

GABRIEL LEITE CARDOSO

**Desenvolvimento de Aplicativo para Dimensionamento e Orçamento de Sistemas de
Aterramento Elétrico para Baixas Tensões**

Guaratinguetá

2021

Gabriel Leite Cardoso

**Desenvolvimento de Aplicativo para Dimensionamento e Orçamento de Sistemas de
Aterramento Elétrico para Baixas Tensões**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador (a): Prof. Dr. Teófilo Miguel Souza

Guaratinguetá

2021

C268d	<p>Cardoso, Gabriel Leite</p> <p>Desenvolvimento de aplicativo para dimensionamento e orçamento de sistemas de aterramento elétrico para baixas tensões / Gabriel Leite Cardoso – Guaratinguetá, 2022.</p> <p>135 f. : il.</p> <p>Bibliografia: f. 133-135</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2022.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza</p> <p>1. Linhas elétricas subterrâneas. 2. Energia elétrica - Distribuição. 3. Correntes elétricas. I. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU 621.316.99</p>
-------	--

Luciana Máximo
Bibliotecária CRB-8/3595

GABRIEL LEITE CARDOSO

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE
DO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO(A) EM NOME DO CURSO”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM NOME DO CURSO

Prof.^(a) Dr.^(a) DANIEL JULIEN BARROS DA SILVA SAMPAIO
Coordenador(a)

BANCA EXAMINADORA:



Prof.^(a) Dr.^(a) TEÓFILO MIGUEL DE SOUZA
Orientador(a)/UNESP-FEG



Prof.^(a) Me. EVALDO CHAGAS GOUVÊA
UNESP-FEG



Eng.^(a). CARLOS AUGUSTO MARCONDES DOS SANTOS
Membro Externo

Dezembro de 2021

RESUMO

A proteção contra curtos-circuitos ou descargas elétricas de alta tensão é de interesse geral para aplicações em Engenharia. Estudar e compreender bem estes fenômenos é fundamental para evitar o desperdício de capital em sistemas, equipamentos, ou projetos e, muito mais importante, conservar a vida, uma vez que podem causar acidentes e prejudicar a saúde e o bem estar das pessoas. O conhecimento que abrange estes temas está em constante evolução e, nos dias de hoje, existem muitos modelos de proteção contra estes fenômenos, pensados, cada um, para uma circunstância em específico. Estas circunstâncias abrangem características que variam entre a composição geométrica do terreno para instalação do sistema, as condições financeiras do requerente do projeto e as necessidades específicas de segurança, atreladas à operacionalização do objeto protegido. Existem várias metodologias e cálculos para a aferição de qual a configuração mais adequada para a proteção de um determinado sistema, equipamento, ou localidade. No entanto, todas exigem diversas manipulações matemáticas complexas ou trabalhosas. Além disso, é importante sopesar a viabilidade financeira para a instalação destes sistemas e entender as implicações de custo de cada projeto, fator que muitas vezes é negligenciado ao se estudar o tema. Visando elucidar as questões apresentadas e facilitar o dimensionamento e orçamento de projetos de aterramento elétrico de baixa tensão, foi desenvolvido um aplicativo utilizando a plataforma gratuita Power Apps. A experiência de uso foi pensada durante todo o processo de criação da aplicação, de forma que o resultado final é um software bastante interativo e amigável ao usuário iniciante.

PALAVRAS-CHAVE: Aterramento elétrico. Sistemas de proteção. Power Apps. Desenvolvimento de aplicativos. Desenvolvimento de software.

ABSTRACT

Protection against short circuits or high voltage electrical discharges is of general interest for engineering applications. Studying and understanding well these phenomena is essential to avoid wasting capital on systems, equipment, or projects and, more importantly, to conserve life, as they can cause accidents and harm people's health and well-being. The knowledge that covers these themes is constantly evolving and, nowadays, there are many models of protection against these phenomena, designed, each one, for a specific circumstance. These circumstances include characteristics that vary from the geometric composition of the terrain for the installation of the system, the financial conditions of the project applicant and the specific security needs, linked to the operation of the protected object. There are several methodologies and calculations for assessing which configuration is most suitable for protecting a particular system, equipment, or location. However, they all require several complex or laborious mathematical manipulations. In addition, it is important to look at the financial feasibility of installing these systems and understand the cost implications of each project, a factor that is often overlooked when studying the topic. To elucidate the issues presented and facilitate the dimensioning and budget of low voltage electrical grounding projects, an application was developed using the free Power Apps platform. The user experience was designed throughout the application creation process, so that the result is a very interactive and friendly software for the novice user.

KEYWORDS: Electrical grounding. Protection systems. Power Apps. Application development. Software development.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico de Tempo x Corrente	18
Figura 2 - Resistividade de solo arenoso x Temperatura.....	21
Figura 3 - Setup utilizado no método de Wenner	22
Figura 4 - Conversão de solo em 2 camadas equivalentes	24
Figura 5 - Gráfico da resistividade aparente do solo	25
Figura 6 - Valores típicos de K_t x Resistividade	28
Figura 7 - Configuração de haste simples	29
Figura 8 - Configuração de hastes paralelas	30
Figura 9 - Exemplo de simetria na configuração de hastes paralelas	32
Figura 10 - Potencial de toque	39
Figura 11 - Tensão de passo	40
Figura 12 – Circuito equivalente para tensão de passo	41
Figura 13 – Medição da tensão de passo	43
Figura 14 - Extrapolação da tensão de toque.....	44
Figura 15 - Medição da tensão de toque.....	44
Figura 16 - Dimensionamento do condutor de malha	46
Figura 17 - Projeto inicial de malha	48
Figura 18 - Correntes nas bordas das malhas	50
Figura 19 - Fluxograma da malha de terra	54
Figura 20 - Configuração das hastes no modelo de Wenner	56
Figura 21 - Esquema TN-S.....	57
Figura 22 - Esquema TN-C	58
Figura 23 - Esquema TN-C-S.....	58
Figura 24 - Esquema TT.....	59
Figura 25 - Esquema IT	59
Figura 26 - Caixa de inspeção	62
Figura 27 - Haste de aterramento	63
Figura 28 - Conector cabo haste.....	63
Figura 29 - Conector de eletroduto.....	64
Figura 30 - Mapeamento das plataformas low-code	67
Figura 31 - Tela inicial de um aplicativo criado com Power Apps	68
Figura 32 - Tela de escolha de atividade e validação	69

Figura 33 - Histórico de tarefas	69
Figura 34 - Entradas via cabeçalho.....	70
Figura 35 - Entradas via barra de navegação.....	71
Figura 36 - Entradas via página inicial.....	71
Figura 37 - Exemplo de área de trabalho do Power Apps.....	72
Figura 38 - Propriedades avançadas	73
Figura 39 - Fluxo de navegação do aplicativo.....	75
Figura 40 - Curva de resistividade aparente para $Beta = 0,1$	79
Figura 41 - Configuração exemplo de hastes paralelas	81
Figura 42 - Coleções utilizadas	90
Figura 43 - Site Projeto de Aterramentos Elétricos.....	91
Figura 44 - Exemplo de lista utilizada no aplicativo.....	92
Figura 45 - Página Inicial	94
Figura 46 - Identificador do usuário	95
Figura 47 - Botões da página inicial.....	95
Figura 48 - Página Meus Projetos	96
Figura 49 - Cabeçalho da Página Meus Projetos.....	97
Figura 50 - Estrutura da Página do Projeto.....	98
Figura 51 - Exemplo de cabeçalho no Modo Visualização.....	99
Figura 52 - Exemplo do Modo Edição	100
Figura 53 - Modo Criação	102
Figura 54 - Fluxograma da criação de um projeto	103
Figura 55 - Página Solo do Projeto.....	104
Figura 56 - Página Tipo de Projeto.....	105
Figura 57 - Página Orçamento do Projeto	106
Figura 58 - Página de Êxito	107
Figura 59 - Página Relatório.....	108
Figura 60 - Ação de impressão da Página Relatório	109
Figura 61 - Página Tutorial.....	110
Figura 62 - Relatório com uma haste.....	120
Figura 63 - Relatório com hastes paralelas.....	121
Figura 64 - Relatório com hastes em triângulo.....	122
Figura 65 - Relatório com hastes em quadrado vazio	123
Figura 66 - Relatório com hastes em quadrado cheio	124

Figura 67 - Relatório com haste em anel	125
Figura 68 - Relatório com haste horizontal	126
Figura 69 - Relatório com haste horizontal reto	127
Figura 70 - Relatório com hastes em estrela de 3 pontas	128
Figura 71 - Relatório com haste em estrela de 4 pontas	129
Figura 72 - Relatório com hastes em estrela de 6 pontas	130
Figura 73 - Relatório com hastes em estrela de 8 pontas	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resistividade padrão para cada tipo de solo.....	20
Tabela 2 - Resistividades padrão para solo arenoso	20
Tabela 3 - Exemplo de valores de k para configuração de hastes alinhadas	33
Tabela 4 - Coeficiente para cálculo da configuração em quadrado vazio	37
Tabela 5 - Coeficiente para cálculo da configuração em quadrado cheio	38
Tabela 6 - Dimensionamento de condutores de malha.....	47
Tabela 7 - Orçamento com lista padrão de materiais	62
Tabela 8 - Exemplo de kit de aterramento básico	64
Tabela 9 - Pontos de curva de resistividade (Betas de 0,01 à 2)	77
Tabela 10 - Pontos da curva de resistividade (Betas de 5 à 200)	78
Tabela 11 - Regressões da curva de resistividade	79
Tabela 12 - Coeficientes Y para até 10 hastes.....	82
Tabela 13 - Coeficientes para cálculo de acréscimo de resistência.....	83
Tabela 14 - Passo para obtenção de k.....	85
Tabela 15 - Coeficientes de redução para o exemplo.....	87
Tabela 16 - Resultados da resistividade do solo para uma haste.....	111
Tabela 17 - Resultados da resistividade do solo para hastes alinhadas e semelhantes.....	112
Tabela 18 - Resultados da resistividade do solo para demais configurações	112
Tabela 19 - Premissas para o orçamento	113
Tabela 20 - Resultados com uma haste	113
Tabela 21 - Resultados com hastes paralelas	114
Tabela 22 - Resultados com hastes em triângulo	114
Tabela 23 - Resultados com hastes em quadrado vazio	115
Tabela 24 - Resultados com hastes em quadrado cheio	115
Tabela 25 - Resultados com haste em anel.....	116
Tabela 26 - Resultados com haste horizontal	116
Tabela 27 - Resultados com haste horizontal reto.....	117
Tabela 28 - Resultados com hastes em estrela de 3 pontas	117
Tabela 29 - Resultados com hastes em estrela de 4 pontas	118
Tabela 30 - Resultados com haste em estrela de 6 pontas.....	118
Tabela 31 - Resultados com hastes em estrela de 8 pontas	119

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de zonas de aterramentos e características	15
Quadro 2 - Efeitos da corrente elétrica no corpo humano	18
Quadro 3 - Tipos de configurações.....	34
Quadro 4 - Estrutura de telas do aplicativo	75
Quadro 5 - Variáveis de controle.....	88
Quadro 6 - Variáveis de cálculo	89
Quadro 7 - Listas utilizadas pelo aplicativo	92

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
2.	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	14
3.	GENERALIDADES DE ATERRAMENTO	15
3.1.	CONCEITO DE ZONA.....	15
3.2.	ASPECTOS DO ATERRAMENTO NO MUNDO.....	15
3.3.	O ATERRAMENTO NO BRASIL	16
4.	SISTEMA DE ATERRAMENTO	17
4.1.	RISCO DE CHOQUE ELÉTRICO	17
4.1.1.	Efeitos da corrente elétrica no corpo humano	17
4.2.	RESISTIVIDADE DO SOLO	19
4.2.1.	Influência da umidade	20
4.2.2.	Influência da temperatura	21
4.3.	MEDIÇÃO DA RESISTIVIDADE DO SOLO	21
4.4.	RESISTIVIDADE APARENTE.....	22
4.5.	SOLUÇÃO DE CAMADAS	23
4.6.	TRATAMENTO QUÍMICO DO SOLO	25
4.6.1.	Tipos de tratamento químico	26
4.6.2.	Coefficiente de redução devido ao tratamento químico do solo	27
4.7.	TIPOS DE SISTEMAS ELÉTRICOS	28
4.7.1.	Haste única	29
4.7.1.1.	Exemplo de aplicação para haste única	29
4.7.2.	Hastes alinhadas.....	30
4.7.2.1.	Índice de aproveitamento.....	32
4.7.3.	Outras configurações	33
4.7.4.	Malha de subestação	38
4.7.4.1.	Limite de corrente para não causar fibrilação.....	38
4.7.4.2.	Potencial de toque	39
4.7.4.3.	Potencial de passo	40
4.7.4.4.	Medida do potencial de passo	43
4.7.4.5.	Medida do potencial de toque	44
4.7.4.6.	Itens necessários para o projeto de malha de subestação.....	45

