de proteção sejam mais sensibilizados e isolem de forma rápida as falhas à terra;
- Manter os potenciais gerados pelas correntes de falta dentro de limites de segurança, de maneira a não causar fibrilação do coração humano;
- Proporcionar um caminho de escoamento para terra de descargas atmosféricas;
- Escoar cargas estáticas produzidas nas carcaças dos equipamentos.

Em termos de segurança, precisam ser aterradas todas as partes metálicas que possam eventualmente ter contato com partes energizadas. Desta maneira, um contato acidental de uma parte energizada com a massa metálica aterrada determinará um curto-circuito, promovendo a atuação da proteção e interrompendo a ligação do circuito energizado com a massa [11].

Alguns ambientes possuem um sistema de proteção contra choques elétricos que são suficientes para proteção de um determinado sistema, não sendo necessário a

utilização do aterramento nesses casos. Esses tipos de ambientes serão abordados na seção 4.6 do Capítulo 4.

3.1.15 Sistemas de Aterramento

Os sistemas de aterramento são os sistemas físicos criados para proteção de pessoas, animais, estruturas e equipamentos contra possíveis falhas de um determinado sistema.

Existem diversos tipos de sistemas de aterramento, e eles devem ser feitos de maneira a garantir a melhor ligação com a terra [11].

Os principais tipos são:

- Uma simples haste cravada no solo, vide exemplo da Figura 3.4;

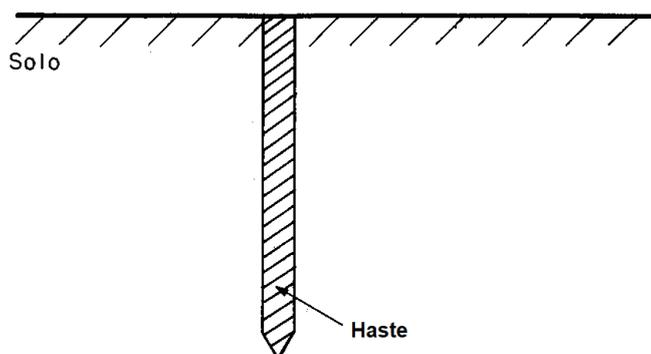


Figura 3.4:Haste simples cravada no solo - Fonte: Adaptado de Aterramento Elétrico [11]. 62 p.

- Hastes alinhadas, conforme exemplo da Figura 3.5;

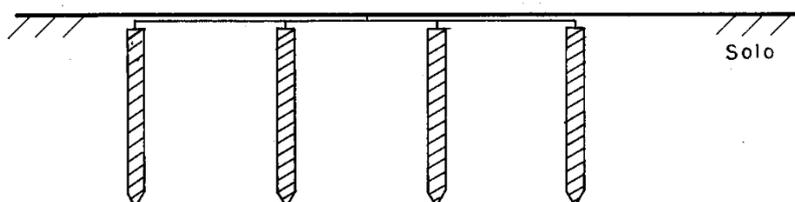


Figura 3.5:Quatro hastes alinhadas cravadas no solo - Fonte: Adaptado de Aterramento Elétrico [11]. 72 p.

- Hastes em triângulo, de acordo com o exemplo da Figura 3.6;

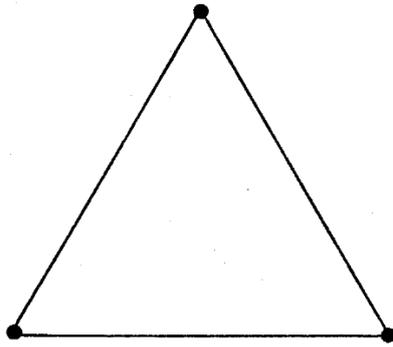


Figura 3.6:Hastes cravadas nos vértices de um triângulo equilátero - Fonte: Adaptado de Aterramento Elétrico [11]. 76 p.

- Hastes em quadrado, conforme exemplo da Figura 3.7;

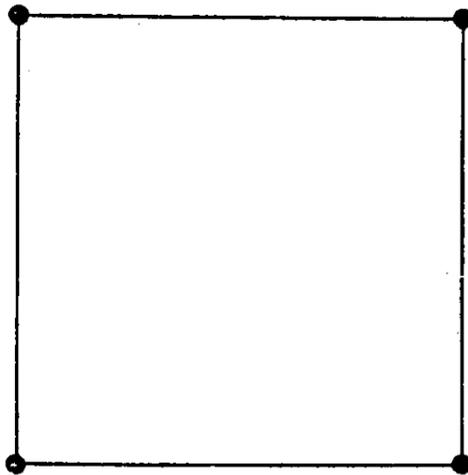


Figura 3.7:Hastes cravadas nos vértices de um quadrado - Fonte: Adaptado de Aterramento Elétrico [11]. 78 p.

- Hastes em círculo, vide exemplo da Figura 3.8;

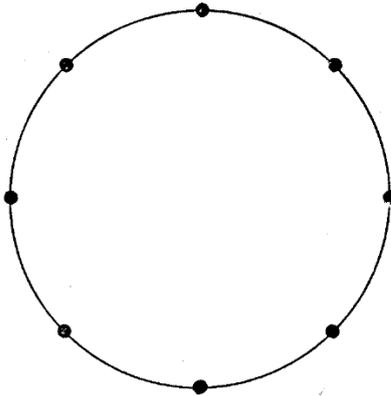


Figura 3.8:Hastes cravadas em uma circunferência - Fonte: Adaptado de Aterramento Elétrico [11]. 82 p.

- Placas condutoras enterradas no solo, conforme exemplo da Figura 3.9;



Figura 3.9:Placa condutora enterrada no solo - Fonte: Blog do Portal Eletrodomésticos [19]

- Cabos ou fios enterrados no solo, compondo diversas configurações, tais como:

- Estendido em vala comum, vide exemplo da Figura 3.10;



Figura 3.10:Fio condutor estendido em uma vala - Fonte: Energisul [20]

- Em cruz ou em estrela, vide exemplo da Figura 3.11;

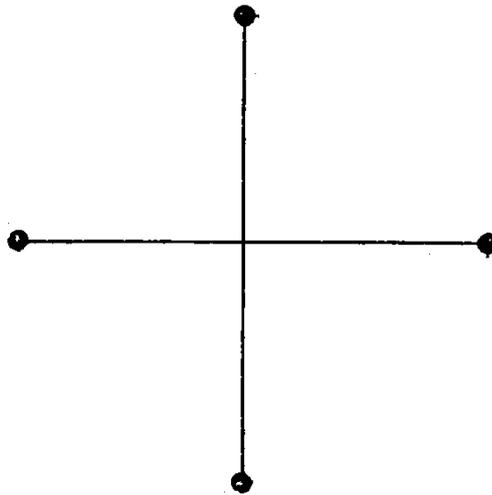


Figura 3.11:Hastes compondo uma cruz - Fonte: Próprio autor

- Quadriculados, formando uma malha de terra, conforme exemplo da Figura 3.12.

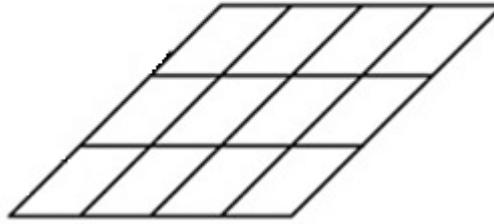


Figura 3.12:Malha de terra - Fonte: Adaptado de Portal Eletricista [21]

O tipo de sistema de aterramento a ser escolhido depende da importância, do local e do custo do sistema de energia elétrica envolvido. O sistema mais eficiente, dentre os citados, é a malha de terra [11].

3.1.15.1 Componentes de um Sistema de Aterramento

Terra (de referência)

Superfície equipotencial considerada como o potencial zero para referência de tensões elétricas.

Eletrodo de aterramento

O termo pode ser aplicado tanto a uma simples haste enterrada no solo quanto a diversas hastes enterradas e interligadas, e também a outros tipos de condutores em várias configurações. De modo que esses condutores estejam em contato direto com a terra, garantindo assim, a ligação com o solo.

Condutor de Proteção (PE)

Condutor de proteção dos circuitos, cuja função é aterrar as massas metálicas de equipamentos elétricos. O seu dimensionamento tem em vista a proteção de pessoas contra choques elétricos devido a contatos indiretos, bem como o desempenho adequado dos dispositivos protetores (fusível, disjuntor, interruptor ou disjuntor DR).

Condutor PEN

Condutor que exerce, de forma simultânea, as funções de condutor de neutro (N) e de condutor de proteção (PE).

3.1.15.2 Classificação

A NBR 5410:2004 [12] define uma simbologia para classificar os esquemas de aterramento em instalações elétricas de baixa tensão. Essa classificação é feita em função do aterramento da fonte de alimentação da instalação (transformador, na maior parte dos casos, ou gerador) e das massas [9].

A classificação é feita através de letras, como segue:

- Primeira Letra: Determina a situação da alimentação em relação à terra.

- T: A alimentação possui um ponto diretamente aterrado.

- I: Isolação, em relação à terra, de todas as partes vivas da alimentação ou aterramento de um ponto por meio de uma impedância elevada.

- Segunda Letra: Determina a situação das massas das cargas ou equipamentos em relação à terra.

- T: Massas aterradas com terra próprio, ou seja, independentemente de um eventual aterramento da alimentação.

- N: Massas sem um aterramento próprio no local, mas que são ligadas ao ponto aterrado da fonte de alimentação.

- I: Massas isoladas, isto é, não aterradas.

- Outras Letras: Determinam a forma de conexão do aterramento da massa do equipamento, usando o sistema de aterramento da fonte de alimentação.

- S: Separado, ou seja, o aterramento é feito por um condutor (PE) distinto do condutor neutro.

- C: Comum, ou seja, o aterramento das massas dos equipamentos é feito com o condutor neutro (PEN).

Esquema TT

No esquema TT, a fonte de alimentação (normalmente o secundário do transformador com seu ponto de neutro) é diretamente aterrada e as massas da instalação são ligadas a um ou mais de um eletrodo de aterramento, de forma independente do eletrodo de aterramento da alimentação [9].

O esquema TT está ilustrado na Figura 3.13, em que L1, L2, e L3 representam os condutores de fase do sistema de alimentação.

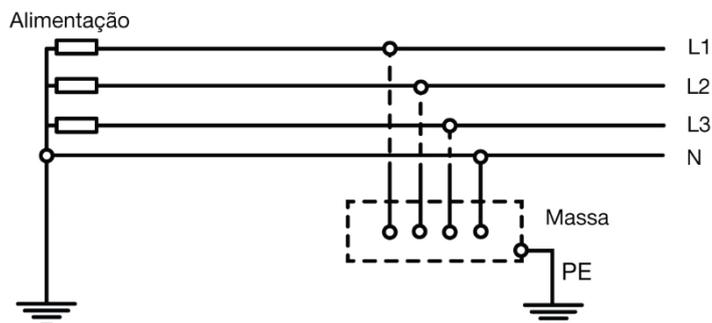


Figura 3.13:Esquema TT - Fonte: Adaptado de Hager [22]

Nesse esquema, o percurso de uma corrente gerada por uma falta fase-massa inclui a terra, e a elevada impedância (resistência) desse percurso limita o valor dessa corrente. A intensidade da corrente de falta direta fase-massa será inferior a de uma corrente de curto-circuito fase-neutro.

Apesar da corrente de falta fase-massa ser limitada neste esquema, ela ainda pode apresentar magnitude suficiente para produzir tensões de toque perigosas.

Um dos possíveis usos deste sistema é quando a fonte de alimentação e a carga estão muito distantes uma da outra.

Esquema TN

O esquema TN possui um ponto da alimentação, normalmente o neutro, diretamente aterrado e as massas dos equipamentos elétricos são conectadas a este ponto através de um condutor metálico [9].

Nesse esquema, o percurso de uma corrente gerada por uma falta fase-massa é constituído por condutores metálicos, e por isso, possui baixa impedância, tornando essa corrente alta. O valor da corrente de falta direta fase-massa será equivalente ao de uma corrente de curto-circuito fase-neutro.

Esse esquema pode ser de três tipos:

- TN-S: quando as funções de proteção e de neutro são feitas através de condutores distintos (PE e N), conforme Figura 3.14;

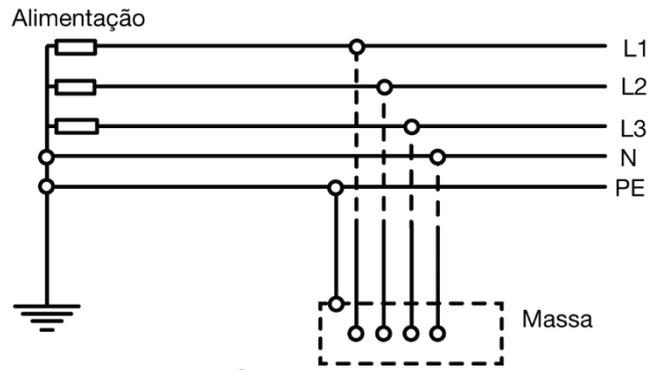


Figura 3.14:Esquema TN-S - Fonte: Adaptado de Hager [23]

- TN-C: quando as funções de proteção e de neutro são feitas através do mesmo condutor (PEN) ao longo de toda a instalação, como ilustrado na Figura 3.15;

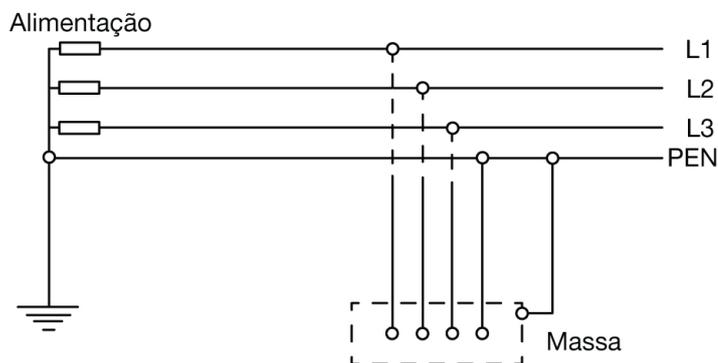


Figura 3.15:Esquema TN-C - Fonte: Adaptado de Hager [23]

- TN-C-S: quando as funções de proteção e de neutro são feitas através do mesmo condutor (PEN) em uma parte da instalação, vide Figura 3.16.

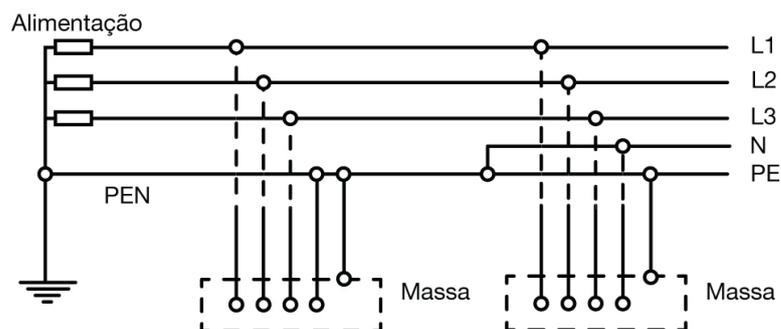


Figura 3.16:Esquema TN-C-S - Fonte: Adaptado de Hager [23]

No sistema TN-S todo o condutor PE está praticamente no mesmo potencial do aterramento da fonte, ou seja, com tensão zero ou quase zero em toda sua extensão. Isso gera um aspecto positivo a nível de segurança, pois a tensão de toque sobre um operador de equipamento elétrico será nula.

Já no sistema TN-C, a tensão do condutor PEN junto da carga não é igual a zero, visto que existem correntes de cargas (incluindo harmônicas) e de desequilíbrio retornando pelo neutro, o que causa quedas de tensão ao longo do condutor PEN. E assim, surge uma tensão de toque sobre um operador que toque o equipamento elétrico.

Esquema IT

O esquema IT não possui nenhum ponto da alimentação diretamente aterrado, a alimentação é isolada da terra ou aterrada por uma impedância (Z) de valor elevado. As massas são conectadas à terra através de eletrodo ou eletrodos de aterramento próprios. Esse esquema está ilustrado na Figura 3.17.