4.7.4.7.	Dimensionamento do condutor de malha	45
4.7.4.8.	Potenciais máximos a serem verificados	47
4.7.4.9.	Malha inicial	48
4.7.4.10.	Resistência de aterramento da malha.....	49
4.7.4.11.	Potencial de malha	49
4.7.4.12.	Potencial máximo de passo.....	52
4.7.4.13.	Limitações das equações.....	53
4.7.4.14.	Fluxograma de dimensionamento da malha	53
5.	PROJETO DO SISTEMA DE ATERRAMENTO	55
5.1.	ETAPA 1: DEFINIÇÃO DO LOCAL.....	55
5.2.	ETAPA 2: AVALIAÇÃO DO LOCAL.....	55
5.3.	ETAPA 3: ESTRATIFICAÇÃO DO SOLO	56
5.4.	ETAPA 4: DEFINIÇÃO DO TIPO DE SISTEMA DE ATERRAMENTO	56
5.4.1.	Sistema do tipo TN.....	56
5.4.2.	Sistema do tipo TT	58
5.4.3.	Sistema do tipo IT	59
5.5.	ETAPA 5: CÁLCULO DA RESISTIVIDADE APARENTE DO SOLO	60
5.6.	ETAPA 6: DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ATERRAMENTO	60
5.7.	CUSTOS DE IMPLEMENTAÇÃO	60
5.7.1.	Escolha de materiais	61
5.7.1.1.	Caixa de inspeção	62
5.7.1.2.	Haste de aterramento	62
5.7.1.3.	Conector cabo haste	63
5.7.1.4.	Conector de eletroduto.....	63
5.7.2.	Exemplo hipotético de aplicação	64
6.	POWER APPS	66
6.1.	PLATAFORMAS LOW-CODE.....	66
6.2.	EXEMPLOS DE APLICAÇÃO	68
6.3.	PRINCIPAIS CONCEITOS	70
7.	DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE	74
7.1.	INTRODUÇÃO	74
7.2.	ESTRUTURA GERAL DO APLICATIVO.....	74
7.3.	ROTINAS DE CÁLCULO	76

7.3.1.	Resistividade aparente do solo.....	76
7.3.2.	Configuração de hastes paralelas	80
7.4.	VARIÁVEIS DE CONTROLE	87
7.5.	VARIÁVEIS DE CÁLCULO.....	88
7.6.	COLEÇÕES.....	90
7.7.	LISTAS DO SHAREPOINT	91
8.	FUNCIONAMENTO DO APLICATIVO	94
8.1.	PÁGINA INICIAL	94
8.2.	PÁGINA MEUS PROJETOS	96
8.3.	PÁGINA DO PROJETO	97
8.3.1.	Modo Visualização	99
8.3.2.	Modo Edição.....	100
8.3.3.	Modo Criação	101
8.4.	PÁGINA SOLO DO PROJETO	103
8.5.	PÁGINA TIPO DE PROJETO	104
8.6.	PÁGINA ORÇAMENTO DO PROJETO	106
8.7.	PÁGINA DE ÊXITO	107
8.8.	PÁGINA RELATÓRIO.....	107
8.9.	PÁGINA TUTORIAL	109
9.	RESULTADOS OBTIDOS	111
10.	CONCLUSÃO	132
	REFERÊNCIAS	133

1. INTRODUÇÃO

A vida agitada do século 21 por vezes nos faz negligenciar temas essenciais como a segurança. No meio urbano, andamos por casas e prédios a todo tempo, para fins de moradia, trabalho e lazer, estando expostos a sistemas que normalmente nos passam despercebidos, como sistemas de segurança, que só costumamos dar atenção em momentos de acidente. Aterramentos elétricos estão nesta lista de sistemas fundamentais, pois tem como finalidade melhorar a segurança de pessoas e equipamentos, evitando que sejam expostos a perigos por falhas ou descargas elétricas ou, caso expostos, estejam devidamente protegidos.

Este projeto tem como objetivo fundamental o desenvolvimento de um software que é utilizado para projetos de sistemas de aterramento elétrico.

Um aterramento elétrico bem dimensionado pode evitar que falhas elétricas danifiquem equipamentos, estruturas, edifícios e objetos comuns, resultando em custos financeiros (PINHEIRO, 2013).

O sistema de aterramento faz parte do sistema de distribuição de energia e consiste em cabos, hastes e conectores instalados em certa profundidade no subsolo, de acordo com o cálculo de um projeto, para estabelecer um caminho apropriado para a corrente de falha escoar. Além das características do solo como resistividade, estratificação, umidade e temperatura, sua geometria também depende da importância e do tipo de local de instalação (KINDERMANN, 2011).

Para tanto, a importância deste trabalho se dá em orientar desde um leigo, até um profissional, na compreensão mais profunda das práticas comuns de aterramento – como por exemplo o conhecimento das características do solo e sua resistividade elétrica – e fornecer informações úteis que podem manter sua segurança. Este assunto ainda traz muitas dúvidas e acaba por gerar imprecisões – como o dimensionamento inadequado do sistema de aterramento, ou bitola inadequada do condutor de proteção – ou pior, a falta do aterramento que muitas vezes é ignorado.

Por fim, este projeto é motivado pelo almejo de melhoria da estrutura da literatura atual sobre o tema – a qual possui fragilidades por ser pouco valorizado – considerando o fato de ser relevante também para outras áreas como a Geologia, na localização de jazidas minerais e falhas nas camadas da Terra, lençol d'água, petróleo, gás; e a Arqueologia, dando subsídio para descobertas arqueológicas. Este trabalho objetiva facilitar o entendimento a cerca do aterramento e aumentar o número de pessoas com acesso ao mesmo.

2. ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Este capítulo apresenta a estruturação completa deste trabalho.

No capítulo 1 está a introdução descrita com motivação e os principais objetivos do projeto.

No capítulo 3, são abordadas generalidades de aterramento que englobam o Brasil e o mundo, além de trazer o conceito de zona.

O capítulo 4 traz mais detalhadamente os sistemas de aterramento em um contexto que engloba, além do embasamento de cada tipo de aterramento, os principais riscos de choque elétrico e as características naturais que interferem em um sistema, desde as propriedades do solo, até o seu tratamento químico.

O capítulo 5 traz com mais detalhes como um projeto deve ser executado, variando entre temas como a estratégia de organização, até uma proposta de plano de custos de implementação na execução de um aterramento, finalizando com um exemplo de aplicação.

O capítulo 6 faz uma introdução aos principais conceitos sobre o que é e como funciona o Power Apps, plataforma de desenvolvimento da Microsoft, utilizada para a elaboração do software deste trabalho.

O capítulo 7 conta como o aplicativo *Projetos de Aterramentos Elétricos* foi desenvolvido, abordando a estrutura geral do aplicativo, o fluxo de navegação entre as telas e a construção geral dos algoritmos.

O capítulo 8 mostra no detalhe o funcionamento do aplicativo, abordando, página à página as suas funcionalidades, como utilizar e alguns detalhes das funções realizadas por detrás da programação.

Por fim, o capítulo 9 apresenta alguns exemplos de aplicação do software desenvolvido.

3. GENERALIDADES DE ATERRAMENTO

No Brasil, as técnicas de aterramento seguem a norma NBR 5410 (ABNT, 2004), mas cada país é orientado por uma norma diferente. As principais técnicas são abordadas à seguir.

3.1. CONCEITO DE ZONA

Zona é um conceito definido para atribuir o grau de risco de um local, conforme a criticidade das atividades que lá ocorrem. O aterramento é influenciado pela zona atribuída, uma vez que deve ser específico para zonas mais importantes, ou genérico para zonas onde não há alto risco. O Quadro 1 introduz três tipos de zonas (GENNARI, 2017).

Quadro 1 – Tipos de zonas de aterramentos e características

Zona	Característica da Zona
0	Local interno a equipamentos de processo que, em contato com o meio externo, formam misturas conflagráveis assíduas.
1	Local vulnerável a explosões em situações regulares e operação do equipamento de processo; onde a totalidade de conexões a meio de condutores e hastes verticais precisa ser integralmente enterradas e soldadas com solda exotérmica e fica vedado a existência de poços de inspeção.
2	Local onde as ocorrências de explosões são breves tanto no tempo do incidente quanto na quantidade de vezes que dão-se. Nessas áreas, as comunicações entre eletrodos, hastes e condutores são realizadas com conectores mecânicos de alta pressão. Por fim, podem possuir poços de inspeção das hastes de aterramento, caso seja necessário.

Fonte: Gennari (2017).

3.2. ASPECTOS DO ATERRAMENTO NO MUNDO

As distintas áreas da Engenharia Elétrica que envolvem o aterramento, como telecomunicações, radiofrequência, sistemas de potência, entre outras, dão margem para variações tanto de projetos, como de execuções; em decorrência disto, nascem normas diferentes ao redor do mundo (GENNARI, 2017).

Além disso, o aterramento é visto de diferentes perspectivas de acordo com cada uma das áreas. De forma geral:

- Em um Sistema de Potência, o aterramento é uma “referência” do sistema em corrente alternada, devendo ser um caminho de baixa impedância e que garanta uma rápida atuação das proteções;
- Em Telecomunicações, o valor de impedância entre equipamentos e entre equipamentos e terra deve ser baixo;
- Em Rádio Frequência, o aterramento é um dos componentes no processo de propagação de sinais e serve como caminho de baixa impedância para altas frequências.

Para tanto, publicado pela National Fire Protection Association (NFPA) e atualizado a cada três anos, o National Electrical Code ou Código Elétrico Nacional (NEC) engloba diversos países, incluindo Brasil e todos os cinquenta estados dos Estados Unidos, atuando como base padrão para fiação elétrica, trazendo como tema a instalação de condutores elétricos, equipamentos e eletrodutos (NFPA, 2020).

3.3. O ATERRAMENTO NO BRASIL

Embora o NEC (NFPA, 2020) especifique as condições de projeto e instalação de aterramento, no Brasil a NBR 5410 (ABNT, 2004) prevê o uso de diversos tipos de aterramento, gerando possibilidade de confusão por parte dos projetistas. Por exemplo, alguns dos esquemas previstos pela norma são proibidos nos Estados Unidos (GENNARI, 2017).

Internamente, também ocorre confusão, uma vez que muitas instalações ainda não acolhem os requisitos de segurança e não seguem o uso de esquemas que não sejam o TN-S, restrito pela NBR 5410 (ABNT, 2004). O resultado disso é um cenário comum com: queima de equipamentos, custos elevados de manutenção, exposição de usuários a choques elétricos e perdas significativas na instalação (GENNARI, 2017).

Indo além, ainda é comum a existência de diferentes esquemas de aterramento instalados em um mesmo sistema, mesmo que incompatíveis.

4. SISTEMA DE ATERRAMENTO

Considerando que uma sobrecorrente pode causar riscos de choque elétrico ou queima de equipamento, os sistemas aterrados asseguram um caminho para a corrente de falta em direção à terra.

Para fins de projetos de um sistema de aterramento, é necessário um estudo custoso - tanto no aspecto temporal, quanto monetário, o que torna cara a implementação deste tipo de sistema - e prévio do sistema elétrico e do ambiente em questão, considerando os seguintes aspectos: resistividade aparente do solo, tipo de material utilizado para aterrar e o dimensionamento do sistema (PINHEIRO, 2013).

4.1. RISCO DE CHOQUE ELÉTRICO

O choque elétrico é a passagem de corrente elétrica que pode percorrer o corpo de seres vivos e provocar distúrbios diversos (SANTOS, 2018).

4.1.1. Efeitos da corrente elétrica no corpo humano

Segundo Kinderman (2005) as características de um choque elétrico podem estimular desde um formigamento até a morte do indivíduo e variam de acordo com uma série de fatores como intensidade da corrente elétrica, tempo de duração do choque elétrico, dentre outros.

Em uma escala gradual em relação a intensidade de corrente, é possível dizer que esta se manifesta e evolui em uma certa sequência, considerando possíveis variações devido aos diversos fatores que influenciam o choque elétrico.

O Quadro 2 indica o efeito da corrente no corpo humano, considerando correntes alternadas de 50 a 60 Hz, e sem levar em conta o tempo de duração do choque.

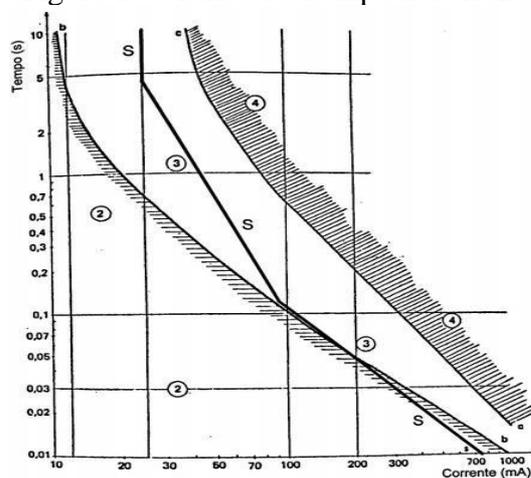
No entanto, o fator tempo é extremamente relevante quando se trata de um choque elétrico. Sem embargo, a Figura 1 é uma das tentativas de indicar os efeitos no corpo humano provenientes da curva de tempo em função da corrente (PIMENTA, 2017).

Quadro 2 - Efeitos da corrente elétrica no corpo humano

I(mA)		Reação Fisiológica	Consequência	Salvamento	Resultado Final mais Provável
CA	CC				
Até 25	Até 80	<p><u>1mA (CA):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Sensação de formigamento. <p><u>5-15mA (CA):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Contração muscular. <p><u>15-25mA (CA):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Contrações violentas, impossibilidade de soltar o fio; - Problemas respiratórios. 	Se a corrente for próxima de 25mA (CA), poderá haver problemas respiratórios e consequentemente a morte aparente.	Respiração Artificial.	Restabelecimento.
25-80	80-300	<ul style="list-style-type: none"> - Sensação insuportável; - Contrações violentas; - Asfixia. 	Morte aparente.	Respiração Artificial.	Restabelecimento.
Ordem de Amperes		<ul style="list-style-type: none"> - Queimaduras; - Necrose do tecido; - Fibrilação ventricular; - Asfixia imediata; - Danos posteriores provenientes da eletrólise. 	<ul style="list-style-type: none"> - Morte aparente; - Dependendo da extensão das queimaduras, sequelas ou morte. 	<ul style="list-style-type: none"> - Massagem cardíaca; - Tratamento Hospitalar; - Respiração artificial. 	<ul style="list-style-type: none"> - Hospital; - Desfibrilação ventricular; - Recuperação difícil; - Atrofia muscular; - Outros danos.

Fonte: Pimenta (2017), apud Kindermann (2005).

Figura 1 - Gráfico de Tempo x Corrente



Fonte: Pimenta (2017), apud Kindermann (2005).

Interpretação das zonas da Figura 1 (PIMENTA, 2017 apud KINDERMANN, 2005):

- Zona 2: geralmente nenhum efeito perigoso para o corpo humano;
- Zona 3: podem ocorrer efeitos perigosos, sendo que é relevante ressaltar os efeitos pulmonares;
- Zona 4: altas chances de fibrilação ventricular (superior a 50%);
- Zona 5: chamada de *curva de segurança* onde há chance de 0,5% de ocorrer fibrilação ventricular.

Apesar das interpretações das zonas da Figura 1, as diferentes condições de choque e do próprio corpo humano tornam muito difícil ponderar o encontro dessas superfícies e, conseqüentemente, reduzem drasticamente a previsão de efeitos do choque elétrico.

4.2. RESISTIVIDADE DO SOLO

Como supracitado no início desta seção 4, para especificar o projeto do sistema de aterramento, é necessário conhecer as características do solo em que o sistema será implantado.

O solo é formado por diferentes tipos de substâncias, dispostas em camadas horizontais, e a sua resistividade varia de acordo com sua composição – umidade, temperatura e presença de sal livre são alguns dos componentes que afetam essa propriedade, além da profundidade da camada (PIMENTA, 2017).

Portanto, ao projetar um aterramento, o solo deve ser analisado detalhadamente, uma vez que as diversas combinações de fatores que influenciam a condutividade do solo resultam em solos com resistividades diferentes, ainda que aparentemente iguais. A Tabela 1 mostra alguns exemplos de resistividade do solo de acordo com sua característica.

Tabela 1 - Resistividade padrão para cada tipo de solo

Tipo de Solo	Resistividade $\Omega.m$
Lama	5 a 100
Terra de jardim com 50% de umidade	140
Terra de jardim com 20% de umidade	480
Argila Seca	1.500 a 5.000
Argila com 40% de umidade	80
Argila com 20% de umidade	330
Areia Molhada	1.300
Areia Seca	3.000 a 8.000
Calcário Compacto	1.000 a 5.000
Granito	1.500 a 10.000

Fonte: Kindermann (2011).

4.2.1. Influência da umidade

A variação de umidade do solo como fator isolado é suficiente para alterar a resistividade, uma vez que forma um meio eletrolítico através da dissolução de sais presentes no solo, cuja concentração de água é diretamente proporcional à facilidade de passagem de corrente.

Neste sentido, a Tabela 2 mostra a variação da resistividade em relação ao índice de umidade de um solo arenoso, da qual deduz-se que os aterramentos têm melhor qualidade em um solo úmido (KINDERMANN, 2011).

Tabela 2 - Resistividades padrão para solo arenoso

Índice de Umidade (% por peso)	Resistividade $\Omega.m$ (Solo Arenoso)
0,0	10.000.000
2,5	1.500
5,0	430
10,0	185
15,0	105
20,0	63
30	42

Fonte: Kindermann (2011).

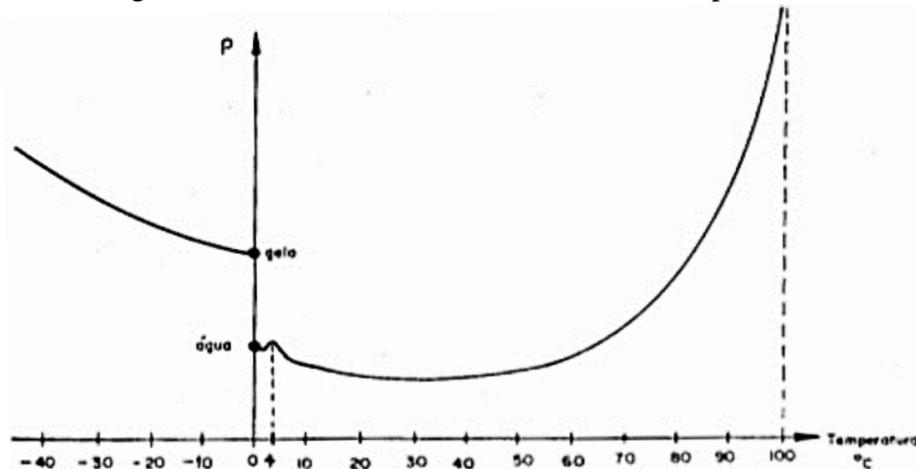
4.2.2. Influência da temperatura

A variação de temperatura do solo como fator isolado também é suficiente para alterar a resistividade, uma vez que pode alterar o estado da água presente no solo.

Conforme a Figura 2, para temperaturas menores ou iguais a zero, a resistividade aumenta, pois a água aglutina e dispersa as ligações iônicas entre os grânulos de terra. O mesmo comportamento de resistividade é observado para temperaturas próxima de 100°C, porém nesses casos, a água evapora, deixando o solo mais seco e com bolhas interna.

Por fim, conclui-se que o solo tem melhor resistividade para aterramentos em temperaturas mais amenas (KINDERMANN, 2011).

Figura 2 - Resistividade de solo arenoso x Temperatura



Fonte: Kindermann (2011).

4.3. MEDIÇÃO DA RESISTIVIDADE DO SOLO

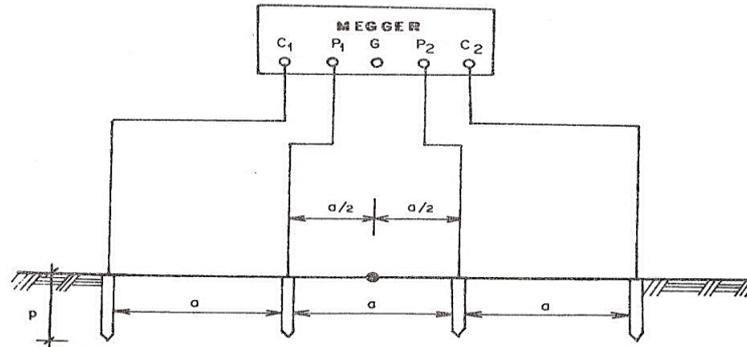
Visto que a resistividade do solo é influenciada por vários fatores além dos supracitados, faz-se necessário o uso de métodos padronizados para medir esta propriedade. Essa medição é feita de acordo com as normas da ABNT: NBR 7117 – medição da resistividade pelo método de Wenner - a qual utiliza um Megger que possui quatro terminais: um par para corrente e outro para potencial. Estes terminais estão cravados ao solo a uma determinada profundidade (p), e igualmente espaçados a uma determinada distância (a).

O resultado exibido no Megger é tal que o valor da resistência elétrica lida é relativa a profundidade p do solo, conforme a Figura 3.

São necessárias múltiplas leituras com diferentes distâncias entre as hastes alinhadas para

realizar uma medição precisa (KINDERMANN, 2011).

Figura 3 - Setup utilizado no método de Wenner



Fonte: Kindermann (2011).

A partir dos parâmetro deste método e de eq. (1), obtém-se o valor da resistividade ρ do solo.

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

4.4. RESISTIVIDADE APARENTE

Um solo possui várias camadas com diferentes composições. Cada uma delas portanto, possui uma resistividade própria que influencia em intensidades diferentes no sistema de aterramento. Esse efeito de cada camada depende: da composição do solo com suas respectivas camadas, da geometria e do tamanho da instalação do aterramento.

Para tanto, faz sentido definir o conceito de resistividade aparente, que é a resistência vista pelo sistema de aterramento integrado ao solo, relativo à sua profundidade; sendo que essa última determina as camadas do solo envolvidas no aterramento e, conseqüentemente, a resistividade equivalente do solo.

De forma geral, a resistência de aterramento pode ser obtida através de eq. (2).

$$R_{\text{aterramento}} = \rho_a \cdot f(g) \quad (2)$$

Sendo:

- $R_{\text{aterramento}}$: Resistência elétrica do sistema de aterramento [Ω];
- ρ_a : Resistividade aparente solo [$\Omega \cdot m$];

• $f(g)$: Função dependente da geometria e do método de instalação do sistema de aterramento.

Por fim, pela eq. (2), pode-se concluir que a resistividade aparente (ρ_a) de um sistema de aterramento instalado em solo com diversas camadas é equivalente à resistividade de um solo de camada única que produz o mesmo efeito.

4.5. SOLUÇÃO DE CAMADAS

A resistividade aparente (ρ_a) de um sistema de aterramento é obtida através do nível de penetração da corrente em um solo de apenas duas camadas. Portanto, em casos onde o solo tem mais de duas camadas, deve ser reduzido a um equivalente de apenas duas, através do método apropriado (LIMA, 2006).

Para redução, aplica-se a fórmula de Hummel, apresentadas em eq. (3) e eq. (4)

$$\rho_{eq} = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{\frac{d_1}{\rho_1} + \frac{d_2}{\rho_2} + \dots + \frac{d_n}{\rho_n}} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\rho_i}} \quad (3)$$

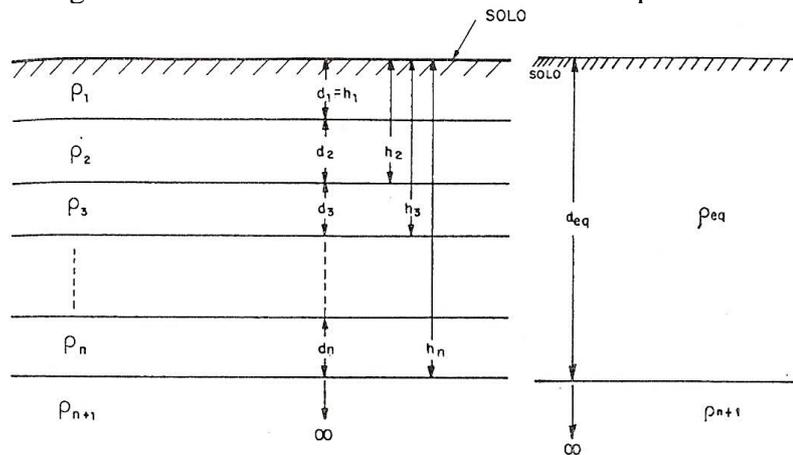
$$d_{eq} = d_1 + d_2 + \dots + d_n = \sum_{i=1}^n d_i \quad (4)$$

Sendo:

- d_i : Profundidade da i -ésima camada [m];
- ρ_i : Resistividade da i -ésima camada [Ωm];
- n : Número de camadas [#];
- ρ_{eq} : Resistividade da primeira camada equivalente [Ωm].

Dessa forma, um solo de várias camadas reduzido a um equivalente de duas camadas pode ser representado como na Figura 4.

Figura 4 - Conversão de solo em 2 camadas equivalentes



Fonte: Kindermann (2011).