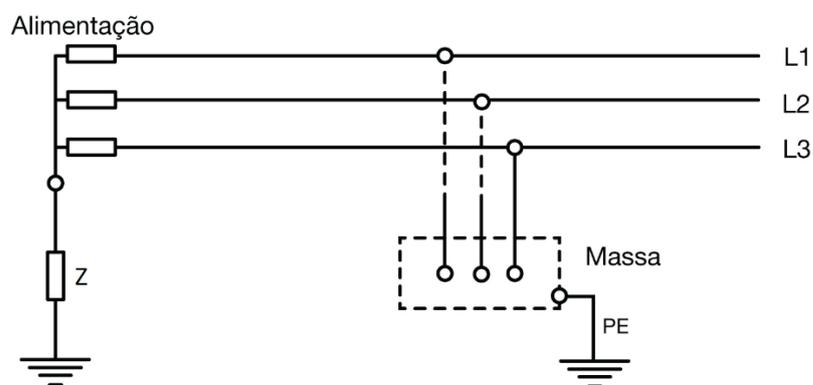


Figura 3.17:Esquema IT - Fonte: Adaptado de Hager [24]

No esquema IT, a corrente resultante de uma única falta fase-massa, em geral, não possui intensidade suficiente para provocar o aparecimento de tensões de toque perigosas e nem para fazer a proteção atuar. Somente em dupla falta fase-massa, em fases distintas, a corrente poderá fazer a proteção atuar.

Este esquema é interessante ser utilizado quando se quer que a corrente da primeira falta fase-massa apenas sinalize uma falha no sistema, sem a necessidade de se desligar o circuito imediatamente. O que permite que a equipe de manutenção programe seu serviço para um horário mais adequado.

3.2 Aterramento nas instalações prediais

Dando seguimento ao que já foi visto até aqui a respeito de aterramento, nesta seção será feita uma revisão a respeito do aterramento para instalações elétricas prediais.

No Brasil, as condições que as instalações elétricas prediais devem satisfazer, são regidas pela norma NBR 5410/2004 [12], que é destinada a instalações elétricas de

baixa tensão (sob tensão nominal igual ou inferior a 1000 V), sejam elas residenciais, comerciais ou industriais. Esta norma visa garantir a segurança das pessoas e animais, o funcionamento correto da instalação e a conservação dos bens.

Os critérios de aterramento de instalações prediais também se encontram estabelecidos na NBR 5410/2004, podendo ser complementados com as recomendações da NBR 5419/2005 [13].

Assim, a revisão contida nesta seção tem a finalidade de destacar os principais aspectos referentes ao aterramento para instalações elétricas prediais, de acordo com a bibliografia adotada para a pesquisa e respeitando as prescrições das normas.

Nas instalações elétricas prediais, são considerados dois tipos básicos de aterramento: o aterramento funcional e o aterramento de proteção, que serão vistos nos subitens seguintes.

Pode-se citar também o aterramento de trabalho, cujo objetivo é tornar possível, sem perigo de acidente, atividades de manutenção em partes da instalação normalmente sob tensão, postas fora de serviço para esse fim. Trata-se de um aterramento provisório, que é desfeito ao final do trabalho de manutenção, e que não fará parte do escopo neste trabalho.

3.2.1 Aterramento Funcional

Consiste na ligação à terra de um dos condutores do sistema, normalmente o neutro, e está relacionado ao funcionamento correto, seguro e confiável da instalação [9].

Este tipo de aterramento proporciona:

- Definição e estabilização da tensão da instalação em relação à terra ao longo do funcionamento.
- Limitação de sobretensões devidas a descargas atmosféricas, manobras e contatos acidentais com linhas de tensão mais elevada.

Em relação ao aterramento funcional, os sistemas podem ser classificados em:

- Diretamente aterrados.
- Aterrados através de impedância (resistor ou reator).
- Não aterrados.

3.2.2 Aterramento de Proteção

Consiste na ligação à terra das massas e dos elementos condutores estranhos à instalação, visando à proteção contra choques elétricos por contato indireto [9].

Este tipo de aterramento possui como finalidades:

- Limitar o potencial entre massas, entre as massas e elementos condutores estranhos à instalação, e entre os dois e a terra, a um valor de segurança sob condições normais e anormais de funcionamento.
- Propiciar às correntes de falta um trajeto de retorno para a terra de baixa impedância, de modo que o dispositivo de proteção possa atuar de maneira adequada.

3.2.3 Aterramento e Equipotencialização

Componentes do Aterramento de Proteção e Equipotencialização

Além dos componentes de um sistema de aterramento, já citados no item 3.1.15.2, seguem mais algumas definições que serão importantes para o entendimento do tema desta pesquisa.

3.2.3.1 Barramento de Equipotencialização Principal (BEP)

É um dispositivo, geralmente uma barra, que realiza a chamada ligação equipotencial principal. Ele reúne o condutor de aterramento, o condutor de proteção principal e o(s) condutor(es) de equipotencialidade principal(is). Ele deve ser instalado, de preferência, junto ou próximo do ponto de entrada da alimentação elétrica.

3.2.3.2 Condutor de Aterramento

O condutor de aterramento é aquele que faz a ligação do barramento de equipotencialização principal (BEP) com o eletrodo de aterramento [9], garantindo a continuidade elétrica do sistema de aterramento.

3.2.3.3 Condutores de Equipotencialização Principal

Destinados a interligar as tubulações metálicas não pertencentes a instalação elétrica (sistemas de água, gás, ar condicionado, etc.), os elementos metálicos e as estruturas da instalação ao BEP.

3.2.3.4 Condutores de Equipotencialização Suplementar

Destinados a interligar massas e/ou elementos condutores estranhos à instalação.

3.2.3.5 Eletrodo de Aterramento

De acordo com a NBR 5410/2004 [12], toda instalação elétrica predial deve dispor de uma infraestrutura de aterramento, denominada eletrodo de aterramento, sendo aceitas as seguintes opções:

- Preferencialmente, devem ser usadas as próprias armaduras do concreto das fundações (armaduras de aço das estacas, dos blocos de fundação e vigas baldrame).
- Utilizar fitas, barras ou cabos metálicos, especialmente previstos, imersos no concreto das fundações.
- Usar malhas metálicas enterradas, no nível das fundações, cobrindo a área da edificação e, complementadas, quando necessário, por hastes verticais e/ou cabos dispostos radialmente.
- No mínimo, utilizar anel metálico enterrado, circundando o perímetro da edificação e, complementado, quando necessário, por hastes verticais e/ou cabos dispostos radialmente.

Toda infraestrutura de aterramento tem o dever de:

- Proporcionar confiabilidade e cumprir todos os requisitos de segurança.
- Conduzir as correntes de falta à terra sem riscos de danos térmicos, termomecânicos e eletromecânicos, ou de choques elétricos ocasionados por essas correntes.
- Quando aplicável, cumprir também aos requisitos funcionais da instalação.

A infraestrutura de aterramento deve poder ser acessada, no mínimo, junto de cada ponto de entrada ou saída de condutores e utilidades da edificação e em outros pontos que forem essenciais à equipotencialização.

3.2.3.6 Materiais dos Eletrodos de Aterramento

Os materiais e as dimensões dos eletrodos de aterramento devem ser escolhidos de maneira a resistir à corrosão e a apresentar resistência mecânica adequada.

A Tabela 3.3 apresenta os materiais e as características dos eletrodos que normalmente são utilizados em eletrodos de aterramento.

Tabela 3.3: Eletrodos de aterramento normalmente utilizados.

Material	Superfície	Forma	Dimensões mínimas			
			Diâmetro mm	Seção mm ²	Espessura do material em mm	Espessura média do revestimento µm
Aço	Zincada a quente ¹ ou inoxidável ¹	Fita ²		100	3	70
		Perfil		120	3	70
		Haste de seção circular ³	15			70
		Cabo de seção circular		95		50
		Tubo	25		2	55
	Cabo de cobre	Haste de seção circular ³	15			2000
	Revestida de cobre por eletrodeposição	Haste de seção circular ³	15			254
Cobre	Nu ¹	Fita		50	2	
		Cabo de seção circular		50		
		Cordoalha	1,8 (cada veia)	50		
		Tubo	20		2	
	Zincada	Fita ²		50	2	40

Notas:

1. Pode ser utilizada para embutir em concreto
2. Fita com cantos arredondados
3. Para eletrodo de profundidade

Fonte: Instalações Elétricas [9]. 84p.

É importante frisar que não se admite o uso de canalizações metálicas de água ou de outros serviços como eletrodos de aterramento.

3.2.3.7 Equipotencialização

De acordo com a NBR 5410/2004, as medidas de proteção contra choques elétricos são baseadas na equipotencialidade das massas e dos elementos condutores estranhos à instalação [9].

Dentro desse contexto, o barramento de equipotencialização principal (BEP) é essencial para fazer com que essa proteção seja adequada.

Equipotencialização Principal

Em cada edificação deve ser feita uma equipotencialização principal, em que o BEP deve permitir que sejam conectados a ele, direta ou indiretamente os seguintes elementos:

- As armaduras de concreto armado e outras estruturas metálicas da edificação;
- As tubulações de água, de esgoto, de gás combustível, de sistema de ar condicionado, de ar comprimido, de gases industriais, de vapor, etc., assim como os elementos estruturais metálicos a elas associados;
- Os condutores metálicos das linhas de energia e de sinal que entram e/ou saem da edificação;
- As armações, blindagens, coberturas e capas metálicas de cabos das linhas de energia e de sinal que entram e/ou saem da edificação;
- Os condutores de proteção das linhas de energia e de sinal que entram e/ou saem da edificação;
- Os condutores de interligação que provém de outros eletrodos de aterramento porventura existentes ou previstos no retorno da edificação;
- Os condutores de interligação que provém de eletrodos de aterramento de edificações vizinhas, nos casos em que essa interligação for necessária ou recomendável;
- O condutor de neutro da alimentação elétrica, exceto se não existente ou se a edificação tiver que ser alimentada, por qualquer motivo, em esquema TT ou IT;
- O(s) condutor(es) de proteção principal(is) da instalação elétrica (interna) da edificação.

Todos os elementos que estejam conectados ao BEP devem ser desconectáveis individualmente, somente por meio de ferramentas.

É importante ressaltar que se admite que a barra PE do quadro de distribuição principal, que reúne os condutores de proteção dos circuitos (PEs), acumule a função

de BEP. Mas para isso, esse quadro deve estar localizado o mais próximo possível da entrada da linha elétrica na edificação.

As Figuras 3.18, 3.19 e 3.20 são exemplos que mostram detalhes da utilização de aterramento e equipotencialização principal.

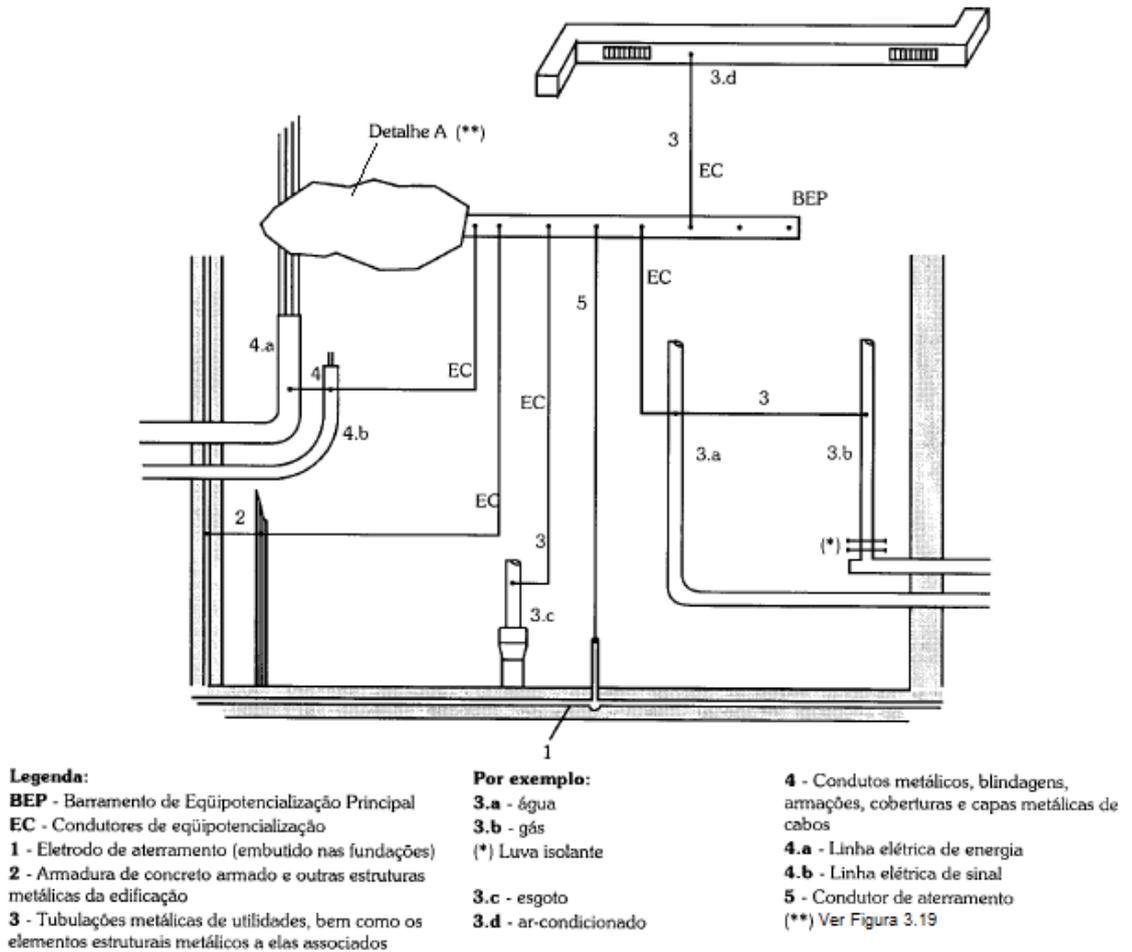


Figura 3.18: Equipotencialização Principal - Fonte: Adaptado de Instalações Elétricas [5]. 367 p.

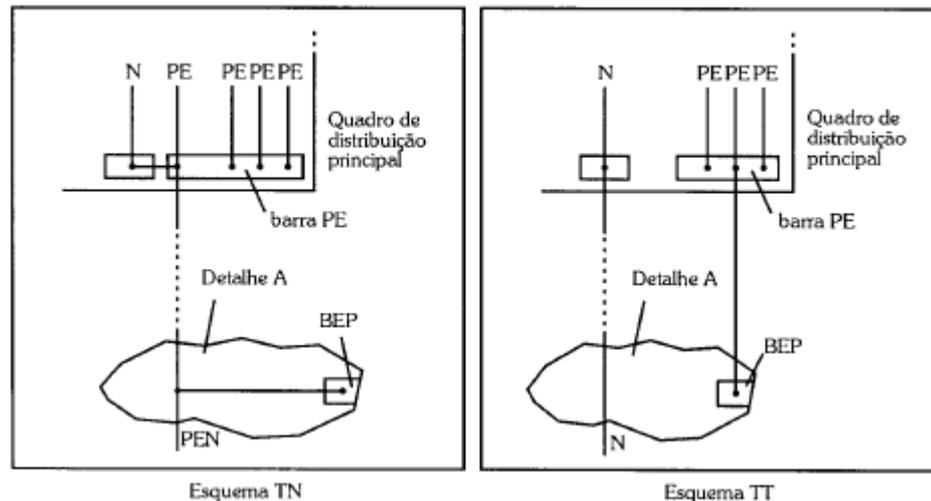


Figura 3.19: Detalhes das conexões da alimentação à equipotencialização principal - Fonte: Instalações Elétricas [5]. 368 p.

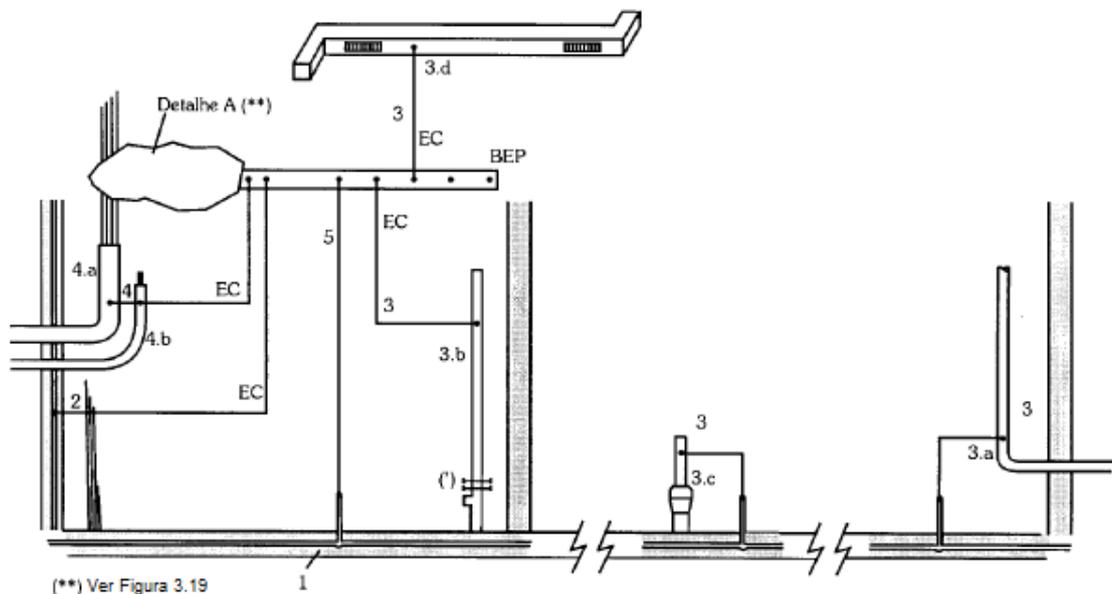


Figura 3.20: Exemplo de equipotencialização principal em que os elementos nela incluíveis não se concentram ou não são acessíveis num mesmo ponto da edificação. - Fonte: Adaptado de Instalações Elétricas [5]. 367 p.

Equipotencializações Suplementares

Podem ser necessárias por razões de proteção contra choques ou por razões funcionais, o que inclui prevenção contra perturbações eletromagnéticas [5].

Equipotencialização Funcional

O termo “funcional” é usado para caracterizar o aterramento e a equipotencialização visando, sobretudo, garantir o bom funcionamento dos circuitos de sinal e compatibilidade eletromagnética.

O BEP da instalação pode ser usado para fins de aterramento funcional, contanto que seja feito um prolongamento com um condutor de baixa impedância [5].

Caso equipamentos de tecnologia de informação (ETI) sejam utilizados nas instalações, o barramento de equipotencialização funcional deve constituir, de preferência, um anel fechado em torno da edificação.

Ao barramento de equipotencialização funcional podem ser ligados:

- Quaisquer elementos normalmente ligados ao BEP da edificação;
- Condutores de aterramento de dispositivos de proteção contra sobretensões;
- Condutores de aterramento de antenas de radiocomunicação;
- Condutor de aterramento do polo aterrado de fontes de corrente contínua para os ETI;
- Condutores de aterramento funcional;
- Condutores de equipotencialização suplementares;
- Armaduras de concreto da instalação mediante solda elétrica ou conectores de pressão adequados.

O barramento de equipotencialização funcional, preferencialmente em cobre, pode ser nu ou isolado, e precisa ser acessível em toda a sua extensão, como por exemplo, sobre superfície ou em eletrocalha ou canaleta. No caso da utilização de condutores nu, esses precisam ser isolados nos suportes e travessia de paredes, para evitar corrosão [5].

A seção dos condutores de equipotencialização funcional deve ser dimensionada da mesma forma que a dos condutores de equipotencialização principal.

3.2.3.8 Condutores de Proteção

Embora a NBR 5410/2004 utilize o termo “condutor de proteção” referindo-se principalmente aos condutores de proteção dos circuitos, ou seja, os que acompanham os circuitos terminais e de distribuição. Este termo é mais abrangente, ele engloba todos os condutores ligados ao aterramento de proteção da instalação, o que envolve os condutores de proteção dos circuitos (PEs), os condutores de aterramento e os condutores de equipotencialização [9].

Todos estes condutores de proteção devem estar presentes numa instalação elétrica predial, independentemente do esquema de aterramento adotado.

Condutores de Proteção dos Circuitos (PEs)

Devem estar presentes, numa instalação predial, nas seguintes situações:

- Em um circuito terminal ligando as massas dos equipamentos de utilização e, se for o caso, o terminal “terra” das tomadas de corrente, alimentados pelo circuito ao terminal de aterramento do respectivo quadro de distribuição;
- Em um circuito de distribuição, ligando o terminal de aterramento do quadro de onde parte o circuito ao terminal de aterramento do quadro alimentado pelo circuito.

Um condutor de proteção (PE) deve fazer parte da mesma linha elétrica do circuito. E ele pode ser comum a vários circuitos, desde que estejam contidos na mesma linha elétrica.

Tipos de Condutores de Proteção (PEs)

Podem ser usados como condutores de proteção (PEs):

- Veias de cabos multipolares;
- Condutores isolados, cabos unipolares ou condutores nus em conduto comum com os condutores vivos;
- Armações, coberturas metálicas ou blindagem de cabos;
- Eletrodutos metálicos e outros condutos metálicos, contanto que sua continuidade elétrica seja garantida por disposições construtivas ou conexões adequadas, e que constituam proteção contra deteriorações de natureza mecânica, química ou eletroquímica.

Os seguintes elementos metálicos não podem ser usados como condutor de proteção (PE):

- Tubulações de água;
- Tubulações de gases ou líquidos combustíveis ou inflamáveis;
- Elementos de construção sujeitos a esforços mecânicos em serviço normal;
- Eletrodutos flexíveis, exceto quando concebidos para esse fim;

- Partes metálicas flexíveis;
- Armadura do concreto;
- Estruturas e elementos metálicos da edificação;

É importante frisar que nenhuma ligação visando a equipotencialização ou ao aterramento, isto inclui as conexões às armaduras do concreto, pode ser utilizada como alternativa aos condutores de proteção dos circuitos.

Continuidade Elétrica dos Condutores de Proteção (PEs)

Na instalação dos condutores de proteção dos circuitos deve-se tomar as seguintes precauções:

- Devem ser protegidos contra danos mecânicos, deterioração química ou eletroquímica, assim como esforços termodinâmicos e eletromecânicos.
- Devem possuir acessibilidade para verificação e ensaios, com exceção das contidas em emendas moldadas ou encapsuladas.
- Não é permitida a instalação de dispositivos de manobra ou comando nos condutores de proteção (PEs). Admitem-se apenas, para fins de ensaios, ligações desmontáveis por meio de ferramentas.
- No caso de haver supervisão da continuidade do aterramento, bobinas ou sensores associados não devem ser inseridos no condutor de proteção do circuito.
- As massas dos equipamentos não podem ser usadas como condutor de proteção (PE).

3.2.3.9 Condutores PEN

A utilização do condutor PEN só é permitida em instalações prediais se sua seção não for inferior a 10 mm² em cobre ou 16 mm² em alumínio.

3.2.3.10 Cores dos Condutores de Proteção dos Circuitos

Os condutores de proteção dos circuitos de uma instalação predial devem seguir o código de cores da Tabela 3.4.

Tabela 3.4:Código de Cores dos Condutores de Proteção dos Circuitos.

Tipo de condutor	Local	Cores	
		PE	PEN
Condutor isolado	Isolação	Verde-amarelo ou verde	Azul-claro com indicação verde-amarelo nos pontos visíveis ou acessíveis
Veia de cabo multipolar			
Cabo unipolar	Cobertura		

Fonte: Instalações Elétricas Prediais [5]. 366 p.

3.2.3.11 Seção dos Condutores de Aterramento

A seção dos condutores de aterramento deve ser dimensionada da mesma maneira que a seção dos condutores de proteção. Para condutores enterrados no solo, a seção não pode ser inferior às apresentadas na Tabela 3.5.

Tabela 3.5:Seções mínima de condutores de aterramento enterrados no solo.

	Protegido contra Danos Mecânicos	Não protegido contra Danos Mecânicos
Protegido contra corrosão	Cobre: 2,5 mm ² Aço: 10 mm ²	Cobre: 16 mm ² Aço: 16 mm ²
Não protegido contra corrosão	Cobre: 50 mm ² (solos ácidos ou alcalinos) Aço: 80 mm ²	

Fonte: Instalações Elétricas Prediais [5]. 363 p.

É importante frisar que a conexão de um condutor de aterramento à haste de aterramento deve garantir as características elétricas e mecânicas necessárias ao bom funcionamento de todo o sistema. Em razão disso, esta conexão deve respeitar as seguintes prescrições:

- Caso sejam usadas as armaduras de concreto como eletrodo, essa armadura deve ter, no ponto de conexão, uma seção não inferior a 50 mm² e um diâmetro, preferencialmente, não inferior a 8 mm;
- É permitido o uso de conectores, seguindo as instruções dos fabricantes, no lugar das soldas elétricas e exotérmicas, de tal forma que não danifiquem o eletrodo nem o condutor de aterramento;
- Conexões com solda de estanho não garantem resistência mecânica adequada.

3.2.3.12 Seções dos Condutores de Equipotencialização

Os seguintes elementos metálicos não podem ser usados como condutor de equipotencialização:

- Tubulações de água;
- Tubulações de gases ou líquidos combustíveis ou inflamáveis;
- Elementos de construção sujeitos a esforços mecânicos em serviço normal;
- Eletrodutos flexíveis, exceto quando concebidos para esse fim;
- Partes metálicas flexíveis.

Condutores de Equipotencialização Principal

A seção dos condutores de equipotencialização principal não deve ser inferior à metade da seção do condutor PE de maior seção da instalação, mas nunca ser inferior a 6 mm², podendo ser limitada a 25 mm² se o condutor for de cobre, ou à seção equivalente, se de outro metal.

Condutores de Equipotencialização Suplementar

A seção dos condutores de equipotencialização suplementar, quando ligarem duas massas, devem possuir uma seção igual ou superior à seção do condutor PE de menor seção ligado a essas massas. Quando ligarem uma massa a um elemento condutor estranho à instalação devem possuir uma seção igual ou superior à metade da seção do condutor PE ligado a essa massa. Em qualquer dos casos anteriores deve-se respeitar uma seção mínima de 2,5 mm², se protegidos mecanicamente, ou de 4 mm², caso contrário.

3.3 Interseções do sistema de aterramento com as demais proteções da instalação

Conforme tem sido visto ao longo deste trabalho, a proteção de uma instalação contra choques elétricos se relaciona diretamente com o aterramento. Além dessa proteção, outros tipos também são importantes para segurança em uma instalação, como as proteções contra efeitos térmicos, sobrecorrentes e sobretensões.

Dentro deste contexto, nesta seção serão vistos os conceitos básicos sobre as interseções entre o sistema de aterramento e as demais proteções de uma instalação predial.

3.3.1 Proteção contra efeitos térmicos

Os efeitos térmicos são gerados quando uma corrente elétrica percorre um condutor, ocorrendo a transformação da energia elétrica em energia térmica. A proteção contra esses efeitos visa proteger os locais contra incêndios e as pessoas contra queimaduras.

Esta proteção se baseia na limitação da temperatura máxima que os componentes da instalação podem atingir em regime normal de funcionamento. E uma das maneiras de se limitar a temperatura máxima é utilizando dispositivos a correntes diferenciais-residuais (dispositivos DR), de no máximo 500 mA, para limitar os riscos de incêndio devido aos possíveis efeitos de circulação de correntes de falta para a terra [14].

A interseção deste tipo de proteção com o aterramento se dá justamente na utilização dos dispositivos DR, que tem suas características de uso relacionadas ao esquema de aterramento da instalação.

3.3.2 Proteção contra choques elétricos

O choque elétrico é uma perturbação, de natureza e efeitos variados, que ocorre pela passagem de uma corrente elétrica pelo corpo humano, ou de animais. Para que uma instalação esteja protegida contra choques elétricos é preciso que as partes vivas perigosas não sejam acessíveis e que as massas não ofereçam perigo em condições normais de uso e no caso de falhas.

Como tem sido visto neste trabalho, o aterramento e a equipotencialização são itens essenciais para eficiência desta proteção. Além deles, outro item muito importante é o seccionamento da corrente de falta, por dispositivos de proteção, atuando em um tempo adequado. E esses dispositivos possuem características de uso e dimensionamento relacionados ao aterramento escolhido para a instalação.

3.3.3 Proteção dos circuitos contra sobrecorrentes

As sobrecorrentes são geradas quando as correntes elétricas de um sistema superam o valor da corrente nominal. Elas podem ser originadas por sobrecarga ou por curto-circuito. As proteções a serem utilizadas para as sobrecorrentes é feita de modo a proteger os condutores do circuito [3], pela utilização de dispositivos de proteção como disjuntores, fusíveis e dispositivos DR.

A interseção desta proteção com o sistema de aterramento se dá justamente na utilização desses dispositivos de proteção, que tem algumas de suas características de uso e de dimensionamento determinadas em função do esquema de aterramento escolhido para a edificação.

3.3.4 Proteção dos circuitos contra sobretensões

As sobretensões são geradas quando a tensão elétrica de um aparelho ou de uma instalação excede o seu valor nominal. A proteção contra sobretensões visa proteger as pessoas e a instalação de danos que podem ser causadas por: faltas entre partes vivas de circuitos sob tensões diferentes, manobras de dispositivos de comando e proteção e fenômenos atmosféricos. A interseção desta proteção com o sistema de aterramento se dá na proteção contra descargas atmosféricas.

Os critérios de proteção de instalações prediais contra descargas atmosféricas encontram-se estabelecidos na NBR 5419/2005. Esta proteção se utiliza do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) e dos Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS). Num SPDA, o sistema de aterramento é um componente essencial, e os DPS têm suas características de uso e de dimensionamento determinadas em função do esquema de aterramento escolhido para instalação.

3.3.5 Dispositivos de proteção dos circuitos

Disjuntor

É um dispositivo de manobra (mecânico) e de proteção, capaz de estabelecer, conduzir e interromper correntes em situações normais do circuito, bem como conduzir por tempo determinado e interromper correntes em situações anormais especificadas do circuito [9], como por exemplo as de corrente de curto-circuito ou de corrente de sobrecarga.

Os disjuntores cumprem três funções básicas:

- Abrir e fechar os circuitos (manobra);
- Proteger o condutor contra curto-circuito através do seu dispositivo magnético;
- Proteger o condutor contra sobrecarga através do seu dispositivo térmico.

Fusível

É um dispositivo de proteção, que, pela fusão de uma parte especialmente projetada, abre o circuito no qual está inserido e interrompe a corrente, quando esta excede um valor de referência durante um tempo determinado [9]. Dentre os dispositivos de proteção o fusível é o mais simples.

Ele é composto pelo elemento fusível, um fio ou lâmina, normalmente de cobre, prata, estanho, chumbo ou liga, colocado no interior do corpo do fusível, geralmente de porcelana, esteatite ou papelão, hermeticamente fechado. Este elemento irá fundir quando o condutor protegido pelo fusível atingir uma temperatura próxima da máxima admissível, devido a uma sobrecarga ou um curto-circuito.

Dispositivo a corrente diferencial-residual (dispositivo DR)

É um dispositivo de proteção que detecta a existência de corrente diferencial em um circuito. Ele provoca a abertura do circuito quando o valor da corrente diferencial excede um valor especificado [9].

Os dispositivos DR garantem a proteção contra choques elétricos e também podem exercer a proteção dos locais contra incêndios. Seu funcionamento se dá pela detecção da soma fasorial das correntes que percorrem os condutores vivos de um circuito em um determinado ponto, isto é, a corrente diferencial-residual no ponto determinado provoca a interrupção do circuito, dentro de um tempo especificado, quando essa corrente excede um valor preestabelecido.

Em condições teóricas, a soma fasorial das correntes que percorrem os condutores vivos seria nula, porém em condições reais os equipamentos de utilização e as linhas elétricas apresentam correntes de fuga. São essas correntes e eventuais correntes de falta fase-massa que os dispositivos DR detectam.

O circuito magnético de um DR deve envolver todos os condutores vivos do circuito (fase e neutro), para que ele possa detectar a corrente diferencial-residual. O condutor de proteção deve ser exterior ao circuito magnético, conforme Figura 3.21.

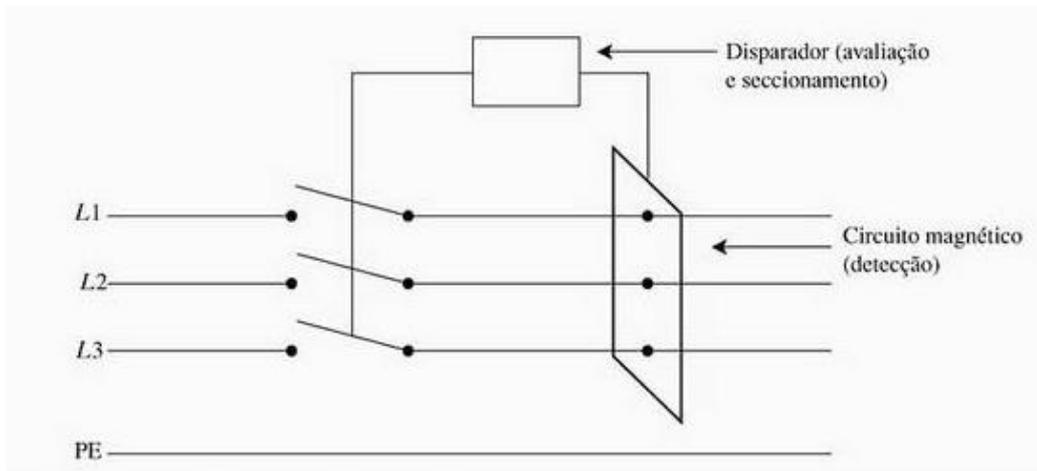


Figura 3.21:Partes essenciais de um dispositivo DR. - Fonte: Instalações Elétricas [9]. 216 p.