Com o solo reduzido a duas camadas, a resistividade aparente pode ser obtida através do produto do fator N pela resistividade equivalente.

$$\rho_A = N * \rho_{eq} \quad (5)$$

O fator N pode ser obtido da curva apresentada na Figura 5, desenvolvida por Endrenyi, onde α é o coeficiente de penetração e β o coeficiente de divergência, dados por eq. (5) e eq. (6), com auxílio de eq. (7) ou eq. (8), dependendo da configuração das hastes de aterramento (LIMA, 2006).

$$\alpha = \frac{r}{d_{eq}} \quad (6)$$

$$\beta = \frac{\rho_{n+1}}{\rho_{eq}} \quad (7)$$

$$r = \frac{(n-1) \cdot e}{2} \quad (8)$$

$$r = \frac{A}{D} \quad (9)$$

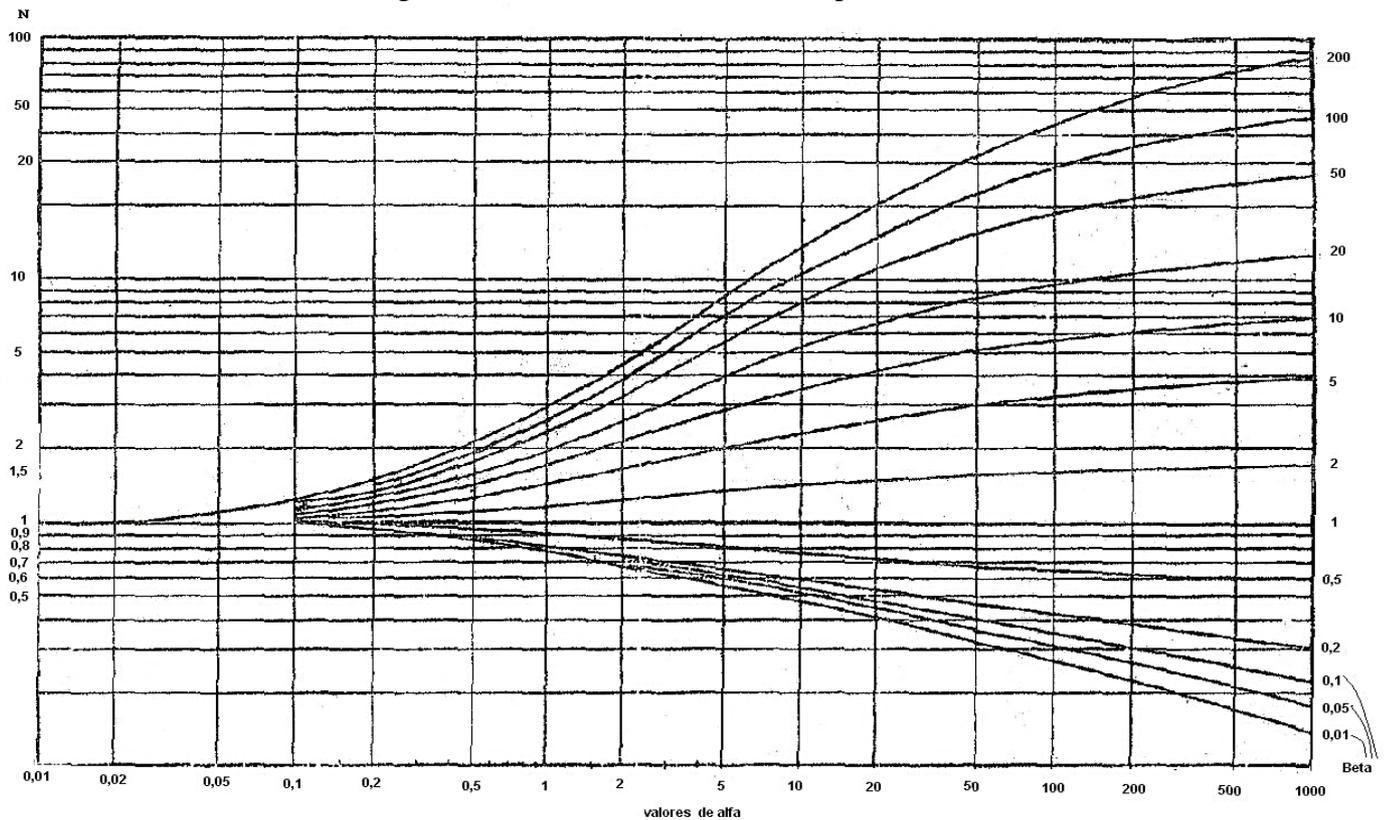
Sendo:

- d_{eq} : Espessura da camada equivalente [m];
- ρ_{n+1} : Resistividade da última camada [Ωm];
- ρ_{eq} : Resistividade da camada equivalente [Ωm];
- r: Raio do anel equivalente do sistema de aterramento com hastes alinhadas e igualmente espaçadas [m];

- n: Número de hastes cravadas verticalmente no solo [#];
- e: Espaçamento entre as hastes [m];
- A: Área abrangida no aterramento [m²];
- D: Maior dimensão do aterramento [m].

Com α e β calculados, determina-se o fator N utilizando a Figura 5.

Figura 5 - Gráfico da resistividade aparente do solo



Fonte: Kindermann (2011).

4.6. TRATAMENTO QUÍMICO DO SOLO

Todo sistema de aterramento depende da sua integração com o solo e da resistividade aparente. Quando esses sistemas possuem alta resistividade, o tratamento químico pode ser utilizado.

O objetivo é diminuir sua resistência elétrica, alterando as características do solo quando o sistema já está fisicamente definido e instalado.

O tratamento deve ser empregado em dois casos: quando existe o aterramento no solo, com uma resistência fora da desejada e não se pode ampliá-lo, ou quando não existe alternativa

possível dentro das condições do sistema, por impossibilidade de trocar o local, e o terreno tem alta resistividade.

O tratamento químico visa o aumento da sua condutividade e, por conseguinte, a diminuição da resistência de aterramento.

4.6.1. Tipos de tratamento químico

Os materiais a serem utilizados para um bom tratamento químico do solo devem ter as seguintes características:

- Boa higroscopia;
- Baixa resistividade elétrica;
- Não ser lixiviável;
- Não ser corrosivo;
- Não ser tóxico;
- Não causar dano à natureza;
- Ser quimicamente estável no solo.

Existem diversos materiais e compostos que podem ser utilizados, no entanto os mais comuns são:

a) BENTONITA: Mineral comumente adicionado de gesso para dar maior estabilidade ao tratamento, porém é pouco usada hoje em dia.

Contém os seguintes atributos:

- Facilidade na absorção de água;
- Retém umidade;
- Conduz bem eletricidade;
- Baixa resistividade (1,2 a 4 Ω .m);
- Não corrosivo;
- pH alcalino;
- Protege o material do aterramento da corrosão natural do solo.

b) EARTHON: Material líquido de lignosulfonato (principal componente da polpa de madeira) adicionado de um agente gelificador e sais inorgânicos.

Principais propriedades:

- Não solúvel em água;
- Não corrosivo;
- Seu efeito é duradouro;
- É de fácil aplicação no solo;
- Quimicamente estável;
- Retém umidade.

c) **GEL**: Constituído de uma mistura de diversos sais que, em presença da água, formam o agente ativo do tratamento (PIMENTA, 2017).

Suas propriedades são:

- Quimicamente estável;
- Não solúvel em água;
- Higroscópico;
- Não corrosivo;
- Não é atacado pelos ácidos contidos no solo;
- Seu efeito é de longa duração.

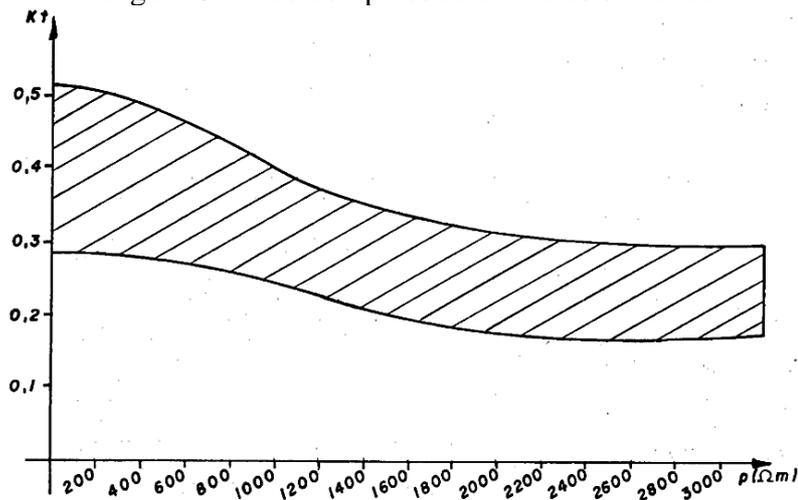
4.6.2. Coeficiente de redução devido ao tratamento químico do solo

Para chegar ao valor do coeficiente de redução (K_t), deve ser medida a resistência do aterramento antes e depois do tratamento para cada caso em análise, calculando-o utilizando eq. (10).

$$K_t = \frac{R_{\text{depois do tratamento}}}{R_{\text{antes do tratamento}}} \quad (10)$$

Para um tratamento do tipo GEL, em específico, podem-se ilustrar prováveis valores de K_t em função da resistividade do solo, como mostra a Figura 6 (MERLIN, 2021).

Figura 6 - Valores típicos de K_t x Resistividade



Fonte: Merlin (2021).

A região hachurada da Figura 6 indica os prováveis valores de K_t dados pelo fabricante. Fica perceptível pela área da hachura que, em solos com alta resistividade, o tratamento químico é mais eficaz.

4.7. TIPOS DE SISTEMAS ELÉTRICOS

Existem diversas formas de projetar um sistema de aterramento de acordo com a funcionalidade desejada.

Há três critérios fundamentais para decidir qual é o tipo de aterramento ideal, são eles:

- Desempenho do sistema ao qual o aterramento está conectado;
- Questões de segurança e proteção;
- Custo de implementação.

Considerando esse contexto, as funções mais comuns desempenhadas pelo aterramento são:

- Obter baixa resistência de aterramento;
- Garantir que descargas atmosféricas tenham caminho livre para escoamento;
- Aumentar a eficiência e sensibilidade de equipamentos de proteção elétrica;
- Proteger seres vivos contra choques elétricos, principalmente humanos;
- Escoar cargas estáticas de carcaças de equipamentos.

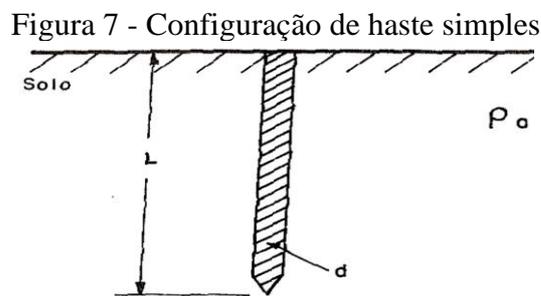
Em virtude disso, existem várias maneiras de aterrar um sistema elétrico objetivando

garantir a melhor ligação com a terra. Define-se o tipo de configuração de hastes pela que apresentar a menor resistência de aterramento, não se esquecendo de avaliar o custo-benefício.

Nas subseções a seguir serão abordadas as principais técnicas. (PINHEIRO, 2013)

4.7.1. Haste única

É a configuração mais simples, composta de uma única haste cravada no solo verticalmente, conforme representado na Figura 7. Apresenta uma resistência elétrica determinada por eq. (11).



Fonte: Lima (2006).

$$R_{1haste} = \frac{\rho_a}{2\pi L} \ln\left(\frac{4L}{d}\right) \quad (11)$$

Sendo:

- ρ_a : Resistividade aparente do solo [Ωm];
- L : comprimento da haste [m];
- p : profundidade da barra [m];
- d : diâmetro da haste [m];

4.7.1.1. Exemplo de aplicação para haste única

Considerando um caso hipotético onde deseja-se determinar a resistência de um sistema de aterramento de haste única, composto de uma haste de 2,4m de comprimento, diâmetro de 15mm, cravada em solo com resistividade $\rho_a = 200 \Omega\cdot\text{m}$, tem-se:

$$R_{1haste} = \frac{\rho_a}{2\pi L} \ln\left(\frac{4L}{d}\right) = \frac{200}{2\pi * 2,4} \ln\left(\frac{4 * 2,4}{15 * 10^{-3}}\right) \therefore R_{1haste} \cong 85,70 \Omega$$

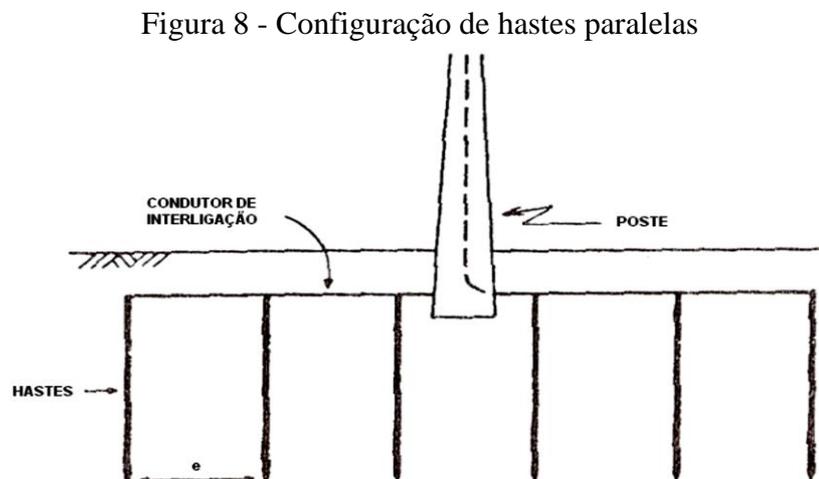
A NBR5410 recomenda que o valor de resistência de aterramento seja menor que 10Ω , no geral, ou menor que 5Ω em áreas classificadas, portanto a resistência de uma haste para o caso em questão não é a ideal.

4.7.2. Hastes alinhadas

Anteriormente neste trabalho foi abordado o tratamento químico do solo como solução para reduzir tal resistência de aterramento. No entanto, adição de novas hastes, quando possível, ao sistema, em configurações padronizadas, também é uma solução para reduzir a resistência de aterramento.

É importante salientar que, na prática, o número de hastes nesta configuração não deve ser maior que 6, uma vez que torna a execução do projeto economicamente ineficaz (KINDERMANN, 2011).

Esta configuração, também denominada de *Configuração de Hastes Paralelas*, é composta de uma série de hastes cravadas no solo verticalmente, conforme representado na Figura 8.



Fonte: Lima (2006).

Por analogia à configuração de haste única, pode-se dizer que a resistência de uma haste h em um sistema com aterramento de hastes paralelas pode ser calculada somando sua resistência individual (R_{hh}), usando eq. (11), com os acréscimos de resistência pela influência de outras hastes nas proximidades.