Algumas das características de dimensionamento e de instalação desses dispositivos proteção, dependem do sistema de aterramento escolhido para instalação. Esses detalhes referentes às interseções dos dispositivos de proteção com o aterramento serão vistos na seção 4.7 do capítulo 4.

3.3.6 Descargas Atmosféricas

Descargas elétricas de origem atmosférica que têm grande extensão e intensidade. Elas ocorrem entre regiões eletricamente carregadas, podem acontecer tanto entre uma nuvem e a terra ou entre nuvens, consistindo em um ou mais impulsos de vários quiloampères. A Figura 3.22 ilustra esse fenômeno.



Figura 3.22:Descargas atmosféricas - Fonte: Adaptado de DBTEC [25]

Raio

Um dos impulsos elétricos de uma descarga atmosférica para a terra.

Surtos de Tensão

Sobretensões devidas às descargas atmosféricas. Possuem como característica uma elevada taxa de variação da tensão por um período curtíssimo de tempo.

Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA)

Sistema completo que tem a finalidade de proteger uma estrutura contra os efeitos das descargas atmosféricas.

Captor

Parte do SPDA destinada a interceptar as descargas atmosféricas.

Descida ou Condutor de Descida

Condutor metálico que estabelece conexão entre o captor e o eletrodo de aterramento.

Formação dos Raios

A formação do carregamento elétrico das nuvens se dá pela ocorrência de correntes ascendentes de ar úmido durante as tempestades. Nesses movimentos de massas de ar e vapor d'água, ocorrem a formação de íon negativos que se acumulam na parte inferior das nuvens. Neste processo, também são formadas gotículas com carga elétrica positiva (perderam elétrons), que se localizarão na parte superior das nuvens [4].

Esta concentração de cargas negativas na parte inferior das nuvens provoca, por indução elétrica, o surgimento de uma região de concentração de cargas positivas na superfície da Terra, conforme mostra a Figura 3.23.

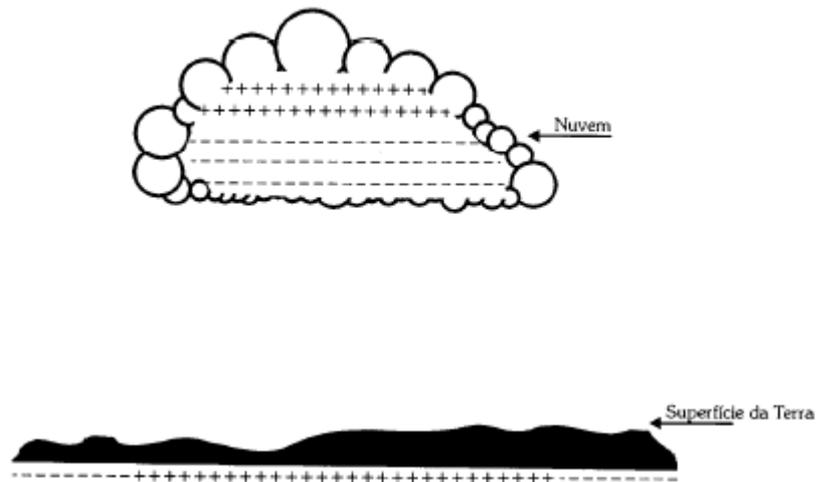


Figura 3.23: Carregamento elétrico da nuvem e indução de cargas positivas no solo - Fonte: Projetos de Instalações Elétricas Prediais [4]. 213 p.

Quando a diferença de potencial existente entre a nuvem carregada e a superfície da terra se eleva a valores capazes de romper a barreira de rigidez dielétrica do ar, inicia-se o processo do raio. Surgindo canais de ar ionizado, que tendem a se aproximar sucessivamente, até que ocorra a descarga principal ou descarga de retorno, que é de fato, o que enxergamos. A Figura 3.24 ilustra esse processo.

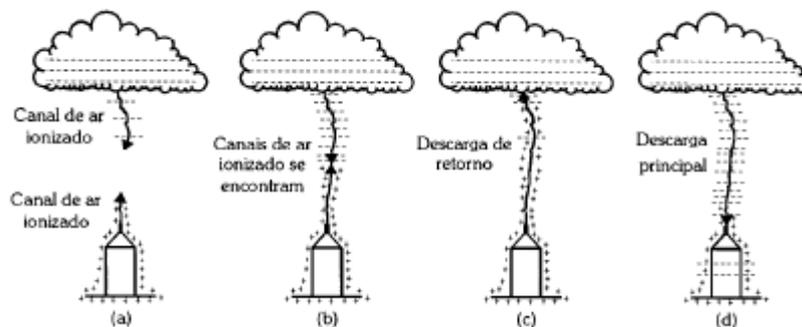


Figura 3.24: Processo de formação do raio - Fonte: Projetos de Instalações Elétricas Prediais [4]. 214 p.

A tendência natural é que os raios caiam sobre os pontos mais elevados do relevo. Por exemplo, as regiões montanhosas têm maior incidência de descargas do que planícies. Assim como árvores isoladas, antenas, e prédios mais altos também tendem a receber mais descargas atmosféricas.

As descargas atmosféricas podem ser diretas ou indiretas:

- Diretas ⇒ Quando o raio cai diretamente sobre a instalação predial.
- Indiretas ⇒ Quando o raio cai em um ponto fora da instalação e sobretensões induzidas chegam até o prédio.

Efeitos dos Raios

Os valores de tensão e corrente elétrica produzidos por um raio são muito elevados, o que ocasiona efeitos perigosos e destrutivos [4]. Os potenciais de toque e de passo gerados pela incidência de um raio em uma superfície, podem gerar riscos de choques elétricos para as pessoas e animais. Os raios também podem gerar danos às instalações prediais, quando caem próximas delas podem causar incêndios, explosões, quedas e destruições dos prédios, etc.

Além disso, a ocorrência de descargas atmosféricas também pode induzir sobretensões nas estruturas, nos cabos subterrâneos e nas linhas de energia elétrica. A Figura 3.25 mostra um exemplo de surto induzido.

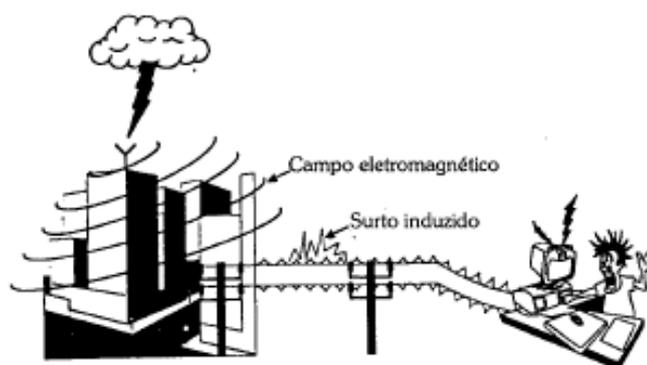


Figura 3.25: Campo magnético induzido em função da descarga atmosférica - Fonte: Instalações Elétricas Prediais [5]. 375 p.

3.3.6.1 Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA)

O SPDA protege a instalação elétrica predial contra descargas atmosféricas diretas. Seu objetivo básico é oferecer um ponto de captação, um percurso seguro e um sistema de escoamento para as descargas elétricas de origem atmosféricas. Devido ao raio ser um complexo fenômeno da natureza e às simplificações contidas nos modelos de SPDA, não é possível obter uma proteção com 100% de garantia. Por melhor que seja o SPDA de uma instalação predial, ela poderá ser, eventualmente, atingida por um raio.

O SPDA é constituído por três elementos principais:

- Captores de raios;
- Descidas;
- Sistema de aterramento.

A distribuição desses elementos num SPDA segue a configuração da Figura 3.26.

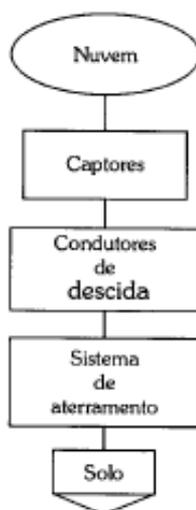


Figura 3.26:Configuração dos elementos de um SPDA - Fonte: Instalações Elétricas Prediais [5]. 376 p.

Existem três métodos¹, admitidos pela NBR 5419/2005[13], de projeto de captores:

- Modelo Eletrogeométrico ⇒ Se baseia no fato do volume de proteção de um elemento captor ser definido por um cone com vértice na extremidade do captor, delimitado pela rotação de um segmento de círculo tangente ao solo. O raio desse segmento de círculo é função do nível de proteção desejado para o prédio.

- Método de Franklin ⇒ Consiste em uma haste captora, em forma de ponta, fixada em mastros elevados, na qual são ligados um ou mais condutores de descida [4]. É um caso particular do modelo eletrogeométrico, em que o segmento de círculo é aproximado por um segmento de reta, tangente ao círculo na altura do captor. Este método é usualmente utilizado em proteção de prédios.

- Método de Faraday ⇒ Utiliza como captores, condutores instalados em malha de formato quadricular, de maneira a envolver toda a estrutura protegida, formando uma blindagem eletroestática. Devido ao seu alto custo, tem maior utilização em instalações de grande responsabilidade e de alto grau de risco.

¹ Para um tratamento mais amplo em relação aos métodos de projetos de captores, veja Hélio Creder. *Instalações Elétricas*. 16 ed., 2016, Capítulo 8.

Independente do modelo utilizado para projeto do SPDA, é necessário que haja conexão entre ele e o sistema de aterramento. Os detalhes referentes a esta conexão serão vistos na seção 4.8.1 do capítulo 4.

3.3.6.2 Sistema de Proteção contra Surtos

Se resume a um dispositivo, chamado de dispositivo de proteção contra surtos (DPS), que limita as sobretensões transitórias ou desvia correntes de surto para a terra [9]. Ele pode proteger a instalação contra descargas diretas ou indiretas, de acordo com a sua classe.

Os DPS podem ser divididos em três classes:

- Classe I ⇒ Ensaiado em condições de corrente que simule melhor o primeiro golpe de descarga atmosférica. Permite que sejam eliminados os danos provenientes de descargas diretas.

- Classe II ⇒ Ensaiado em condições de correntes que simulem melhor os golpes subsequentes das descargas atmosféricas e as condições de influências indiretas no prédio. Permite que sejam eliminados os danos provenientes de descargas indiretas.

- Classe III ⇒ Ensaiado com forma de onda combinada. Deve ser utilizado próximo ao equipamento protegido, servindo como uma proteção fina para estes equipamentos.

O dimensionamento e a instalação de um DPS, para proteção contra sobretensões, dependem do sistema de aterramento escolhido para a instalação. Esses detalhes referentes às interseções do DPS com o aterramento serão vistos na seção 4.8.2 do capítulo 4.

4. Tópicos em Análise

Após ser feita uma revisão teórica no Capítulo 3, neste capítulo será feito a análise de algumas aplicações específicas de aterramento em instalações prediais, cujos autores, da literatura analisada, apresentam soluções diferenciadas e incompletas.

4.1 Potencial de Toque Máximo

Pode-se perceber na literatura que há mais de uma maneira de se obter o potencial de toque máximo em uma instalação predial.

O potencial de toque máximo dado no livro de Kindermann e Campagnolo [11], se baseia numa pesquisa feita por Charles Dalziel². Nela, Charles Dalziel fez experimentos para verificação de correntes que provocariam uma fibrilação ventricular, e como não poderiam ser realizados em seres humanos, vários porcos, cães, bezerros e ovelhas foram usados nos estudos para determinação dos níveis de tolerabilidade do organismo à corrente elétrica [15]. Essa pesquisa levou a conclusão que 99,5% das pessoas com peso de 50 kg ou mais, podem suportar sem a ocorrência de fibrilação ventricular [11], a corrente elétrica determinada pela Expressão (4.1):

$$I_{choque} = \frac{0,116}{\sqrt{t}} \quad (4.1)$$

Sendo:

$$0,03s \leq t \leq 3s$$

$I_{choque} \Rightarrow$ Corrente, em ampères, pelo corpo humano, limite para não causar fibrilação.

$t \Rightarrow$ Tempo, em segundos, da duração do choque.

Dentre deste contexto, o máximo potencial de toque tolerável entre a mão e o pé de uma pessoa, para não ocasionar fibrilação ventricular, é o gerado pela corrente limite de Dalziel [11]. Esse potencial máximo é dado por (4.2):

² Charles Dalziel (1904-1986) foi professor de engenharia elétrica e de ciências da computação na Universidade de Berkeley. Ele realizou estudos sobre o efeito da eletricidade em humanos e animais.

$$V_{\text{toque máximo}} = (1000 + 1,5 \rho_s) \frac{0,116}{\sqrt{t}} \quad (4.2)$$

Sendo:

$\rho_s \Rightarrow$ Resistência superficial do solo

Já em outros livros, como os do Cotrim [9] e do Creder [7], o potencial de toque máximo pode ser obtido a partir dos valores normatizados da tensão de contato limite, definidos pela NBR 5410/2004, que estão na Tabela 4.1. A tensão de contato limite leva em consideração o modo como o contato é feito (umidade local e caminho percorrido no corpo humano) e as condições ambientes (tipo de local onde ocorre o contato e de piso). As Tabelas 4.2 e 4.3 mostram os níveis de riscos a que uma pessoa pode ser submetida a um choque elétrico, relacionados às condições de contato. Desta maneira, o potencial de toque, que é caracterizado pela diferença de potencial entre a mão e um ponto localizado no chão, corresponde às condições BB2 da Tabela 4.2, e conseqüentemente, também corresponde à situação 1 da Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Valores da tensão de contato limite.

Natureza da corrente	Situação 1 ¹	Situação 2 ²	Situação 3 ³
Alternada, 15 Hz- 1000 Hz	50 V	25 V	12 V
Contínua sem ondulação ³	120 V	60 V	30 V

Notas:

1. Corresponde às situações BB1, BB2, BC1, BC2 e BC3 da Tabela 4.2.
2. Corresponde às situações BB3 e BC4 da Tabela 4.3.
3. Corresponde à situação BB4 da Tabela 4.3.
4. Uma tensão contínua sem ondulação é definida como a que tem uma faixa de ondulação não superior a 10% em valor eficaz; o valor de crista máximo não deve superar 140 V, para um sistema em corrente contínua sem ondulação com 120 V nominais, ou 70V para um sistema em corrente contínua sem ondulação com 60 V nominais.

Fonte: Adaptado de Instalações Elétricas [9]. 79 p.

Tabela 4.2: Resistência elétrica do corpo humano.

Código	Classificação	Características	Aplicações e exemplos
BB1	Alta	Condições secas	Circunstâncias nas quais a pele está seca (nenhuma umidade, nem mesmo suor).
BB2	Normal	Condições úmidas	Passagem da corrente elétrica de uma mão a outra ou de uma mão a um pé, com a pele úmida de suor, sendo a superfície de contato significativa.
BB3	Baixa	Condições molhadas	Passagem da corrente elétrica entre as duas mãos e os dois pés, estando as pessoas com os pés molhados ao ponto de se poder desprezar a resistência da pele e dos pés.
BB4	Muito baixa	Condições imersas	Pessoas imersas na água, por exemplo em banheiras e piscinas.

Fonte: Instalações Elétricas [7]. 136 p.

Tabela 4.3: Contato das pessoas com o potencial de terra.

Código	Classificação	Características	Aplicações e exemplos
BC1	Nulo	Locais não condutivos	Locais cujos piso e paredes sejam isolantes e que não possuam nenhum elemento condutivo.
BC2	Raro	Em condições habituais, as pessoas não estão em contato com elementos condutivos ou postadas sobre superfícies condutivas	Locais cujos piso e paredes sejam isolantes, com elementos condutivos em pequena quantidade ou de pequenas dimensões e de tal maneira que a probabilidade de contato possa ser desprezada.
BC3	Frequente	Pessoas em contato com elementos condutivos ou postadas sobre superfícies condutivas	Locais cujos piso e paredes sejam condutivos ou que possuam elementos condutivos em quantidade ou de dimensões consideráveis.
BC4	Contínuo	Pessoas em contato permanente com paredes metálicas e com pequena possibilidade de poder interromper o contato	Locais como caldeiras ou vasos metálicos, cujas dimensões sejam tais que as pessoas que neles penetrem estejam de contínuo em contato com as paredes. A redução da liberdade de movimento das pessoas pode, por um lado, impedi-las de romper voluntariamente o contato e, por outro, aumentar os riscos de contato involuntário.