Para isso, eq. (12) e eq. (13) elucidam o cálculo de forma geral.

$$R_h = R_{hh} + R_{hm} \quad (12)$$

$$R_{hm} = \sum_{m=1, m \neq h}^n \left[\frac{\rho_a}{4\pi L} \ln \left(\frac{(\sqrt{L^2 + e^2} + L)^2 - e^2}{e^2 - (\sqrt{L^2 + e^2} - L)^2} \right) \right] \quad (13)$$

Sendo:

- R_h : Resistência do solo vista pela haste [Ω];
- R_{hh} : Resistividade do solo vista pela haste individualmente [Ω];
- R_{hm} : Acréscimo de resistência do solo vista pela haste por interferência de outras hastes [Ω];
- n : número de hastes [#];
- d : diâmetro das hastes [m];
- e : espaçamento entre as hastes [m];
- ρ_a : Resistividade aparente do solo [Ωm];
- L : comprimento das hastes [m];

Para esta configuração, r pode ser obtido por eq. (8).

Por fim, vale observar que existe uma espécie de simetria inerente à este modelo. Tomemos como exemplo um sistema com quatro hastes em linha, de mesmo diâmetro e comprimento, espaçadas de forma equidistante. Podemos calcular o acréscimo de resistência para cada haste (R_{hm}) pelo seguinte conjunto de equações:

$$R_{1m} = R_{12} + R_{13} + R_{14}$$

$$R_{2m} = R_{21} + R_{23} + R_{24}$$

$$R_{3m} = R_{31} + R_{32} + R_{34}$$

$$R_{4m} = R_{41} + R_{43} + R_{43}$$

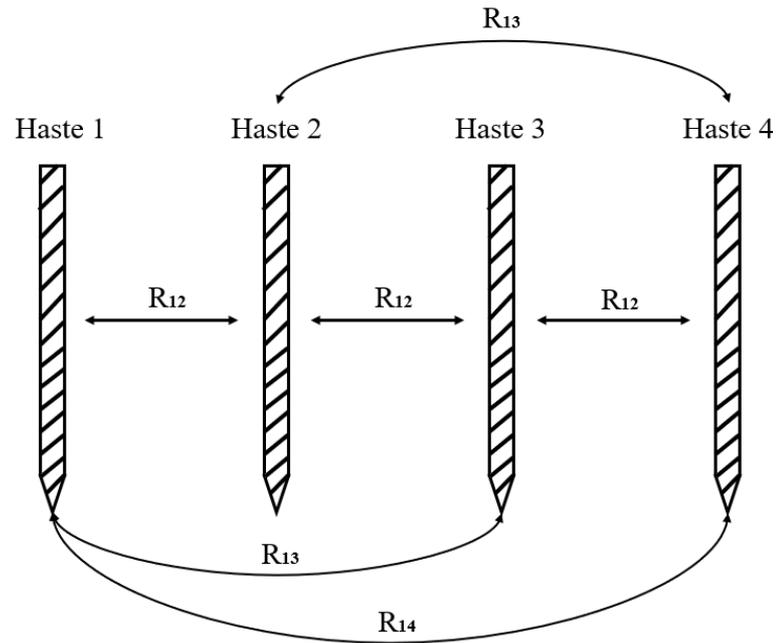
Por conta das simetrias entre as hastes, o valor da interferência será proporcionalmente igual para às interferências de distanciamento semelhante de outras hastes, ou seja:

$$R_{12} = R_{21} = R_{23} = R_{32} = R_{34} = R_{43}$$

$$R_{13} = R_{31} = R_{24} = R_{42}$$

$$R_{14} = R_{41}$$

Figura 9 - Exemplo de simetria na configuração de hastes paralelas



Fonte: Autor, 2021.

Portanto, pode-se reescrever o mesmo conjunto de equações da seguinte maneira:

$$R_{1m} = R_{12} + R_{13} + R_{14}$$

$$R_{2m} = 2R_{12} + R_{13}$$

$$R_{3m} = 2R_{12} + R_{13}$$

$$R_{4m} = R_{12} + R_{13} + R_{14}$$

4.7.2.1. Índice de aproveitamento

Da mesma forma que se faz interessante calcular o coeficiente de redução de resistência devido ao tratamento químico já citado, é aplicável o conceito de comparação da resistência de aterramento antes e depois da adição de uma haste no sistema.

Para isso, é utilizado o Índice de Aproveitamento ou Índice de Redução (K), dado por eq. (14). Sendo K um valor adimensional que indica quantas vezes a resistência equivalente (R_{eq}) do sistema de hastes em paralelo é ou será reduzida em relação ao valor de uma haste isolada (R_{1haste}).

$$K = \frac{R_{eq}}{R_{1haste}} \quad (14)$$

Apesar de aparentar ser um cálculo simples, determinar K pode se tornar custoso quando

se trata de uma análise com objetivo de determinar o efeito da variação de propriedades do sistema de aterramento, como espaçamento entre hastes ou quantidades das hastes.

Para tanto, é possível obter valores de K tabelados ou em curvas, como mostra a Tabela 3, onde são apresentados valores de K variando de acordo com o número de hastes em paralelo e equidistantes, para $L=2,4\text{m}$, $d=1/2''$ e $R_{\text{haste}}=0,44\rho_a$.

Tabela 3 - Exemplo de valores de k para configuração de hastes alinhadas

Espaçamentos	2m		3m		4m		5m	
	$R_{\text{eq}} [\Omega]$	K						
2	0,248 ρ_a	0,564	0,244 ρ_a	0,555	0,239 ρ_a	0,543	0,235 ρ_a	0,535
3	0,178 ρ_a	0,406	0,174 ρ_a	0,395	0,168 ρ_a	0,381	0,164 ρ_a	0,372
4	0,141 ρ_a	0,321	0,136 ρ_a	0,310	0,130 ρ_a	0,297	0,127 ρ_a	0,288
5	0,118 ρ_a	0,268	0,113 ρ_a	0,258	0,107 ρ_a	0,246	0,104 ρ_a	0,236
6	0,102 ρ_a	0,231	0,097 ρ_a	0,221	0,092 ρ_a	0,209	0,088 ρ_a	0,201
7	0,090 ρ_a	0,204	0,085 ρ_a	0,195	0,080 ρ_a	0,182	0,077 ρ_a	0,175
8	0,080 ρ_a	0,183	0,076 ρ_a	0,174	0,071 ρ_a	0,162	0,068 ρ_a	0,155
9	0,073	0,166	0,069	0,157	0,064	0,147	0,061	0,140
10	0,067 ρ_a	0,152	0,063 ρ_a	0,144	0,059 ρ_a	0,134	0,056 ρ_a	0,127
11	0,062	0,140	0,058	0,133	0,054	0,123	0,051	0,127
12	0,057 ρ_a	0,131	0,054 ρ_a	0,123	0,050 ρ_a	0,114	0,048 ρ_a	0,108
13	0,054 ρ_a	0,122	0,051 ρ_a	0,115	0,047 ρ_a	0,106	0,044 ρ_a	0,101
14	0,051 ρ_a	0,115	0,048 ρ_a	0,108	0,044 ρ_a	0,100	0,041 ρ_a	0,094
15	0,048 ρ_a	0,109	0,045 ρ_a	0,102	0,041 ρ_a	0,094	0,039 ρ_a	0,089

Fonte: Kindermann (2011).

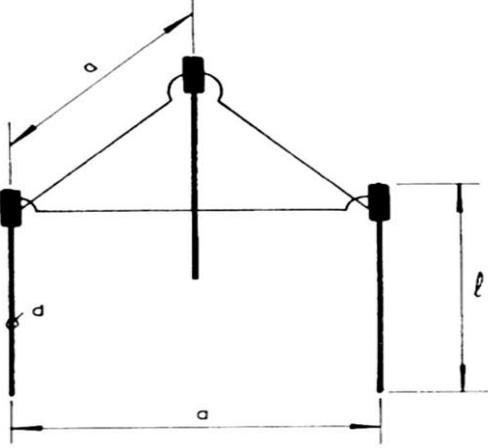
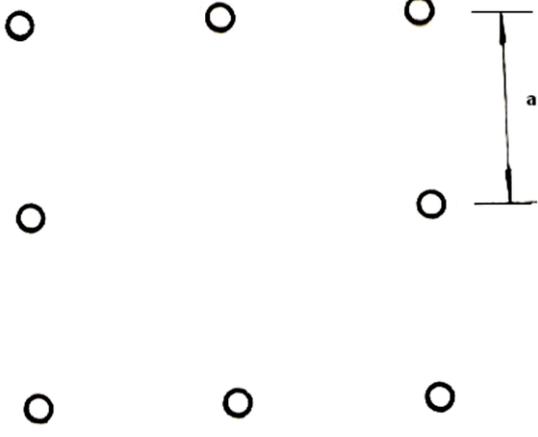
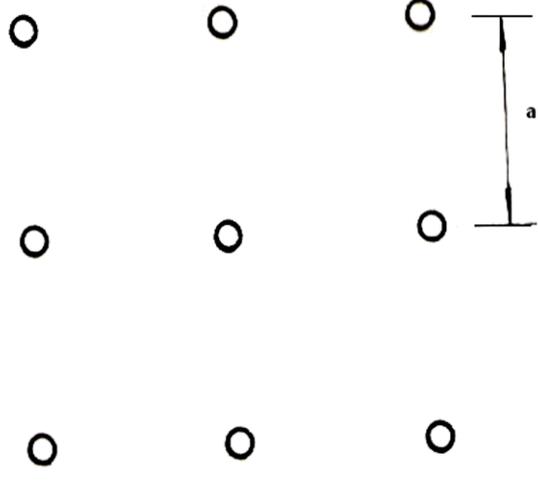
4.7.3. Outras configurações

Existem outras configurações de hastes que são variações específicas do sistema de hastes

paralelas, portanto estão resumidas no Quadro 3 para melhor representar cada uma e suas peculiaridades.

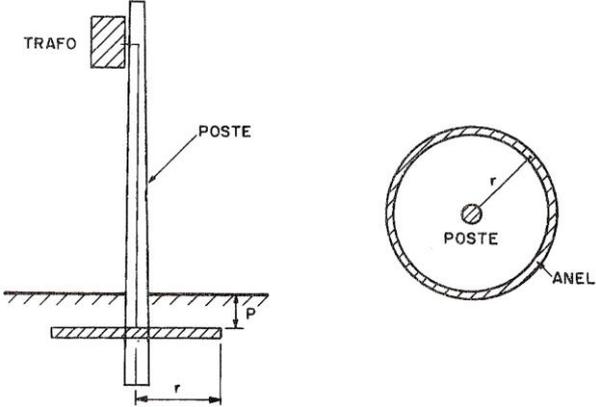
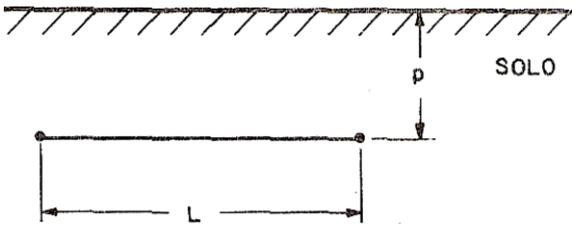
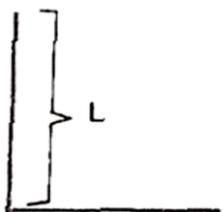
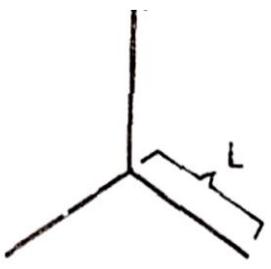
Quadro 3 - Tipos de configurações

(continua)

Nomenclatura/Expressão	Representação
<p style="text-align: center;">Hastes em triângulo</p> <p>Nesta configuração, utiliza-se eq. (15), eq. (16) e eq. (9) para obter a resistência do sistema.</p> <p>Para utilizar eq. (9), o termo A será a área do triângulo e o termo D será a altura do mesmo.</p>	
<p style="text-align: center;">Hastes em quadrado vazio</p> <p>Nesta configuração, utiliza-se eq. (16), eq. (17) e eq. (9) e a Tabela 4 para obter a resistência do sistema.</p> <p>Para utilizar eq. (9), o termo A será a área do quadrado e o termo D será a diagonal do mesmo.</p>	
<p style="text-align: center;">Hastes em quadrado cheio</p> <p>Nesta configuração, utiliza-se eq. (16), eq. (18) e eq. (9) e a Tabela 5 para obter a resistência do sistema.</p> <p>Para utilizar eq. (9), o termo A será a área do quadrado e o termo D será a diagonal do mesmo, desconsiderando as hastes internas.</p>	

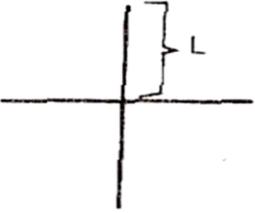
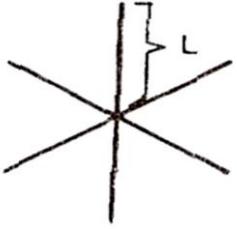
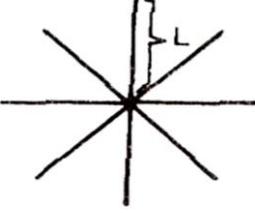
Quadro 4 - Tipos de configurações

(continuação)

Nomenclatura/Expressão	Representação
<p style="text-align: center;">Haste em anel</p> <p>Nesta configuração, utiliza-se eq. (19) e eq. (9) para obter a resistência do sistema. Para utilizar eq. (9), o termo A será a área do anel e o termo D será o diâmetro do mesmo.</p>	
<p style="text-align: center;">Haste horizontal</p> <p>Nesta configuração, utiliza-se eq. (20) para obter a resistência do sistema. ρ_a será igual à resistividade da camada em que está enterrado o condutor, na configuração de duas camadas.</p>	
<p style="text-align: center;">Haste horizontal reto</p> <p>Nesta configuração, utiliza-se eq. (21) para obter a resistência do sistema. ρ_a será igual à resistividade da camada em que está enterrado o condutor, na configuração de duas camadas.</p>	
<p style="text-align: center;">Estrela 3 pontas</p> <p>Nesta configuração, utiliza-se eq. (22) para obter a resistência do sistema. ρ_a será igual à resistividade da camada em que está enterrado o condutor, na configuração de duas camadas.</p>	

Quadro 5 - Tipos de configurações

(conclusão)

Nomenclatura/Expressão	Representação
<p>Estrela 4 pontas</p> <p>Nesta configuração, utiliza-se eq. (23) para obter a resistência do sistema.</p> <p>ρ_a será igual à resistividade da camada em que está enterrado o condutor, na configuração de duas camadas.</p>	
<p>Estrela 6 pontas</p> <p>Nesta configuração, utiliza-se eq. (24) para obter a resistência do sistema.</p> <p>ρ_a será igual à resistividade da camada em que está enterrado o condutor, na configuração de duas camadas.</p>	
<p>Estrela 8 pontas</p> <p>Nesta configuração, utiliza-se eq. (25) para obter a resistência do sistema.</p> <p>ρ_a será igual à resistividade da camada em que está enterrado o condutor, na configuração de duas camadas.</p>	

Fonte: LIMA (2006).

Equações:

$$R_{triangulo} = R_{1haste} \cdot \left(\frac{1+2\delta}{3} \right) \quad (15)$$

$$\delta = \frac{\frac{L}{a}}{\ln\left(\frac{8L}{d}\right)-1} \quad (16)$$

$$R_{quadrado\ vazio} = R_{1haste} \cdot \left(\frac{1+\delta\psi}{n} \right) \quad (17)$$

$$R_{quadrado\ cheio} = R_{1haste} \cdot \left(\frac{1+\delta\gamma}{n} \right) \quad (18)$$

$$R_{anel} = \frac{\rho_a}{\pi^2 r} \ln \left(\frac{4r^2}{d \cdot p} \right) \quad (19)$$

$$R_{horizontal} = \frac{\rho_a}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{2L^2}{r \cdot p} \right) - 2 + \frac{2p}{L} - \left(\frac{p}{L} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{p}{L} \right)^4 \right] \quad (20)$$

$$R_{horizontal_reto} = \frac{\rho_a}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{L^2}{2rp} \right) - 0,2373 + 0,8584 \frac{p}{L} + 1,656 \left(\frac{p}{L} \right)^2 - 10,85 \left(\frac{p}{L} \right)^4 \right] \quad (21)$$

$$R_{estrela3pontas} = \frac{\rho_a}{3\pi L} \left[\ln \left(\frac{L^2}{2rp} \right) + 1,077 - 0,836 \frac{p}{L} + 3,808 \left(\frac{p}{L} \right)^2 - 13,824 \left(\frac{p}{L} \right)^4 \right] \quad (22)$$

$$R_{estrela4pontas} = \frac{\rho_a}{4\pi L} \left[\ln \left(\frac{L^2}{2rp} \right) + 2,912 - 4,284 \frac{p}{L} + 10,32 \left(\frac{p}{L} \right)^2 - 37,12 \left(\frac{p}{L} \right)^4 \right] \quad (23)$$

$$R_{estrela6pontas} = \frac{\rho_a}{6\pi L} \left[\ln \left(\frac{L^2}{2rp} \right) + 6,851 - 12,512 \frac{p}{L} + 28,128 \left(\frac{p}{L} \right)^2 - 125,4 \left(\frac{p}{L} \right)^4 \right] \quad (24)$$

$$R_{estrela8pontas} = \frac{\rho_a}{8\pi L} \left[\ln \left(\frac{L^2}{2rp} \right) + 10,98 - 22,04 \frac{p}{L} + 52,16 \left(\frac{p}{L} \right)^2 - 299,52 \left(\frac{p}{L} \right)^4 \right] \quad (25)$$

Sendo:

- ρ_a : Resistividade aparente do solo [Ωm];
- L : comprimento da haste [m];
- p : profundidade da barra [m];
- d : diâmetro da haste [m];
- r : raio do anel ou raio equivalente do sistema [m];

Tabelas:

Tabela 4 - Coeficiente para cálculo da configuração em quadrado vazio

n	ψ
4	2,7071
8	4,2583
12	5,3939
16	6,0072
20	6,4633
24	6,8363
28	7,1479
32	7,4195

Fonte: Kindermann (2011).

Tabela 5 - Coeficiente para cálculo da configuração em quadrado cheio

n	γ
4	2,7071
9	5,8971
16	8,5545
25	11,4371
36	14,065
49	16,8933
64	19,5003
81	22,3069

Fonte: Kindermann (2011).

4.7.4. Malha de subestação

Analisa-se, nesta subseção, as etapas indispensáveis para se estimar a malha de terra para um certo estabelecimento. Assim, para se calcular a malha de terra, é preciso averiguar se os possíveis potenciais que aparecem na superfície, no instante de uma maior falha para a terra, tem valores menores que os potenciais de toque e de passo que um indivíduo consegue tolerar, sem que haja a fibrilação ventricular.

Além do mais, é preciso mensurar o condutor de malha, para que ele agüente os esforços termais e mecânicos que estão susceptíveis no decorrer de seu ciclo de vida. É indispensável perceber se o valor da resistência encontra-se conciliável, para ocasionar o funcionamento do dispositivo de proteção no fim do local protegido.

Enfatiza-se que a obtenção dos valores da malha de terra constitui um projeto que há iteração. Assim, inicia-se com uma malha e vai se percebendo os valores de potenciais na superfície, na ocasião de maior falha e se esses valores são menores que os máximos toleráveis para um indivíduo. No caso desta premissa ser atendida, o passo seguinte é especificar a malha. Caso isso não ocorra, altera-se os itens do projeto até que os pré-requisitos sejam respeitados.

4.7.4.1. Limite de corrente para não causar fibrilação

Segundo Kindermann (2013), Charles F. Dalziel, da Universidade da Califórnia, durante suas pesquisas na década de 1950, chegou à conclusão que 99,5% dos indivíduos, com peso a partir de 50 kg, poderiam tolerar níveis de correntes, sem que chegassem à fibrilação

ventricular, a partir de limiares estabelecidos por eq. (26), no decorrer do tempo em que a pessoa está sob a influência da tensão de passo ou de toque.

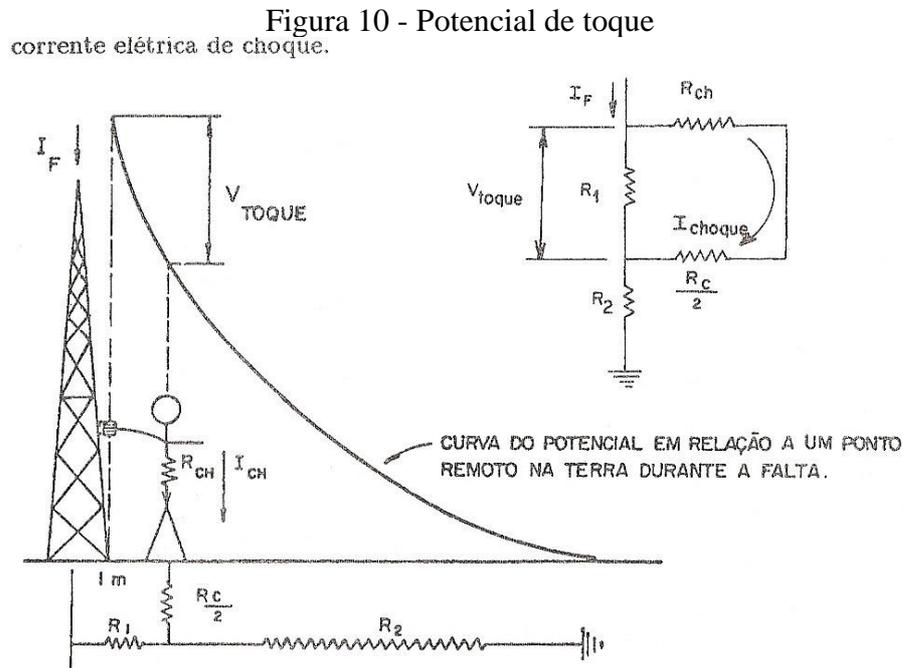
$$I_{\text{choque}} = \frac{0,116}{\sqrt{t}} \quad (26)$$

Em que:

- $0,03s \leq t \leq 3s$;
- I_{choque} é o limiar de corrente que pode passar pelo corpo humano, sem que provoque fibrilação [A];
- t é o tempo de extensão do choque [s].

4.7.4.2. Potencial de toque

Constitui a diferença de tensão existente entre o ponto onde se encontra a estrutura condutora no alcance da mão de um indivíduo e um ponto situado na terra, a um metro da base, conforme ilustração da Figura 10, podendo ser mensurada a partir de eq. (27).



Fonte: Lima (2006).

$$V_{\text{toque}} = \left(R_{\text{ch}} + \frac{R_{\text{c}}}{2} \right) \cdot I_{\text{choque}} \quad (27)$$

Em que:

- V_{toque} é o Potencial de toque [V];
- R_{ch} é a resistência do ser humano, estipulada normalmente como 1.000Ω ;
- R_c constitui a resistência de contato, com valor que pode ser de $3\rho_s$;
- I_{choque} é a corrente de choque pelo corpo da pessoa [A];
- R_1 e R_2 são as resistências dos segmentos de terreno apreciados [Ω].

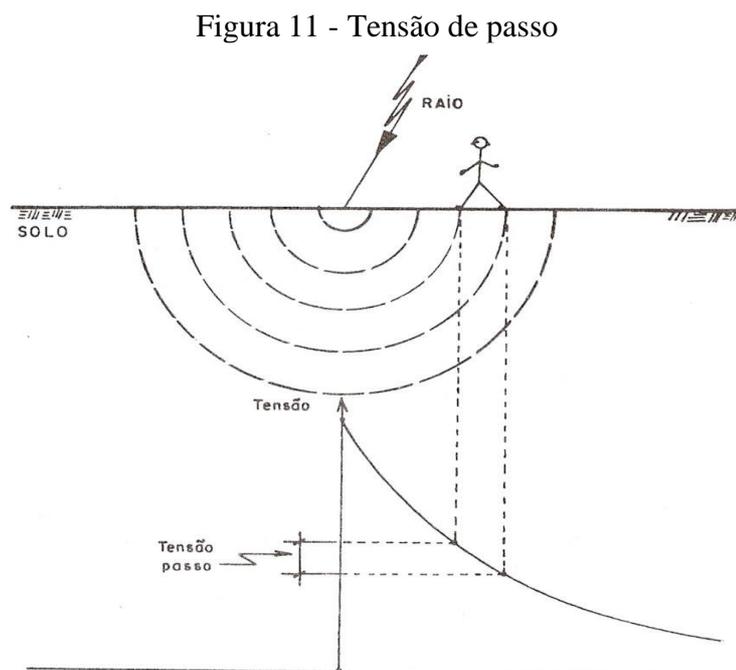
$$\therefore V_{\text{toque}} = (1000 + 1,5 \cdot \rho_s) \cdot I_{\text{choque}} \quad (28)$$

O potencial de toque máximo aceitável entre a mão e o pé, que não leve à fibrilação ventricular, é aquele provocado pela corrente limite de Dalziel. Desse modo, consegue-se eq. (29):

$$V_{\text{toque_máximo}} = \frac{116+0,174 \cdot \rho_s}{\sqrt{t}} \cdot I_{\text{choque}} \quad (29)$$

4.7.4.3. Potencial de passo

Potencial de passo constitui a diferença de tensão que há entre dois pés ou um passo, como o próprio nome diz. Ele acontece quando surge uma diferença de potencial entre os membros inferiores, os pés, o que significa dizer que eles podem se encontrar em linhas equipotenciais distintas.

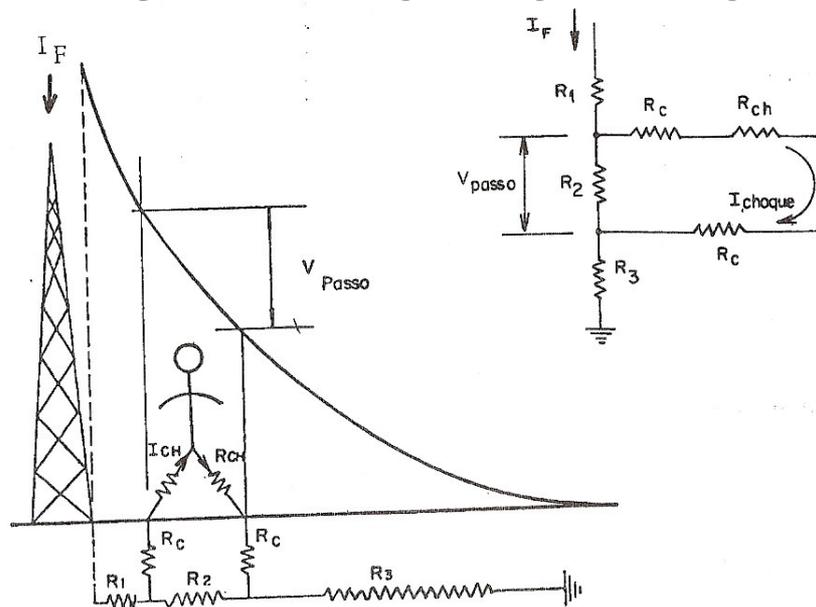


Fonte: Lima (2006).