Fonte: Instalações Elétricas [7]. 136 p.

Deste modo, pode-se notar soluções diferenciadas para um mesmo aspecto. Levando-se em conta que os valores normatizados da tensão de contato limite são utilizados em outros cálculos importantes referentes ao aterramento de uma instalação predial, este modo de obtenção do potencial de toque máximo pode ser o mais interessante de ser usado.

4.2 Potencial de Passo Máximo

Em relação ao potencial de passo máximo, na literatura podem ser observadas uma expressão e uma indicação de quando ele ocorre.

Assim como na obtenção do potencial máximo de toque, Kindermann e Campagnolo [11] também se utilizam da corrente limite de Dalziel para obter a expressão do potencial máximo de passo.

Sendo assim, o máximo potencial de passo permissível é limitado pela máxima corrente tolerada pelo corpo humano que não ocasiona fibrilação [11], e dado pela Expressão (4.3):

$$V_{\text{passo máximo}} = (1000 + 6 \rho_s) \frac{0,116}{\sqrt{t}} \quad (4.3)$$

Em contrapartida, outros autores, como Cotrim [9] e Creder [7], não apresentam nenhum valor normalizado ou expressão para o cálculo do potencial máximo de passo. Apenas informam que este potencial será máximo quando um pé estiver junto da haste de aterramento e o outro, afastado de um metro, conforme exemplificado na Figura 4.1.

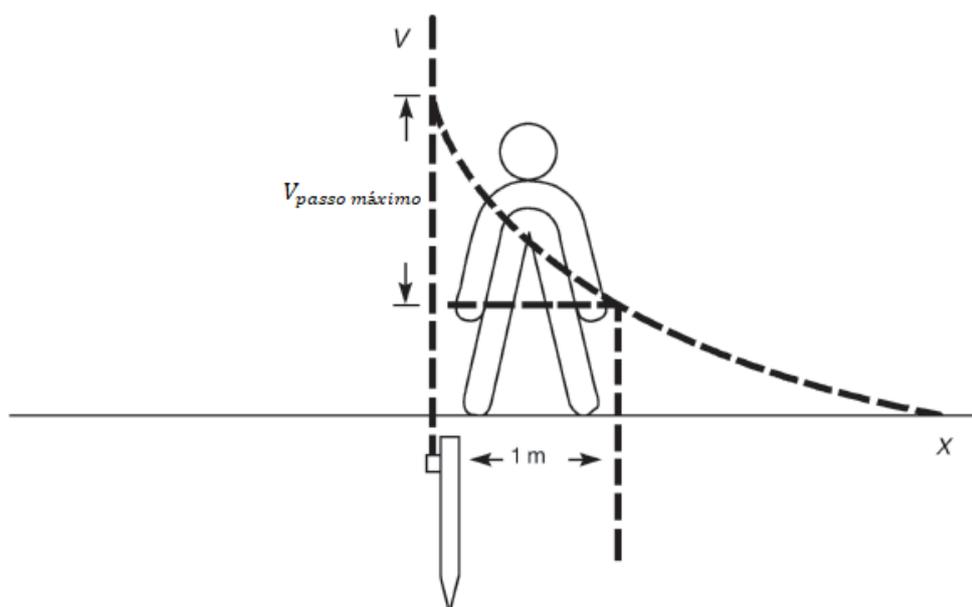


Figura 4.1:Potencial de Passo Máximo - Fonte: Adaptado de Instalações Elétricas [7]. 72 p.

Deste modo, pode-se perceber que em alguns livros não é dada uma solução para se encontrar o potencial máximo de passo. E assim, a Expressão 4.3 torna-se a mais indicada para a obtenção desse potencial.

4.3 Eletrodo de aterramento

São apresentados na literatura quatro opções básicas de eletrodo de aterramento, que são os previstos na NBR 5410/2004 [12], mas assim como na norma, alguns autores não tecem comentários profundos sobre essas opções. Alguns

comentam, mas mesmo assim ainda ficam algumas dúvidas sobre a utilização dessas opções de eletrodos de aterramento.

Autores como Cavalin e Cervelin [5] e Creder [7] dão exemplos visuais e tecem alguns comentários sobre os eletrodos em malha e em anel.

Cotrim [9], além de citar as opções previstas, também faz uma comparação entre os dois modos de se utilizar o eletrodo de aterramento nas fundações, diz que os eletrodos constituídos por hastes são utilizados maciçamente nos sistemas de aterramento, principalmente nas instalações residenciais, e também explica algumas características das hastes de aterramento.

Com relação a resistência de aterramento de um eletrodo constituído por hastes, pode-se notar na literatura, que é um assunto que nem todos os livros exploram. Autores como Creder [7], Cavalin e Cervelin [5] e Lima [4] falam de forma superficial, não demonstrando como as características das hastes influenciam na resistência de aterramento de um eletrodo. Que é algo que Cotrim [9], Visacro [10] e Kindermann e Campgnolo [11] detalham em seus livros.

4.3.1 Eletrodo de Aterramento nas Fundações

Há duas maneiras básicas de se fazer o eletrodo de aterramento pelo uso das fundações de uma instalação predial: os elementos metálicos são constituídos pelas próprias armaduras embutidas no concreto ou colocam-se no concreto os elementos metálicos diferentes daqueles da armadura [9].

Na primeira situação, mais comum em edificações de maior porte [9], nas quais a infraestrutura de aterramento é constituída pelas próprias armaduras embutidas no concreto das fundações (armadura de aço das estacas, dos blocos de fundação e vigas baldrames), as interligações naturalmente existentes entre os elementos metálicos da armadura são suficientes para se conseguir um eletrodo de aterramento com características elétricas adequadas. O que torna dispensável qualquer medida adicional.

Na segunda situação, mais usual em edificações de menor porte [9], a infraestrutura de aterramento pode ser constituída por fita, barra ou cabo de aço galvanizado imerso no concreto das fundações, formando, no mínimo um anel em todo o perímetro da edificação. Nesse caso, o elemento metálico deve ser envolvido por uma camada de concreto com espessura mínima de 5 cm, a uma profundidade de no mínimo 0,5 m, sendo suas seções mínimas aquelas apresentadas na Tabela 3.3.

4.3.2 Eletrodo de Aterramento constituído por Hastes

A resistência de aterramento (R_T) de um eletrodo de aterramento constituído por uma haste é dada pela Expressão 4.4.

$$R_T = \frac{U_T}{I} \quad (4.4)$$

Em que:

$U_T \Rightarrow$ Potencial assumido pelo eletrodo em relação a um ponto distante de potencial zero.

$I \Rightarrow$ Corrente que percorre a haste.

O potencial do solo diminui ao afastar-se da haste até quase se anular num ponto suficientemente distante, como pode-se observar na Figura 4.2.

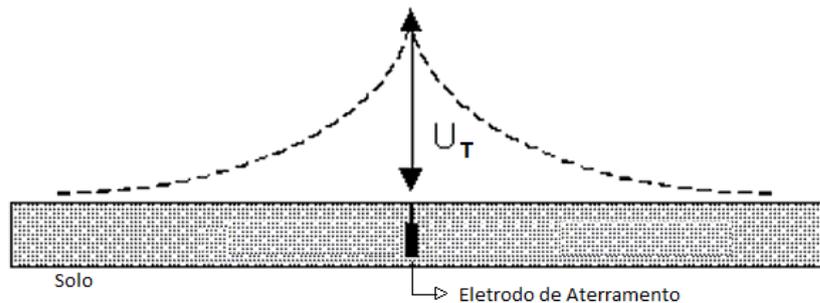


Figura 4.2: Variações das tensões geradas no solo pela passagem de uma corrente em um eletrodo de aterramento - Fonte: Adaptado de Getrotech [26]

A haste tem um formato alongado, cuja função é dispersar a corrente no solo, perturbando o menos possível a superfície.

As hastes de aço com capa de cobre constituem o tipo de eletrodo mais comum e mais simples, são amplamente usados nas infraestruturas de aterramento, principalmente nas instalações residenciais [9].

Um eletrodo constituído por uma haste, como o da Figura 4.3, possui uma expressão prática para o cálculo da sua resistência de aterramento, que é a dada pela Expressão 4.5.

$$R_T = \frac{\rho}{2\pi l} \ln\left(\frac{4l}{d}\right) \quad (4.5)$$

Sendo:

$\rho \Rightarrow$ Resistividade de um solo homogêneo.

$d \Rightarrow$ Diâmetro da haste de aterramento.

$l \Rightarrow$ Comprimento da haste de aterramento.

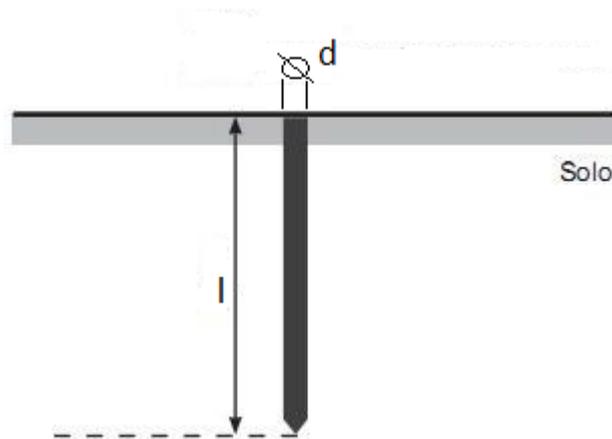


Figura 4.3: Eletrodo constituído por uma haste cravada verticalmente no solo - Fonte: Adaptado de Qconursos.com [26]

A haste encravada verticalmente no solo, como a apresentada na Figura 4.3, demonstra bons resultados para correntes de curto-circuito na frequência industrial e para surtos de corrente gerados por surtos de tensões induzidas ou das descargas atmosféricas diretas [9].

A resistência de aterramento do eletrodo é influenciada por características das hastes, tais como:

- Comprimento de cada haste \Rightarrow Quanto maior o comprimento da haste, menor a resistência de aterramento. Porém, não é prático utilizar hastes muito longas, pois não são tão simples de cravar no solo. As mais utilizadas são as que medem 2,4 m e 3 m [9].

- Diâmetro da haste \Rightarrow Tem pouca influência, visto que a resistência depende do seu logaritmo, como foi visto na Expressão 4.5. Em geral, não são utilizadas hastes com diâmetro superior a 25 mm [9].

- Profundidade da haste (distância de sua extremidade inferior à superfície) \Rightarrow Tem muita influência. Se a haste for enterrada a uma grande profundidade a área de dispersão da corrente elétrica será maior, o que atenua os perigos das tensões de passo e de toque na superfície do solo [9].

- Ligação das hastes em paralelo \Rightarrow Quando as hastes são ligadas em paralelo se reduz a resistência de aterramento. Elas precisam ser cravadas a uma distância adequada uma da outra para que não se tenha uma zona de interferência, o que reduz

a eficiência da infraestrutura de aterramento. Na prática, usa-se o afastamento entre as hastes igual ou superior ao comprimento da haste [9]. Todas as hastes deverão ser ligadas por um condutor de cobre para formarem o sistema de aterramento.

Essa resistência de aterramento deve ser a mais baixa possível. Em instalações prediais considera-se que um valor abaixo de 10 Ω seja adequado. Porém esse valor de 10 é apenas referencial. O valor da resistência de aterramento é importante, porém o estabelecimento da equipotencialidade é essencial [7].

Eletrodo em malha

É constituída pela combinação de hastes e condutores. Na malha de terra a interconexão dos lados opostos do eletrodo com a forma fechada (triângulo, quadrado, hexágono, etc.) tem a finalidade de equalizar a superfície do terreno, abaixando ou anulando as tensões de passo e de toque. Para atenuar a variação de tensão ao longo do perímetro da malha, é de boa prática enterrar verticalmente, no decorrer dos lados externos, uma série de hastes profundas e distanciadas entre si. Desta forma, é superado o problema das tensões de passo [5]. A Figura 4.4 ilustra um sistema de aterramento em malha.

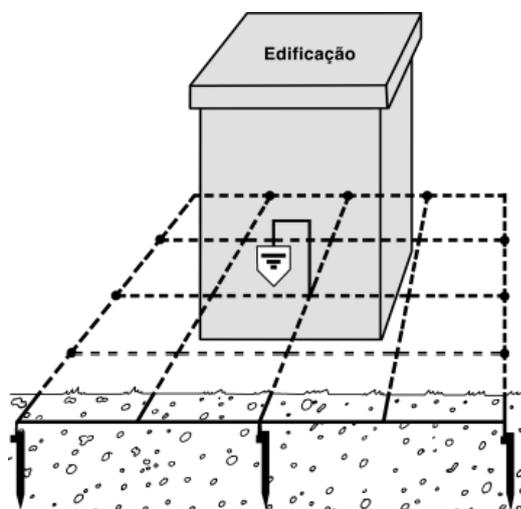


Figura 4.4: Representação de um sistema de aterramento em malha - Fonte: Instalações Elétricas [7]. 139 p.

A resistência do sistema de aterramento em malha pode ser calculada através da Expressão 4.6.

$$R = 0,443 \frac{\rho}{\sqrt{A}} + \frac{\rho}{L} \quad (4.6)$$

Em que:

$A \Rightarrow$ Área da seção coberta pela malha.

$L \Rightarrow$ Comprimento total dos condutores.

$\rho \Rightarrow$ Resistividade do solo.

Eletrodo em anel

Pode ser constituído por um condutor (normalmente de cobre nu) enterrado ao longo do perímetro do prédio a uma profundidade mínima de 0,5 m. Devido a simplicidade de instalação, este tipo de eletrodo é largamente utilizado [5]. A Figura 4.5 ilustra um sistema de aterramento em anel.

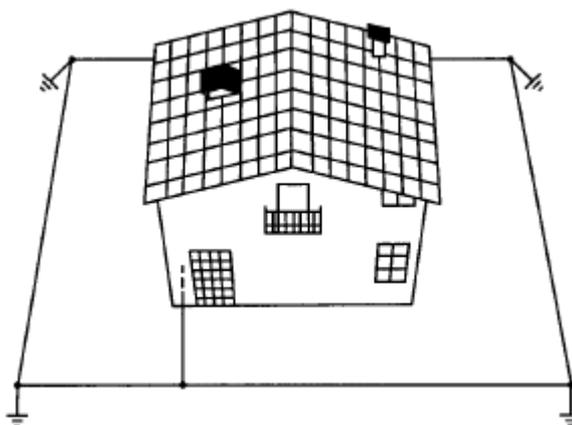


Figura 4.5: Representação de um sistema de aterramento em anel - Fonte: Instalações Elétricas Prediais [5]. 361 p.

Hastes alinhadas em forma de polígono fechado

Parece notável, ao ver a literatura, a prática de se utilizar hastes em polígonos para configuração de sistemas de aterramento, visto que costumam citar como exemplo eletrodos com hastes em triângulo, em quadrado ou em círculo, e também mostrar figuras com eletrodos em anel ou em uma malha de forma quadrada. Nas próprias orientações de normas também cita-se que deve ser usado no mínimo um anel metálico circundando o perímetro da edificação. É possível entender que a geometria do eletrodo influencia na resistência de aterramento, e que os aterramentos em polígonos são uma geometria muito indicada. Porém, a explicação sobre a influência que a geometria poligonal exerce na resistência de um sistema de aterramento não é algo que se pode encontrar facilmente nos livros.

Cavalin e Cervelin [5] citam que a interconexão dos lados opostos do eletrodo com a forma fechada (triângulo, quadrado, hexágono, etc.) tem a finalidade de equalizar a superfície do terreno, abaixando ou anulando as tensões de passo e de toque. Mas não explicam de que maneira ocorre a diminuição dessas tensões ao introduzir um eletrodo em polígono.