Estas linhas são constituídas na superfície do terreno no decorrer do escoamento de uma corrente de curto-circuito. Caso ocorra um reduzido intervalo de tempo entre os pés em uma mesma linha ou se apenas um pé for utilizado como sustentação, não existirá a tensão de passo.

As figuras 11 e 12 ilustram como se dá a tensão de passo provocada por um raio que incide na terra. O conceito tradicional para o potencial de passo, no que se refere à avaliação de segurança, é a diferença de tensão que ocorre entre dois pontos distintos, presentes no solo e separados de um metro, graças à circulação de corrente de curto pelo terreno.

Figura 12 – Circuito equivalente para tensão de passo



Fonte: Lima (2006).

Em que:

R_1 , R_2 e R_3 compõem as resistências dos segmentos de terreno observados.

Em eq. (30) é apontado o cálculo para o potencial de passo:

$$V_{\text{passo}} = (R_{ch} + 2 \cdot R_c) \cdot I_{\text{choque}} \quad (30)$$

Estipulando $R_c = 3 \cdot \rho_s$, obtém-se eq. (31):

$$V_{\text{passo}} = (1000 + 6 \cdot \rho_s) \cdot I_{\text{choque}} \quad (31)$$

O Potencial de passo máximo ($V_{\text{passo_máximo}}$) admissível tem a sua restrição baseada na

maior diferença de potencial que o ser humano consegue aguentar. Desse modo, obtém-se eq. (32):

$$V_{\text{passo_máximo}} = (1000 + 6 \cdot \rho_s) \cdot \frac{0,116}{\sqrt{t}} \quad (32)$$

Em que:

- t constitui o tempo de ação do sistema protetivo (relé) [s];
- ρ_s é a resistividade superficial do solo [Ωm].

A redução das tensões de toque e de passo máximas permitidas pode ser realizada a partir do acréscimo de brita ou outro elemento no terreno. Isso assegurará melhor qualidade no grau de isolamento do contato dos pés com a terra. Pode-se dizer que esta camada simboliza mais uma estratificação associada ao sistema. Logo, é preciso corrigir o parâmetro ρ_s de eq. (31), fazendo com que C_s (h_s , K), no $\rho_s = \rho_{\text{brita}} = 3000 \Omega \cdot \text{m}$., caso seja usada brita, do contrário, usar o valor da primeira camada do terreno da superfície da malha. O fator de correção C_s (h_s , K) pode ser mensurado a partir de eq. (33).

$$C_s(h_s, k) = \frac{1}{0,96} \cdot \left[1 + 2 \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k^n}{\sqrt{1 + \left(2 \cdot n \frac{h_s}{0,08}\right)^2}} \right] \quad (33)$$

Em que:

- h_s é a espessura da brita [m];
- $k = \frac{\rho_a - \rho_s}{\rho_a + \rho_s}$;
- ρ_a é a resistividade aparente da malha não considerando a brita [Ωm];
- $\rho_s = \rho_{\text{brita}}$ ou, $\rho_s = \rho_1$, caso seja um material distinto da brita;

$C_s=1$, caso a resistividade da camada superficial (brita) ou outro material que seja igual à resistividade do solo.

Desse modo, eq. (34) e eq. (35), mediante o fator de correção adicionado, valem:

$$V_{\text{passo_máximo}} = [1000 + 6 \cdot C_s(h_s, k) \rho_s] \cdot \frac{0,116}{\sqrt{t}} \quad (34)$$

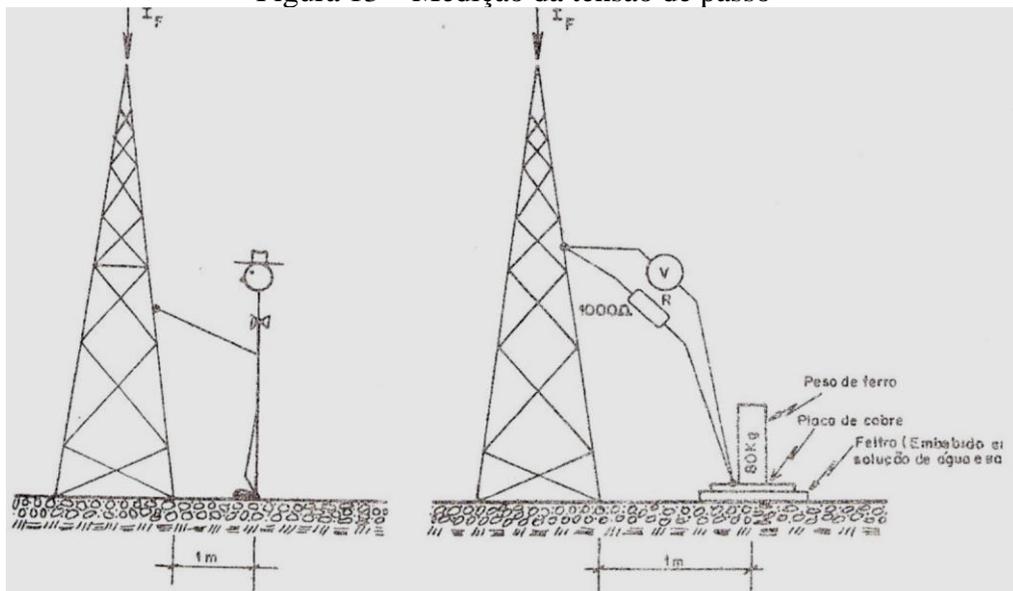
$$V_{\text{toque_máximo}} = [1000 + 1,5 \cdot C_s (h_s, k) \rho_s] \cdot \frac{0,116}{\sqrt{t}} \quad (35)$$

4.7.4.4. Medida do potencial de passo

Visando mensurar o valor da tensão de toque, usa-se uma placa de alumínio ou de cobre, com superfícies com alto grau de polidez e de área de 10 x 20 centímetros (cm) e com um terminal para interconectar com o voltímetro. Para efeito de pesquisa, utiliza-se o emprego de 40 kg em cima de cada placa, o que simularia uma pessoa com 80 kg.

É necessário utilizar um voltímetro com grande impedância interna e alternar entre os pontos de mensuração, um resistor de 1 k Ω para representar a resistência de um corpo de uma pessoa. Depois disso, mensura-se a tensão entre o terreno, com a placa disposta a 1 metro longe do pé do arranjo e a estrutura de metal no ponto em que alcança a mão, com a resistência introduzida no meio desses dois pontos, conforme indica a Figura 13.

Figura 13 – Medição da tensão de passo

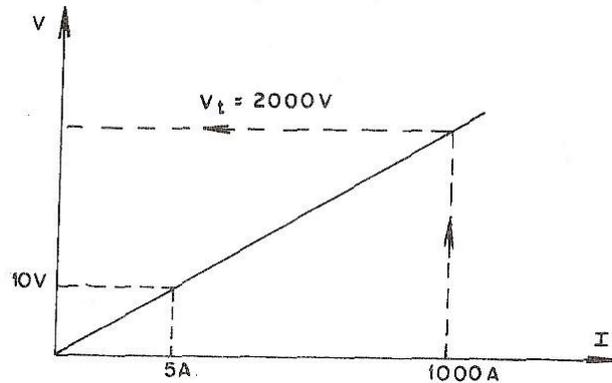


Fonte: Lima (2006).

É necessário fazer a mensuração de todos os quadrantes do solo relativos à estrutura e investigar se os pontos da estrutura, onde está colocado o voltímetro, se encontram arejados, sem pinturas ou a presença de óxidos.

Uma possibilidade é realizar a extrapolação de um valor de tensão graças à corrente que é injetada no solo, considerando valores relativos à maior corrente de curto-circuito entre a fase e a terra, como mostra a Figura 14.

Figura 14 - Extrapolação da tensão de toque



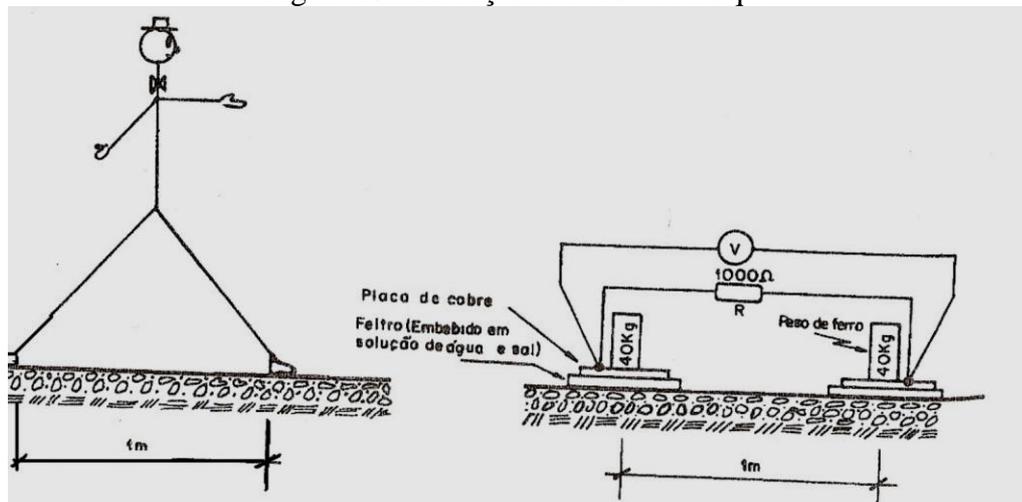
Fonte: Lima (2006).

Assim, o tipo linearizado pode ser bem útil, desde que o solo conserve os atributos resistivos estáveis para grandes valores de corrente. Um exemplo disso é que, se para 10 volts, a corrente é de 5 amperes, considerando uma corrente de curto em 1000 A, o valor da tensão deve ser 2000 V.

4.7.4.5. Medida do potencial de toque

Para fazer o cálculo da tensão de toque, são usadas duas placas de alumínio ou de cobre (da mesma forma que no potencial anterior), onde são dispostas no terreno, distantes de um metro, com o peso de 40 kg cada placa para realizar a simulação do peso de uma pessoa e, entre os pontos, uma resistência de 1 k Ω , como pode ser visto na Figura 15.

Figura 15 - Medição da tensão de toque



Fonte: Lima (2006).

A tensão mensurada com o voltímetro de alta sensibilidade precisa ser extrapolado para

amplitudes de corrente de curto-circuito, como já foi falado nos parágrafos anteriores. De uma maneira prática, o ideal é que se encontrem valores mensurados que estejam menores do que aqueles preconizados pelos limites de segurança.

4.7.4.6. Itens necessários para o projeto de malha de subestação

A confecção de um projeto de malha de terra para um local necessita de uma série de processos previamente estabelecidos, assim como as informações da edificação, que são:

- a) Executar, na localidade de construção da malha, os cálculos relativos à resistividade do terreno;
- b) Encontrar a resistividade superficial do solo ρ_s . Normalmente, emprega-se a brita na superfície do terreno, em cima da malha, constituindo uma camada de maior isolamento, o que ajuda na segurança das pessoas. Pode-se utilizar a brita molhada e, caso não se use a brita, utiliza-se a resistividade da primeira camada conseguida na estratificação, ou seja, $\rho_s = \rho_1$;
- c) Corrente de curto-circuito máxima entre fase e terra na localidade que se encontra o aterramento, $I_{\text{máxima}} = 3 \cdot I_0$;
- d) Porcentagem da corrente de curto-circuito máxima que realmente escoar pela malha. É preciso estabelecer as várias rotas por onde a corrente de sequência zero pode seguir, a que adentra a malha, através do solo, é chamada de corrente de malha, (I_{malha});
- e) Tempo de defeito para a máxima corrente de curto-circuito entre fase e terra (t_{defeito});
- f) Área da malha esperada;
- g) Maior valor de resistência de terra de maneira a compatibilizar com a sensibilidade da proteção.

4.7.4.7. Dimensionamento do condutor de malha

O condutor da malha de terra pode ser calculado com base nos esforços térmicos e mecânicos que ele consegue tolerar. Outros aspectos que precisam ser investigados são se o cabo também tolera os esforços de cisalhamento e compressão que são lançados sobre ele. Em termos práticos, usa-se, pelo menos, um condutor com 35 mm^2 que tolera o movimento realizado no terreno e do transporte que leva os equipamentos no decorrer da montagem.