Já Kindermann e Campgnolo [11] entram mais afundo na questão da geometria dos eletrodos, e por uma abordagem diferente, mostram a influência da geometria na resistência do aterramento. É apresentado o índice de redução K, definido como a relação entre a resistência equivalente de um conjunto de hastes, R_{eq} , e a resistência própria de uma haste sem a presença das outras. E através da Expressão 4.7 mostram que a resistência equivalente do conjunto está reduzida em K vezes o valor da resistência de uma haste isoladamente. Os valores de K são tabelados, ou obtidos através de curvas. No apêndice A do livro em questão, são apresentadas as tabelas de hastes paralelas, alinhadas e igualmente espaçadas, contendo o valor de K em relação ao comprimento (L) e diâmetro (d) das hastes.

$$R_{eq} = K \cdot R_{1haste} \quad (4.7)$$

Em que:

$R_{1haste} \Rightarrow$ Resistência elétrica de uma haste cravada isoladamente no solo

É possível perceber que em todas as tabelas apresentadas, o valor de K diminui com aumento do número de hastes alinhadas, conseqüentemente diminuindo o valor da resistência de aterramento do local. Como exemplo, serão apresentadas neste trabalho as Tabelas 4.4 e 4.5, das hastes de comprimento 2,4 m e 3,0 m, respectivamente, ambas com diâmetro de 1".

Tabela 4.4: Tabela com hastes de comprimento de 2,4 m paralelas, alinhadas e igualmente espaçadas de 2,5 m.

L = 2,4 m d = 1"	
Número de Hastes	K
2	0,572
3	0,414
4	0,330
5	0,276
6	0,238
7	0,211
8	0,189
9	0,172
10	0,158
11	0,146
12	0,136

Fonte: Adaptado de Aterramento Elétrico [11]. 95 p.

Tabela 4.5: Tabela com hastes de comprimento de 3,0 m paralelas, alinhadas e igualmente espaçadas de 3,0 m.

L = 3 m d= 1"	
Número de Hastes	K
2	0,571
3	0,414
4	0,329
5	0,276
6	0,238
7	0,211
8	0,189
9	0,172
10	0,158
11	0,146
12	0,136

Fonte: Adaptado de Aterramento Elétrico [11]. 97 p.

Nota-se que a resistência de um sistema de aterramento, dada pela Expressão 4.7, será maior com uma haste cravada do que um com hastes em triângulo equilátero, que por sua vez será maior do que um com hastes em quadrado, já que o valor de K diminui com o aumento do número de hastes.

Visacro Filho [10] apresenta explicações teóricas que vão ao encontro dos dois autores citados. Ele cita que a distribuição de corrente no solo influencia a resistência de aterramento, e depende da forma e da dimensão do eletrodo. E que o principal fator que influencia na diminuição do valor da resistência de aterramento é a extensão da área coberta pelos eletrodos do sistema de aterramento. Em forma poligonal os eletrodos ocupam uma maior área, diminuindo a resistência de aterramento.

Desta maneira, pode-se perceber a grande influência que a geometria poligonal exerce na diminuição da resistência de um sistema de aterramento. Os livros com foco em Instalações Elétricas não se aprofundam neste quesito, é pelos livros com foco em Aterramento que é possível se entender um pouco mais sobre o assunto, apesar de não estar escrito de forma tão explícita neles.

Algo que também é perceptível na literatura é a diferença física entre as opções de eletrodos de aterramento indicadas pela NBR 5410/2004, e que os eletrodos em fundações são mais utilizados em edificações maiores e o mais simples em residenciais.

Cotrim [9] diz que os eletrodos de aterramento constituídos pelas próprias armaduras embutidas no concreto das fundações representam uma solução altamente eficaz para garantir a manutenção de suas características durante a vida útil das

instalações. Em função disso, ele é o indicado como preferência de utilização pela norma. Como foi visto nesta seção, a utilização de hastes em paralelo pode ajudar na diminuição da resistência de aterramento, e assim o eletrodo em malha se torna mais indicado do que somente em anel. Explicações essas que dão suporte à indicação da ordem de preferência dada na Norma.

Porém apesar das explicações contidas na literatura, ainda ficam algumas dúvidas sobre a utilização dos eletrodos.

Por exemplo, algo que nem a norma e nem os livros analisados dizem é sobre o tamanho da “janela” interna da malha. É dada a Expressão 4.6 para cálculo da resistência teórica da malha, porém esta fórmula depende do comprimento total dos condutores a serem utilizados, e estes dependem do tamanho desta “janela” interna.

Outro ponto que não é explicado é sobre o porquê do anel mínimo ser considerado, pelos livros, como um quadrado vazio. A Norma indica a utilização de no mínimo um anel circundando o perímetro da instalação, mas não especifica a geometria deste anel. Os livros indicam o eletrodo em anel com a geometria de um quadrado vazio. Apesar de não ficar claro o porquê desta utilização, visto que eletrodos em outras geometrias poligonais também circundariam o perímetro. Talvez uma justificativa para isso possa ser pela base das edificações normalmente serem retangulares, e assim, o anel em forma de quadrado pode se tornar mais prático de ser utilizado.

4.4 Condutor de Proteção dos Circuitos (PE)

São apresentadas duas maneiras de se realizar o dimensionamento de um condutor de proteção PE. Através de uma tabela com valores normatizados ou por cálculos.

Domingos [4] e Cavalin e Cervelin [5] apresentam somente a Tabela 4.6, contendo a seção mínima dos condutores de proteção.

Tabela 4.6: Seção mínima dos condutores de proteção

Seção dos condutores de fase do circuito S (mm ²)	Seção mínima do condutor de proteção correspondente (mm ²)
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$

Fonte: Adaptada de Instalações Elétricas [9]. 270 p.

Já Cotrim [9], Creder [7] e Mamede [8], além da Tabela 4.6, também mostram que a seção mínima do condutor de proteção pode ser obtida pela Expressão 4.8, aplicável somente para tempos de atuação dos dispositivos de proteção que sejam inferiores a 5 segundos.

$$S_{PE} = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{K} \quad (4.8)$$

Em que:

S_{PE} ⇒ Seção do condutor de proteção, em mm².

I ⇒ Valor eficaz da corrente de falta, em ampères, que pode circular pelo dispositivo de proteção para uma falta direta.

t ⇒ Tempo, em segundos, de atuação do dispositivo de proteção.

K ⇒ Constante definida pela Tabela 4.7, que depende do material do condutor de proteção, de sua isolação e de outras partes e das temperaturas inicial e final.

Tabela 4.7: Valores de K: dimensionamento de condutores de proteção, temperatura ambiente de 30°C.

Cabos Isolados		Material da Cobertura	
Tipo do Condutor	Material do Condutor	PVC 70°C	EPR/XLPE 90°C
Independentes (condutor isolado, cabo unipolar ou cabo nu em contato com a cobertura do cabo)	Cobre	143	176
	Aluminio	95	116
	Aço	52	64
Veias de cabos unipolares	Cobre	115	143
	Aluminio	76	94

Fonte: Adaptado de Instalações Elétricas [7]. 144 p.

As duas alternativas apresentadas na literatura estão de acordo com a NBR 5410 [12]. Como para utilização da Expressão 4.8 é necessário saber mais dados a respeito dos equipamentos que o condutor irá proteger, torna-se mais prático a utilização da Tabela 4.6, visto que as duas opções são previstas por norma.

4.5 Escolha do Esquema de Aterramento

De acordo com a NBR 5410/2004 [12], as instalações elétricas prediais devem possuir um dos esquemas de aterramento (TT, TN ou IT) apresentados subseção 3.3.15 deste trabalho.

A escolha do esquema de aterramento a ser usado na instalação predial deve ser feita no início do projeto, tendo em vista a influência que isso terá em várias etapas do trabalho (escolha dos dispositivos de proteção, dimensionamento de circuitos, etc.) [9]. Deve basear-se em dados de diversas naturezas a serem considerados em conjunto, a fim de se escolher o esquema mais adequado para a instalação.

Porém, nem todos os livros comentam sobre os aspectos importantes a serem considerados na escolha do esquema de aterramento.

Autores como Cavelin e Cervelin [5] e Niskier e Macintyre [6] apresentam como são cada esquema, dando suas características, mas não possuem um tópico exclusivo para tratar sobre como proceder na escolha de um deles.

Cotrim [9], através do tópico Escolha do Esquema de Aterramento, é quem explica de maneira mais profunda, detalhando os aspectos fundamentais na escolha de um aterramento e apresentando sugestões de aterramento para determinadas instalações prediais. Domingos Filho [4], contém uma explicação com conteúdo semelhante ao Cotrim [9], porém de maneira menos profunda.

Já Creder [7] e Mamede [8] trazem informações mais superficiais sobre as características importantes na escolha de um aterramento, porém trazem uma contribuição importante no que tange as restrições de utilização do esquema IT.

É possível notar que Cotrim [9] é quem dá uma melhor base para escolha de um esquema de aterramento para uma instalação predial. Se destacando, entre os demais autores, neste tópico.

Em princípio, todos os esquemas de aterramento oferecem o mesmo grau de segurança em relação à proteção das pessoas, porém, apresentam características de aplicação diferentes, o que gera vantagens e desvantagens fundamentais na escolha para uma instalação.

Pode-se considerar quatro aspectos fundamentais para se escolher o esquema de aterramento [9]:

- Alimentação;

- Equipamento de utilização;
- Natureza dos locais;
- Funcionamento.

A análise de cada um desses aspectos se dá a seguir:

Alimentação

- Em prédios alimentados por rede pública em baixa tensão, em virtude da exigência de aterramento do neutro na origem da instalação, só podem ser utilizados os esquemas TN e TT.

- Em prédios alimentados por transformador (ou gerador) próprio, em princípio, qualquer esquema de aterramento pode ser usado, no entanto, é preferível usar o esquema TN (caso típicos de instalações industriais e de certos prédios comerciais de porte) e, em alguns casos específicos, o esquema IT (como em alguns setores industriais e hospitalares).

Equipamento de Utilização

- Em instalações que possuam equipamentos de utilização com elevada corrente de fuga não é conveniente usar o esquema TT, devido a possibilidade de disparos frequentes e intempestivos dos dispositivos de proteção à corrente diferencial residual.

- Em instalações que possuam equipamentos com elevada vibração mecânica, não é recomendável utilizar o esquema TN, em virtude da possibilidade de rompimento do condutor de proteção (contido na mesma linha elétrica dos condutores vivos).

Natureza dos Locais

- Em locais com risco de incêndio BE²³ ou de explosão BE³⁴, pode não ser conveniente a utilização do esquema TN, devido ao elevado valor da corrente de falta fase-massa.

³ Definido pela NBR 5410/2004 [12] como um local com as seguintes características: presença de substâncias combustíveis, como fibras e líquidos com alto ponto de fulgor.

⁴ Definido pela NBR 5410/2004 [12] como um local com as seguintes características: presença de substâncias inflamáveis, como líquidos com baixo ponto de fulgor, gases e vapores, pós combustíveis sujeitos a explosão e substâncias explosivas.

Funcionamento

- Em instalações prediais onde seja fundamental e indispensável a continuidade no serviço, como em determinados setores de hospitais, de indústrias, etc, deve-se optar pelo esquema IT.

4.5.1 Aterramento de Prédios alimentados por Rede Pública de Distribuição em Baixa Tensão

É uma exigência da NBR 5410/2004 [12] que todas as instalações prediais alimentadas por rede de distribuição pública em baixa tensão, tenham o condutor de neutro aterrado na origem da instalação.

Nessas condições, em geral a solução mais conveniente a nível de segurança é utilização do esquema TN-C-S, em que o sistema é TN-C até a entrada do prédio, e desse ponto em diante será TN-S. A conveniência dessa solução se dá uma vez que [9]:

- É utilizado um único sistema de aterramento na entrada da instalação do consumidor;
- As correntes de curto-circuito são altas e a proteção atua de forma eficaz;
- A rápida atuação da proteção diminui o tempo de choque elétrico, o que proporciona proteção contra contatos indiretos.

4.5.2 Aterramento de Prédios alimentados por Subestação de Transformação

Em virtude das posições relativas da subestação e do prédio, existem duas soluções possíveis:

- Interligação dos aterramentos de proteção da subestação e da instalação predial.
- Separação dos aterramentos de proteção da subestação e da instalação predial.

A primeira opção é indicada para quando o prédio e a subestação são considerados próximos, ou seja, quando estão afastados por uma distância geralmente inferior ou igual a 15 m. Nesse caso, o aterramento do neutro também deve ser integrado à interligação, e a instalação predial deve seguir o esquema TN. É importante observar que mesmo que o prédio esteja distante da subestação (afastamento maior que 15 m),

se existir ligação entre eles por meio de cabos com armação metálica ou por meio de condutos metálicos, esta é a opção indicada.

A segunda opção só deve ser usada quando for possível garantir a independência dos eletrodos de aterramento da subestação e do prédio. Nesse caso, a instalação predial pode seguir o esquema TT.

4.5.3 Restrições de aplicação do Esquema IT

O esquema de aterramento IT deve ser restrito as seguintes aplicações [7]:

- Suprimento de instalações industriais de processo contínuo, cuja continuidade da alimentação seja fundamental, com tensão de alimentação igual ou maior que 380 V, com cumprimento obrigatório das seguintes condições:

- O neutro não é aterrado;
- Há detecção permanente de falta para a terra;
- A manutenção e a supervisão estão a cargo de pessoal habilitado.

- Suprimento de circuitos de comando, em que a continuidade seja fundamental, alimentados por transformador isolador, com cumprimento obrigatório das seguintes condições:

- Há detecção permanente de falta para a terra;
- A manutenção e a supervisão estão a cargo de pessoal habilitado;
- Circuitos isolados de reduzida extensão, em prédios hospitalares, onde a continuidade da alimentação e a segurança dos pacientes sejam essenciais;
- Alimentação de retificadores destinados a acionamentos de velocidade controlada.

4.6 Exceções ao uso do aterramento

Conforme tratado anteriormente neste trabalho, o aterramento de proteção é indicado para toda instalação predial, a fim de protegê-la contra choques elétricos por contato indireto.

Porém, existem algumas medidas de proteção⁵ contra choques elétricos que são suficientes para proteção de um determinado sistema, não sendo necessário a aplicação do aterramento. Mas os livros, em sua maioria, pouco comentam sobre essas medidas de proteção.

Creder [7] e Cavalin e Cervelin [5] apenas comentam que uma instalação pode ser protegida por separação elétrica.

Cotrim [9] é quem explica de maneira mais profunda, explicando o funcionamento dessas medidas de proteção. Domingos Filho [4], de forma semelhante ao Cotrim [9] também comenta sobre as medidas de proteção que não exigem o aterramento, mas as explica de forma superficial.

Novamente, pode-se notar que o autor Cotrim [9] traz um conteúdo mais profundo em seus livros, comparado aos demais autores.

Seguem abaixo os casos em que o aterramento não é necessário:

Sistemas de Extra Baixa Tensão

O sistema de extra baixa tensão de segurança, denominado pela NBR 5410/2004 de SELV (do inglês, Separated Extra-Low Voltage), é considerado uma medida de proteção contra contatos diretos e indiretos. Trata-se de um sistema eletricamente separado da terra e de outros sistemas, de maneira que a ocorrência de uma única falta não gere risco de choque elétrico. Os circuitos SELV não possuem qualquer ponto nem massas aterrados [9].

Existe também um outro sistema de extra baixa tensão, denominado pela NBR 5410/2004 de PELV (do inglês, Protected Extra-Low Voltage), que é um sistema que não é eletricamente separado da terra, mas que atende a todos os quesitos do SELV. Nesse sistema, os componentes ou suas massas podem ser aterrados [9].

Equipamentos classe II ou com isolação equivalente

Os equipamentos classe II possuem isolação dupla ou reforçada em todas as suas partes vivas. A utilização de equipamentos desse tipo ou dos que possuam isolação equivalente é por si só uma medida de proteção, sendo dispensáveis qualquer

⁵ Para um tratamento mais amplo em relação aos métodos de proteção contra choques elétricos que dispensam o uso do aterramento, veja Ademaro A. M. B. Cotrim. *Instalações Elétricas*. 5 ed., 2008, Capítulo 7.

outra. Esses equipamentos não devem ser aterrados (diretamente) nem ligado a condutores de proteção [9].

Locais não condutores

São locais em que paredes e pisos apresentam resistência mínima, em qualquer ponto, de 50 k Ω , quando a tensão nominal da instalação não for superior a 500 V, ou de 100 k Ω , quando a tensão for superior a 500 V. É a condição de locais com piso de madeira ou com revestimento não removível de material isolante e paredes de alvenaria [9].

Nesses locais, a proteção contra contatos indiretos é assegurada se as pessoas não puderem entrar em contato, de forma simultânea, com duas massas ou com uma massa e um elemento estranho à instalação [9]. Sendo assim, é dispensável a utilização do aterramento de proteção.

Sistema com Ligação Equipotencial Local não aterrada

Nesse sistema de proteção, não existe diferença de potencial entre os pontos que possam estar ao alcance das mãos e dos pés de uma pessoa, ou seja, os pontos devem ser equipotenciais. Se o conjunto equipotencial estiver totalmente isolado da terra, não haverá perigo, visto que uma pessoa não conseguirá tocar, ao mesmo tempo, em um componente do conjunto e outro elemento externo. É importante ressaltar que o piso do local tanto pode ser isolante como ligado à ligação equipotencial [9].

Sistema de Proteção por Separação Elétrica

A proteção por separação elétrica, prevista na NBR 5410/2004, consiste na alimentação de um circuito através de uma fonte de separação, que pode ser um transformador isolador (caso mais comum), ou por uma fonte de corrente que garanta um grau de segurança equivalente ao transformador de separação [9].

Esse sistema é estruturado de modo que não seja necessário a utilização de um aterramento de proteção.

4.7 Interseções dos dispositivos de proteção com o aterramento

Todos os livros com foco em Instalações Elétricas analisados abordam as interseções existentes entre os esquemas de aterramento e os dispositivos de proteção. Porém alguns são superficiais enquanto outros são mais profundos.

Cavalin e Cervelin [5] não avaliam a proteção de acordo com cada esquema de aterramento. Domingos [4] apresenta as fórmulas e tabelas das condições de proteção de cada esquema, mas não tece muitos comentários que auxiliem no entendimento do assunto.

Por outro lado, Creder [7] dá uma explicação com maior profundidade que os autores citados anteriormente. Separa a avaliação por esquema, apresenta formulas, faz comentários e dicas que ajudam a entender sobre o tema. Mas algo que prejudica o entendimento neste livro é o fato deste assunto estar dividido em capítulos diferentes do livro, nos capítulos 4 e 5.

Contendo uma explicação mais profunda, Cotrim [9] detalha os dispositivos de proteção adequados a cada esquema de aterramento, mostrando como dimensioná-los, através de formulas, tabelas e comentários que auxiliam no entendimento. Além disso, o fato deste conteúdo estar concentrado em um capítulo, o capítulo 8, ajuda no aprendizado.

Na proteção contra contatos indiretos, os dispositivos DR são os mais apropriados para serem utilizados, pois foram desenvolvidos para esta finalidade. Sob certas condições muito particulares, nos esquemas TN e IT, a NBR 5410/2004 admite o uso de disjuntores e fusíveis para essa proteção. Porém, apesar da norma admitir e serem uma solução de custo relativamente baixo, deve-se observar que tais dispositivos não foram desenvolvidos para proteção contra contatos indiretos. Portanto seu uso para esse fim deve ser cercado de todo o cuidado [9].

4.7.1 Esquema TT

Nos prédios que utilizam o esquema TT, a proteção contra contatos indiretos deve ser feita, obrigatoriamente, por dispositivos DR. Nesse caso, a condição de proteção é dada pela Expressão 4.9.

$$R_A \cdot I_{\Delta N} \leq U_L \quad (4.9)$$

Em que:

$R_A \Rightarrow$ Resistência de aterramento das massas.

$I_{\Delta N} \Rightarrow$ Corrente diferencial-residual nominal de atuação do dispositivo DR.

$U_L \Rightarrow$ Tensão de contato limite.

Os valores máximos típicos de resistência de aterramento das massas, em um esquema TT, em função da corrente diferencial-residual nominal de atuação do dispositivo DR e da tensão de contato limite, são mostrados na Tabela 4.8.

Tabela 4.8: Valores máximos de resistência de aterramento das massas em um esquema TT.

$I_{\Delta N}$ (A)	Valor Máximo de R_A (Ω)	
	Situação 1 ¹ ($U_L = 50$ V)	Situação 2 ² ($U_L = 25$ V)
0,03	1,667	833
0,3	167	83,3
0,5	100	50
Notas:		
1. Corresponde às situações BB1, BB2, BC1, BC2 e BC3 da Tabela 4.2.		
2. Corresponde às situações BB3 e BC4 da Tabela 4.3.		

Fonte: Adaptado de Instalações Elétricas [9]. 253 p.

4.7.2 Esquema TN

Nas instalações que utilizam o esquema TN-C, a proteção contra contatos indiretos só pode ser realizada por dispositivo a sobrecorrente (disjuntor ou fusível), uma vez que esse esquema não é compatível com dispositivos DR. Já no esquema TN-S ambos os dispositivos podem ser utilizados.

Neste esquema, as características do dispositivo de proteção e as impedâncias dos circuitos, admitindo falta direta fase-massa, devem atender à condição dada pela Expressão 4.10:

$$Z_S \cdot I_a \leq U_0 \quad (4.10)$$

Sendo:

$Z_S \Rightarrow$ Impedância do percurso da corrente de falta, composto pela fonte, pelo condutor vivo, até o ponto de ocorrência da falta, e pelo condutor de proteção, do ponto de ocorrência da falta até à fonte.

$I_a \Rightarrow$ Corrente que assegura a atuação do dispositivo de proteção em um tempo máximo especificado, conforme Tabela 4.9.

$U_0 \Rightarrow$ Tensão nominal entre fase e neutro, valor eficaz em corrente alternada.

Tabela 4.9: Tempos de seccionamento máximos no esquema TN.

U_0 (V)	Tempo de seccionamento (s)	
	Situação 1 ¹	Situação 2 ²
115, 120, 127	0,8	0,35
220	0,4	0,2
254	0,4	0,2
277	0,4	0,2
400	0,2	0,05

Notas:

1. Corresponde às situações BB1, BB2, BC1, BC2 e BC3 da Tabela 4.2.
2. Corresponde às situações BB3 e BC4 da Tabela 4.3.

Fonte: Adaptado de Instalações Elétricas [9]. 240 p.

É importante observar que no caso de utilização de dispositivos DR, na prática, essa condição nem precisa ser verificada. Visto que Z_S é da ordem de $m\Omega$ (condutores metálicos) e I_a é da ordem de mA (corrente de atuação do dispositivo DR), o que resulta no produto $Z_S \cdot I_a$ da ordem de μV , valor significativamente inferior a U_0 , indicado na Tabela 4.9. Entretanto, a aplicação desta condição é sempre necessária no caso de utilização de dispositivos de proteção contra sobrecorrentes, para a proteção contra choques elétricos [9].

É recomendável que, sempre que possível, o “sistema” de condutores de proteção seja aterrado em vários pontos (aterramento múltiplo), a fim de garantir, em caso de falta, que seu potencial e o das massas que estão ligadas a ele fiquem tão próximo quanto possível do potencial da terra [9].

4.7.3 Esquema IT

Nas instalações que usam o esquema IT, é necessária a utilização de um dispositivo supervisor de isolamento (DSI), para indicar a ocorrência de uma primeira falta à massa ou à terra. Esse dispositivo deve emitir um sinal sonoro e/ou visual, para que a equipe de manutenção seja avisada da falta, e o defeito seja corrigido o mais rápido possível.

Para que não seja obrigatório o seccionamento automático quando ocorrer uma primeira falta à terra ou a massa, é necessário que a condição dada pela Expressão 4.11 seja satisfeita.

$$R_A \cdot I_d \leq U_L \quad (4.11)$$

Em que:

$R_A \Rightarrow$ Resistência de aterramento das massas.

$I_a \Rightarrow$ Corrente resultante de uma primeira falta fase-massa, leva em consideração as correntes de fuga naturais e a impedância global de aterramento da instalação.

$U_L \Rightarrow$ Tensão de contato limite.

No esquema IT, o seccionamento automático de um circuito só deve ocorrer caso a primeira falta fase-massa não seja eliminada e ocorra uma segunda falta fase-massa, envolvendo outra fase. Para isso podem ser utilizados, em princípio, disjuntores, fusíveis ou dispositivos DR, desde que não atuem em uma primeira falta.

O seccionamento automático na ocorrência de uma segunda falta deve ser equacionado seguindo-se as regras definidas para o esquema TT ou TN, dependendo de como as massas estão aterradas.

No caso da proteção envolver massas ou grupos de massas ligadas a eletrodos de aterramento distintos, as considerações aplicáveis são as prescritas para o esquema TT. Já quando a proteção envolver massas ou grupos de massas que estejam ligadas por condutor de proteção (ligadas todas ao mesmo eletrodo de aterramento), as condições aplicáveis são as prescritas para o esquema TN, devendo ser respeitada as seguintes condições [9]:

- No caso do neutro não ser distribuído, atender a Expressão 4.12.

$$Z_S \leq \frac{U}{2I_a} \quad (4.12)$$

- No caso do neutro ser distribuído, atender a Expressão 4.13.

$$Z'_S \leq \frac{U_0}{2I_a} \quad (4.13)$$

Sendo:

$Z_S \Rightarrow$ Impedância do percurso da corrente de falta, quando o neutro não é distribuído, composto pelo condutor de fase e pelo condutor de proteção do circuito.

$Z'_S \Rightarrow$ Impedância do percurso da corrente de falta, quando o neutro é distribuído, composto pelo condutor neutro e pelo condutor de proteção do circuito.

$U \Rightarrow$ Tensão nominal entre fases, valor eficaz em corrente alternada.

$U_0 \Rightarrow$ Tensão nominal entre fase e neutro, valor eficaz em corrente alternada.

$I_a \Rightarrow$ Corrente que assegura a atuação do dispositivo de proteção em um tempo máximo especificado, conforme Tabela 4.10.

Tabela 4.10: Tempos de seccionamento máximos no esquema IT (2ª falta).

Tensão nominal do circuito		Tempo de seccionamento (s)			
U (V)	U_0 (V)	Neutro não distribuído		Neutro distribuído	
		Situação 1 ¹	Situação 2 ²	Situação 1 ¹	Situação 2 ²
208, 220, 230	115, 120, 127	0,8	0,4	5	1
380, 400	220, 230	0,4	0,2	0,8	0,5
440, 480	254, 277	0,4	0,2	0,8	0,5
690	400	0,2	0,06	0,4	0,2

Notas:

1. Corresponde às situações BB1, BB2, BC1, BC2 e BC3 da Tabela 4.2.
2. Corresponde às situações BB3 e BC4 da Tabela 4.3.

Fonte: Adaptado de Instalações Elétricas [9]. 255 p.

4.8 Interseções da proteção de sobretensões com o aterramento

Os livros, em sua maioria, assim como nas interseções com os circuitos, abordam sobre as interseções existentes entre o aterramento e proteção contra sobretensões. Alguns abordam com uma maior profundidade em relação ao SPDA, enquanto outros em relação aos DPS.

4.8.1 Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA)

Em relação ao Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas, Cavalin e Cervelin [5] apenas informam que o SPDA possui ligação com o aterramento.

Pode-se perceber, que no que tange ao SPDA, o Cotrim [9] não é tão profundo quanto em outros assuntos abordados anteriormente, porém ainda traz informações importantes sobre como se deve interligar o SPDA e o aterramento.

Quem apresenta uma abordagem mais profunda neste aspecto é Creder [7], que além de explicar sobre as interligações do SPDA com o aterramento, também apresenta e avalia dois arranjos básicos de aterramento.

Todas as opções de eletrodos de aterramentos previstos pela NBR 5410/2004 também são reconhecidas pela NBR 5419/2005, em virtude disso, o eletrodo de

aterramento de uma instalação predial deve ser utilizado conjuntamente pelos sistemas de baixa tensão e o SPDA [9].

Como explicado no item 4.3.2, a NBR 5419/2005 recomenda que a resistência de aterramento seja inferior a 10Ω . De acordo com esta norma são previstas duas alternativas básicas de aterramento de um SPDA [7]:

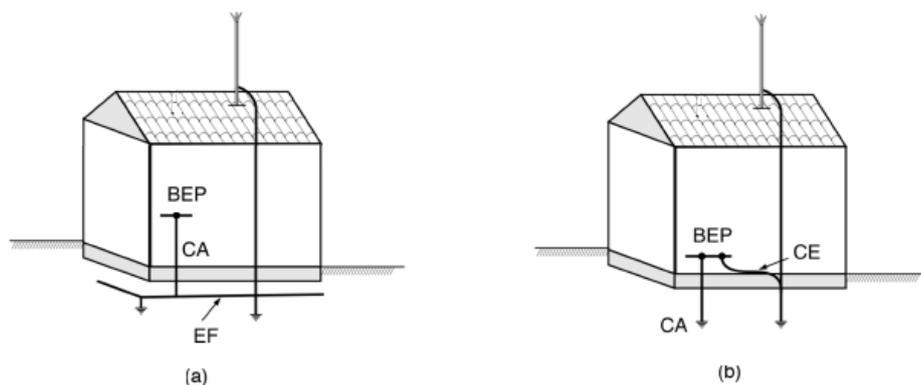
- Arranjo A \Rightarrow Composto por eletrodos radiais (verticais, horizontais ou inclinados). É indicado para estruturas com perímetro de até 25 m. Nesta configuração, cada condutor de descida deve ser conectado, no mínimo, a um eletrodo distinto, com extensão mínima de 5 m para condutores horizontais e 2,5 m para hastes verticais (enterradas a uma profundidade de 0,5 m e distantes pelo menos 1 m das fundações do prédio.

- Arranjo B \Rightarrow Composto por eletrodos em anel ou embutidos nas fundações da estrutura. É obrigatório para prédios com perímetro superior a 25 m.

O arranjo B, quando embutido nas fundações do prédio, apresenta vantagens em relação ao arranjo A, dentre as quais se destacam [7]:

- Menor custo de instalação;
- Vida útil compatível com a da edificação;
- Maior proteção contra seccionamentos e danos mecânicos;
- Resistência de aterramento mais estável.

Os aterramentos do SPDA e da instalação elétrica predial devem ser interligados. De preferência em um único eletrodo de aterramento, conforme mostra a Figura 4.6 a). Entretanto, se o eletrodo de aterramento do SPDA for distinto do da instalação predial, é preciso que haja uma interligação entre eles, como indicado na Figura 4.6 b).



Legenda:

BEP – Barra de equipotencialização
 CE – Condutor de equipotencialidade
 CA – Condutor de aterramento
 EF – Eletrodo embutido na fundação

Figura 4.6: Aterramento do SPDA e da instalação elétrica predial: (a) utilizando um único eletrodo de aterramento (b) utilizando eletrodos de aterramento distintos - Fonte: Adaptado de Instalações Elétricas [7]. 142 p.

As seções mínimas do eletrodo de aterramento de um SPDA devem respeitar as prescrições da Tabelas 4.11 e 4.12.

Tabela 4.11: Seções mínimas do eletrodo de aterramento de um SPDA.

Material	Eletrodo de aterramento (mm ²)
Cobre	50
Aço galvanizado a quente ou embutido em concreto	80

Fonte: Adaptado de Instalações Elétricas [7]. 228 p.

Tabela 4.12: Espessuras mínimas do aterramento de um SPDA.

Material	Aterramento (mm)
Aço galvanizado a quente	4
Cobre	0,5
Aço inox	5

Fonte: Adaptado de Instalações Elétricas [7]. 230 p.

Notas sobre a Tabela 4.12:

- 1) Independentemente das espessuras, deverão ser mantidas as seções transversais apresentadas na Tabela 4.11.
- 2) Os condutores de aço (exceto inox) devem ser protegidos com uma camada de zinco aplicado a quente (fogo) ou com uma camada de cobre com espessura mínima de 254 mm.
- 3) O aço de construção só pode ser utilizado embutido em concreto.

4.8.2 Sistema de Proteção contra Surtos

Em relação ao sistema de proteção contra surtos, Niskier e Macintyre [5] informam que o DPS deve estar presente numa instalação predial, mas não abordam sua interseção com o aterramento.

Já Cotrim [9] traz um aspecto importante, que são os valores mínimos de tensão de operação do DPS, de acordo com o esquema de aterramento.

E Creder [7] e Cavalin e Cervelin [5] apresentam os esquemas de conexão do DPS à instalação, contendo suas interseções com os esquemas de aterramento.

Para a adequada seleção de um DPS é preciso saber o valor da sua tensão de operação contínua (U_c), que por sua vez, varia em função do esquema de aterramento utilizado na instalação predial, conforme pode ser visto na Tabela 4.13. Nessa tabela, U_0 é a tensão fase-neutro e U é a tensão entre fases.

Tabela 4.13: Valor mínimo de U_c , exigível do DPS, em função do esquema de aterramento.

DPS conectado entre (modo de instalação)				Esquema de aterramento				
Fase	Neutro	PE	PEN	TT	TN-C	TN-S	IT com neutro distribuído	IT sem neutro distribuído
X	X			$1,1U_0$		$1,1U_0$	$1,1U_0$	
X		X		$1,1U_0$		$1,1U_0$	$\sqrt{3}U_0$	U
X			X		$1,1U_0$			
	X	X		U_0		U_0	U_0	

Fonte: Instalações Elétricas [9]. 377 p.

Quanto a instalação de um DPS, a NBR 5410/2004 determina que ele seja instalado no ponto de entrada da linha elétrica na edificação ou no quadro de distribuição principal, o mais próximo possível do ponto de entrada, quando o objetivo for a proteção contra os efeitos de descargas atmosféricas indiretas. E que seja instalado no ponto de entrada da linha elétrica na edificação quando o objetivo for a proteção contra os efeitos de descargas atmosféricas diretas. Em ambos os casos a instalação deve respeitar os esquemas de conexão da Figura 4.7.

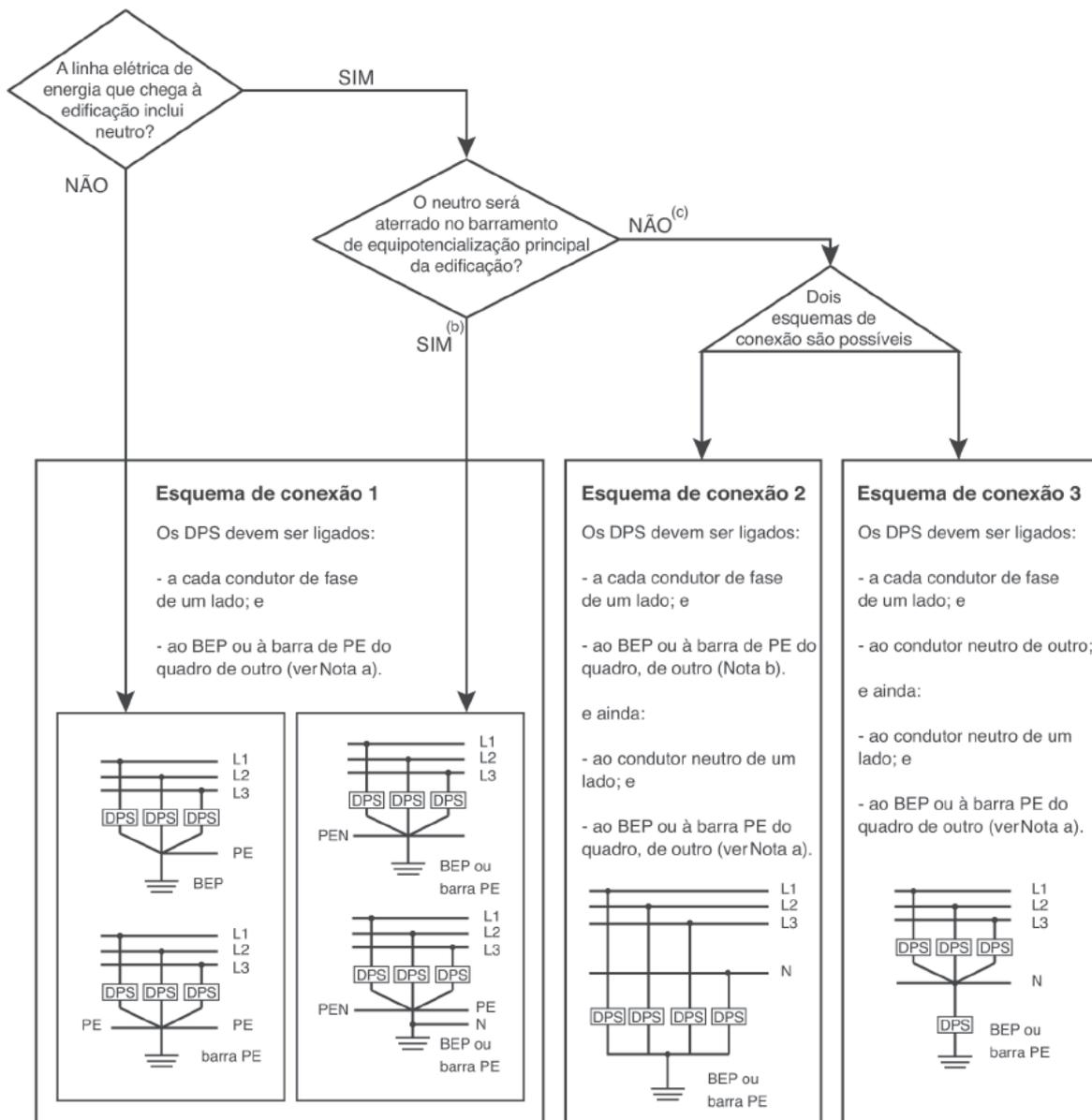


Figura 4.7: Esquemas de conexão do DPS no ponto de entrada da linha de energia ou quadro de distribuição principal da edificação - Fonte: Adaptado de Instalações Elétricas [7]. 128 p.

Notas referentes a Figura 4.7:

- a) A ligação ao BEP ou à barra PE depende de onde, exatamente, os DPS serão instalados e como o BEP é instalado na prática. Assim, a ligação será no BEP quando:
- o BEP se situar a montante (antes) do quadro de distribuição principal (com o BEP localizado, como deve ser, nas proximidades imediatas do ponto de entrada da linha na edificação) e os DPS forem instalados juntos do BEP e não no quadro; ou
 - os DPS forem instalados no quadro de distribuição principal da edificação e a barra PE do quadro acumular a função de BEP. Consequentemente, a ligação será na barra PE propriamente dita quando os

DPS forem instalados no quadro de distribuição e a barra PE do quadro não acumular a função de BEP.

- b) A hipótese configura um esquema que entra TN-C e que avança instalação adentro TN-C ou que entra TN-C e, em seguida passa a TN-S. O neutro de entrada, necessariamente PEN, deve ser aterrado no BEP direta ou indiretamente. A passagem do esquema TN-C a TN-S, com separação do condutor PEN de chegada em condutor neutro e condutor PE, seria feita no quadro de distribuição principal (globalmente, o esquema é TN-C-S).
- c) Nesta hipótese é possível três possibilidades de esquema de aterramento: TT (com neutro), IT com neutro e linha que entra na edificação já em esquema TN-S.

4.9 Considerações Finais

Ao longo dessa análise pode-se perceber que os livros possuem profundidades diferentes nos tópicos relacionados ao aterramento de instalações elétricas prediais.

Um dos livros que se mostram mais completos, a nível de profundidade do tema deste trabalho, é o livro do autor Cotrim [9], apesar de ser muito superficial quanto ao SPDA e também apresentar uma estrutura que dificulta o aprendizado, pois as questões relacionadas ao aterramento estão divididas por vários capítulos do livro.

Naturalmente, os autores Visacro [10] e Kindermann e Campagnolo [11] não trazem muitos aspectos práticos relacionados ao aterramento em instalações prediais, visto que este não é o foco de estudo dos livros deles. Porém, trazem questões importantes sobre a teoria de aterramento, como quanto a tensão de toque e de passo e também sobre as influências que a geometria de um eletrodo gera em sua resistência de aterramento.

Também é notável, que a maioria dos livros possuem um capítulo específico sobre aterramento, mas por vezes se torna difícil entender sobre as interseções que ele tem com as demais proteções da instalação, pois normalmente estes assuntos não estão agrupados de maneira próxima. O aterramento e as demais proteções costumam ser dados em capítulos separados, e sem ser feita algum tipo de referência para que se consulte outras seções e possa se entender sobre as interseções que existem.

Desta maneira, nota-se que o conteúdo aterramento de instalações elétricas prediais possui soluções diferenciadas e incompletas nos livros didáticos. Para um mesmo tópico, nota-se que os autores fazem abordagens diferentes. Em determinados assuntos importantes, como a escolha de um esquema de aterramento e a influência

que a geometria de um eletrodo gera em sua resistência de aterramento, muitos só falam superficialmente.

Além dos autores não possuírem todos os assuntos relacionados ao aterramento no mesmo livro, como foi visto no Capítulo 2, quando possuem, por vezes o conteúdo de determinado tópico não é completo, contendo apenas explicações superficiais. Fatores esses que contribuem para a dificuldade de entendimento por parte dos alunos.

5. Conclusões

Este trabalho apresentou uma revisão do conteúdo sobre aterramento para instalações elétricas prediais e a análise de algumas aplicações específicas do aterramento, cujos os autores apresentam soluções diferenciadas e incompletas.

Através da revisão bibliográfica, buscou-se apresentar a segmentação existente na literatura sobre o tema. Esta revisão se deu pela análise da abrangência que cada livro dá ao tema da pesquisa. Podendo-se notar que, em cada livro didático, não é possível encontrar todo o conteúdo sobre o tema. Sendo assim, torna-se necessário recorrer a diversos livros para que se possa entender sobre o aterramento de instalações prediais. Algo que dificulta o aprendizado do aluno sobre esse assunto, que foi justamente a grande motivação para o desenvolvimento desta pesquisa.

A revisão teórica contida no capítulo 3 pode contribuir na contextualização da questão do aterramento. Apresentou definições importantes para o entendimento do tema. Mostrou a grande importância do aterramento num sistema de energia elétrica, principalmente no que tange a proteção dos seres vivos contra choques elétricos. Além disso, também mostrou as aplicações, necessidades e aplicações de um sistema de aterramento em instalações prediais.

Foi possível entender a diferença entre o aterramento funcional e o de proteção, que são os dois tipos básicos de aterramento de uma instalação predial. Também pode-se aprender sobre os componentes de um aterramento e de uma equipotencialização, compreendendo as relações entre eles e como deverão ser feitas as ligações entre seus componentes.

E mais, também foram vistos os conceitos básicos sobre as interseções entre o aterramento e as demais proteções de uma instalação predial. Sendo possível entender, de forma básica, o funcionamento e atuação de disjuntores, fusíveis, dispositivos DR e DPS. Pode-se entender também sobre a formação de uma descarga atmosférica e a constituição de um SPDA.

Já no capítulo 4, a partir da base teórica dada no capítulo 3, pode-se aprofundar em algumas aplicações do aterramento em instalações elétricas prediais por meio da análise de tópicos importantes da literatura, verificando as diferentes abordagens que os autores dão a um mesmo tema.

Foi possível aprender sobre as características dos diferentes tipos de eletrodos de aterramento previstos para uma instalação predial. Também foram vistos os aspectos

que influenciam na escolha de um esquema de aterramento, bem como os esquemas de aterramento mais indicados para alguns tipos de instalações. Ainda foram conhecidos os tipos de instalações que não necessitam utilizar um aterramento de proteção. E por fim, foram entendidas as interseções que o aterramento possui com as demais proteções de uma instalação.

Após toda a pesquisa realizada pode-se perceber a grande importância do aterramento para a segurança das pessoas e equipamentos de uma instalação predial, entender as maneiras corretas de se realizar o aterramento nestas instalações, e também perceber algumas das fragilidades da literatura que dificultam o entendimento do assunto.

Em virtude do que este trabalho apresentou, é possível afirmar que os objetivos traçados para ele foram alcançados. O objetivo principal era revisar como a literatura orienta fazer o aterramento de instalações elétricas de baixa tensão, afim de consolidar um material didático auxiliar para as disciplinas de conteúdos relacionados. Esta revisão se deu pelo agrupamento, organizado numa sequência que auxilie o entendimento, das principais informações e orientações contidas nos livros didáticos analisados. Como objetivo secundário, se tinha a análise de algumas aplicações do aterramento, esta análise ocorreu pela verificação da abordagem que os livros dão a importantes tópicos sobre aterramento.

A realização deste trabalho representou um grande crescimento pessoal e profissional para mim. Possibilitando um aprofundamento no conhecimento sobre aterramento em instalações prediais e completando a minha formação acadêmica. Além disso, esta pesquisa também pode contribuir na formação de outros alunos, servindo como material de apoio no estudo de disciplinas com conteúdos relacionados ao aterramento nas instalações elétricas de baixa tensão.

Para trabalhos futuros, fica a possibilidade de realização de projetos que envolvam estudos de caso da aplicação do aterramento em instalações prediais residenciais, comerciais e industriais. Outra possibilidade relevante também seria a análise dos sistemas de aterramento das instalações prediais da UFRJ, onde se poderia analisar as características dos diferentes eletrodos que são usados.

6. Referências Bibliográficas

- [1] Abracopel. Anuário Estatístico Brasileiro de Acidentes de Origem Elétrica. Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade, 2018.
- [2] Abracopel. Raio X das Instalações Residenciais Brasileiras Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade, 2017.
- [3] NERY, Norberto. *Instalações Elétricas*. 3 ed. Eltec, 2005.
- [4] LIMA FILHO, Domingos Leite Lima. *Projetos de Instalações Elétricas Prediais*. 6 ed. Érica, 2001.
- [5] CAVALIN, Geraldo; CERVELIN, Severino. *Instalações Elétricas Prediais*. 14 ed. São Paulo: Érica, 2006.
- [6] NISKIER, Julio; MACINTYRE, A. J.; *Instalações Elétricas*. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- [7] CREDER, Hélio. *Instalações Elétricas*. 16 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- [8] MAMEDE FILHO, João. *Instalações Elétricas Industriais*. 9 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.
- [9] COTRIM, Ademaro A. M. B. *Instalações Elétricas*. 5 ed. São Paulo: Pearson, 2008.
- [10] VISACRO FILHO, S. *Aterramentos Elétricos*. São Paulo: Artliber, 2002.
- [11] KINDERMANN, Geraldo; CAMPAGNOLO, Jorge Mario. *Aterramento Elétrico*. 3 ed. Porto Alegre: Sagra – D.C Luzzatto, 1995.
- [12] NBR 5410/ 2004 - *Instalações Elétricas de Baixa Tensão*. Rio de Janeiro, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [13] NBR 5419/2005 - *Proteção de Estruturas contra Descargas Atmosféricas*. Rio de Janeiro, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [14] Disponível em: <http://www.eletricistaconsciente.com.br/pontue/fasciculos/guia-nbr-5410-fasciculo-13/protacao-contr-efeitos-termicos-incendios-e-queimaduras/> .Acesso em: 03/09/2018 às 12:35

- [15] Disponível em: <https://consultoriaengenharia.com.br/seguranca-ocupacional/choque-eletrico-tudo-que-voce-queria-saber/> .Acesso em: 30/08/2018 às 11:18
- [16] PINHEIRO, T.F.L., Sistemas de Aterramento em Baixa Tensão. Projeto de Graduação, Escola Politécnica/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2013.
- [17] SILVA, M.D.P., Prevenção de Acidentes nas Instalações Elétricas. Projeto de Graduação, Escola Politécnica/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2016.
- [18] Disponível em: <http://www.pantojaindustrial.com/exibir.php?id=216>. Acesso em: 24/06/2018 às 18:44
- [19] Disponível em: <http://www.eletrodomesticos.blog.br/nocoes-basicas-sobre-aterramento>. Acesso em: 03/09/2018 às 11:35
- [20] Disponível em: <http://www.energisul.com.br/noticias>. Acesso em: 03/09/2018 às 11:41
- [21] Disponível em: <http://www.portaleletricista.com.br/wp-content/uploads/2014/03/Malha-de-Aterramento.jpg> . Acesso em: 04/09/2018 às 15:38
- [22] Disponível em: <http://www.hager.pt/catalogo-de-produtos/distribuicao-de-energia/proteccao/esq.-ligacao-a-terra/esquema-tt/41368.htm> .Acesso em: 26/06/2018 às 15:26
- [23] Disponível em: <http://www.hager.pt/catalogo-de-produtos/distribuicao-de-energia/proteccao/esq.-ligacao-a-terra/esquema-tn/41369.htm> .Acesso em: 26/06/2018 às 15:27
- [24] Disponível em: <http://www.hager.pt/catalogo-de-produtos/distribuicao-de-energia/proteccao/esq.-ligacao-a-terra/esquema-it/41370.htm> .Acesso em: 26/06/2018 às 15:28
- [25] Disponível em: <https://www.dbtec.com.br/single-post/2017/12/07/Descargas-Atmosf%C3%A9ricas-%E2%80%93-O-que-%C3%A9-quando-e-como-ocorrem-e-como-se-proteger> .Acesso em: 04/09/2018 às 08:11
- [26] Disponível em: <http://www.getrotech.com.br/Artigos/aterramento/> Acesso em: 09/07/2018 às 15:10

[27] Disponível em: <https://www.qconcursos.com/questoes-de-concursos/questao/96cc9356-85> Acesso em: 09/07/2018 às 15:35