No que se refere ao cálculo termal, usa-se a chamada fórmula de Onderd, que possui validade apenas para cabos de cobre, que considera o calor que é gerado pela corrente de curto

limitada ao condutor, conforme indica eq. (36).

$$I = 226,53 \cdot S_{\text{cobre}} \cdot \sqrt{\frac{1}{t_{\text{defeito}}}} \ln \left(\frac{\theta_m - \theta_a}{234 - \theta_a} + 1 \right) \quad (36)$$

Em que:

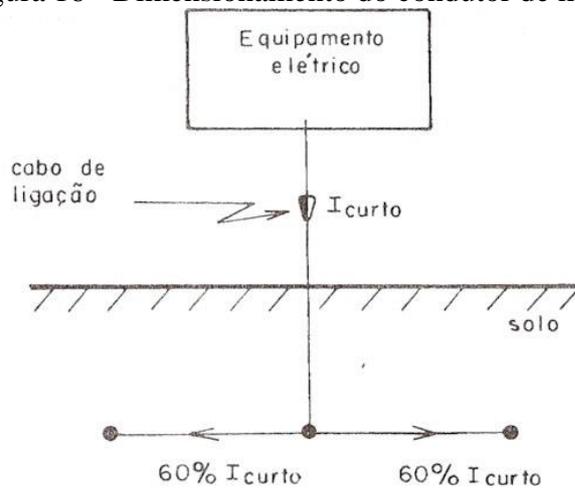
- S_{cobre} é a seção do condutor de cobre da malha de aterramento [mm^2];
- I é a corrente de defeito que percorre o condutor [A];
- t_{defeito} representa a duração do defeito [s];
- θ_a é a temperatura ambiente [$^{\circ}\text{C}$];
- θ_m é a temperatura máxima admissível [$^{\circ}\text{C}$].

O valor de θ_m para diferentes materiais:

- $\theta_m = 250^{\circ}\text{C}$ - para malha cavilhada com juntas de bronze;
- $\theta_m = 450^{\circ}\text{C}$ para malha com emendas do tipo solda tradicional;
- $\theta_m = 550^{\circ}\text{C}$ para malha em que a ligação é com foscooper;
- $\theta_m = 850^{\circ}\text{C}$ para malha com emendas em solda exotérmica.

Para a mensuração do condutor da malha ou do cabo de ligação que interconecta os equipamentos que serão aterrados à malha, é preciso levar em conta a corrente de defeito, conforme preconizado na Figura 16.

Figura 16 - Dimensionamento do condutor de malha



Fonte: Lima (2006).

- Cabo de malha:

Normalmente, a ligação do cabo de descida com a malha é realizado no local mais perto da malha, partindo a porção da quadrícula em dois elementos. A corrente de defeito, então, é partida pela metade, no entanto, para efeito de cálculo, deve-se usar um incremento de 10%. Ela pode ser mensurada por meio de eq. (37).

$$I_{\text{defeito_condutor_da_malha}} = 60 \% \cdot I_{\text{curto_máximo}} \quad (37)$$

- Cabo de ligação:

A ligação do dispositivo elétrico ao condutor é realizado através de pressão, logo, sua maior temperatura é similar à da junta cavilhada. Conforme a Figura 16, a corrente de defeito a ser utilizada é a mesma da corrente máxima de curto-circuito. A Tabela 6 mostra como se calcula o condutor, indicando a seção do cabo que é preciso para cada valor de corrente de defeito. Ela também mostra o tempo de defeito e o modelo de emenda.

Tabela 6 - Dimensionamento de condutores de malha

Capacidade do Condutor de Cobre em mm²/kA			
Tempo de Defeitos (Segundos)	Condutor 97% Cu		
	Solda Exotérmica	Solda Convencional	Juntas Cavilhadas
0,5	2,44	3,20	4,05
1	3,45	4,51	5,78
4	6,84	9,07	11,50
30	18,74	24,83	31,52

Fonte: Lima (2006).

4.7.4.8. Potenciais máximos a serem verificados

Anteriormente, foram abordados os conceitos de tensão de toque e de passo, assim como mensurar os valores máximos destas tensões que indivíduo pode tolerar sem chegar à fibrilação ventricular. Estes valores máximos de tensões obedecem aos potenciais que aparecem na superfície do terreno, na malha, em decorrência do máximo defeito entre a fase e a terra. A malha apenas será validada caso esteja dentro dos limiares planejados, tomando-se por base eq. (38) e eq. (39), que falam das premissas de segurança.

$$V_{\text{toque}} \leq V_{\text{toque_máximo}} \quad (38)$$

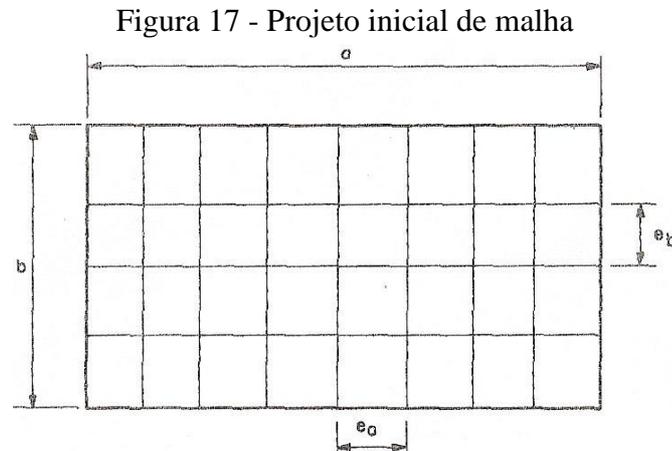
$$V_{\text{passo}} \leq V_{\text{passo_máximo}} \quad (39)$$

4.7.4.9. Malha inicial

O cálculo de uma malha de terra pressupõe um procedimento que necessita da interação da equipe em seu princípio de projeto de malha. Logo após, é averiguado se os potenciais que estão na superfície do terreno são menores que os limiares destacados na seção anterior e se a resistência de aterramento possui a sensibilidade compatibilizada com a proteção estabelecida.

A extensão da malha é previamente decidida. Desse modo, ter um projeto inicial para a malha significa estabelecer qual será o espaço entre os condutores e decidir se as hastes serão usadas com a malha ou não.

De modo geral, é utilizado o intervalo entre 5% e 10% do comprimento dos respectivos lados da malha. A Figura 17 indica como se dá o início de projeto de uma malha.



Fonte: Lima (2006).

As fórmulas utilizadas para o cálculo de malha de aterramento foram obtidas do uso de submalhas quadradas, ou seja, $e_a \cong e_b$. Conhecendo-se os valores da malha, pode-se definir a quantidade de condutores paralelos na extensão dos lados dessas malhas, a partir de eq. (40) e eq. (41).

$$N_a = \frac{a}{e_a} + 1 \quad (40)$$

$$N_b = \frac{b}{e_b} + 1 \quad (41)$$

É selecionado um valor inteiro, apropriado para o que foi encontrado no cálculo anterior.

O comprimento global dos cabos que constituem a malha é fornecido em eq. (42).

$$L_{\text{cabo}} = a \cdot N_b + b \cdot N_a \quad (42)$$

Caso no decorrer no cálculo sejam inseridas hastes na malha, haverá a adição ao comprimento total da malha, segundo eq. (43).

$$L_{\text{total}} = L_{\text{hastes}} + L_{\text{cabo}} \quad (43)$$

Em que:

- L_{cabo} constitui o comprimento total de condutores da malha [m];
- L_{hastes} é o comprimento total das hastes enterradas na malha [m].

4.7.4.10. Resistência de aterramento da malha

A resistência de aterramento da malha tem a sua mensuração aproximada a partir da fórmula de Sverak em eq. (44). Ela considera a profundidade da construção da malha.

$$R_{\text{malha}} = \rho_a \left[\frac{1}{L_{\text{total}}} + \frac{1}{\sqrt{20} \cdot A} \left(1 + \frac{1}{1+h \cdot \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \quad (44)$$

Em que:

- $A=a.b$, área preenchida pela malha [m²]
- h é a profundidade da malha [m], no intervalo $0,25\text{m} \leq h \leq 2,5\text{m}$;
- L_{total} é o comprimento total do cabeamento e hastes constituintes da malha [m].

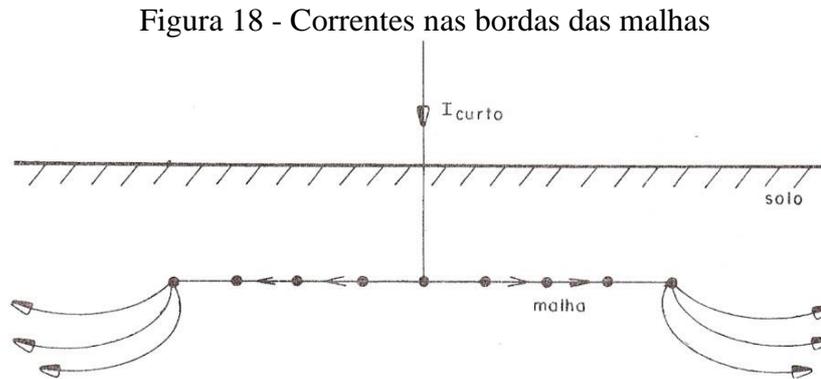
Este valor simboliza a resistência elétrica da malha, tomando-se os valores até o infinito. Dessa maneira, precisa ser inferior à maior resistência de sensibilidade do relé, relativo ao neutro. Normalmente, pode ser testado a partir do ajuste pequeno do relé do neutro.

4.7.4.11. Potencial de malha

O potencial de malha (V_{malha}) pode ser compreendido como sendo a maior tensão de

toque percebido em uma submalha, pertencente à malha aterrada, no decorrer do maior defeito existente entre fase-terra.

Em uma malha de terra, a corrente de defeito percorre, na maioria das vezes, as bordas e isso pode ser visualizado na Figura 18.



Fonte: Lima (2006).

Isso acontece graças à interação existente entre os cabos dentro da malha, que fazem com que a corrente seja direcionada para as bordas. Desse modo, a tensão máxima de malha é percebida nas extremidades da malha e seu valor pode ser obtido a partir de eq. (45).

$$V_{\text{malha}} = \frac{\rho_a K_m K_i I_{\text{malha}}}{L_{\text{total}}} \quad (45)$$

Em que K_m consiste no coeficiente de malha que condensa a influência da profundidade da malha, diâmetro do condutor e do espaço entre cabos.

O valor deste coeficiente pode ser encontrada a partir de eq. (46).

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left\{ \ln \left[\frac{e^2}{16hd} + \frac{(e+2h)^2}{8ed} - \frac{h}{4d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \ln \left(\frac{8}{\pi(2N-1)} \right) \right\} \quad (46)$$

Em que:

- h é a profundidade da malha [m];
- e é o espaço entre cabos paralelos na extensão do lado da malha [m];
- d é o diâmetro do condutor da malha [m];
- $N = \sqrt{N_a \cdot N_b}$ representa a malha retangular que é convertida em uma malha quadrada com cabos paralelos em cada lado;
- $K_{ii}=1$, para malha com hastes enterradas ao longo do perímetro da malha;

- $K_{ii} = \frac{1}{(2N)^{\frac{2}{N}}}$ para malha sem hastes enterradas na malha ou com poucas hastes

existentes nos cantos e perímetro da malha;

- K_h , a correção de profundidade.

K_h pode ser mensurada a partir de eq. (47).

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \quad (47)$$

Em que $h_0=1$ metro.

O valor de K_i pode ser entendido como o coeficiente de irregularidade que caracteriza a inexistência de uniformidade de distribuição da corrente na malha, sendo calculada através de eq. (48).

$$K_i = 0,656 + 0,172 \cdot N \quad (48)$$

Caso exista uma malha em que são dispostas hastes enterradas nas extremidades e em torno de seu perímetro, as correntes irão circular mais facilmente para a terra, modificando assim, o valor da tensão de malha, mensurado pela expressão anterior. Dessa maneira, é possível realizar um ajuste, acrescentando 15% no comprimento das hastes enterradas nas extremidades e em sua periferia.

Com base no comprimento virtual dos cabos fornecido em eq. (49), que deverá ser utilizado em eq. (45), para mensurar o valor da tensão de malha.

$$L_{\text{total}} = L_{\text{total}} + 1,15 \cdot L_{\text{hastes}} \quad (49)$$

L_{hastes} é o comprimento total das hastes enterradas na malha.

Desse modo, para esta situação, o valor de V_{malha} pode ser encontrado a partir de eq. (50):

$$V_{\text{malha}} = \frac{\rho_a K_m K_i I_{\text{malha}}}{L_{\text{cabo}} + 1,15 \cdot L_{\text{hastes}}} \quad (50)$$

Caso não existam hastes enterradas nas extremidades ou no perímetro, ou ainda, com quantidade limitada em seu interior, eq. (45) continua a mesma, ou seja, não há modificação para L_{total} .

A amplitude da tensão de malha precisa ser equiparada com o valor da tensão de toque

máximo, indicado por eq. (29), para identificar se esta se encontra com valor menor ao limiar ou não.

Em uma situação em que a malha apresente um arranjo diferente dos abordados, pode-se modificá-la para uma malha retangular e realizar todos os cálculos.

4.7.4.12. Potencial máximo de passo

Neste caso, define-se a máxima tensão de passo (V_{psM}), que aparece na superfície da malha, no instante em que o maior defeito entre fase-terra ocorre. Esse valor acontece no contorno da malha e pode ser mensurado através de eq. (51).

$$V_{psM} = \frac{\rho_a K_p K_i I_{malha}}{L_{total}} \quad (51)$$

Em que K_p representa o coeficiente que insere no cálculo, a maior tensão entre os pontos distanciados de 1 m.

Este coeficiente correlaciona todos os parâmetros da malha que induzem tensões na superfície da terra.

O valor de K_p pode ser obtido a partir de eq. (52).

$$K_p = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{e+h} + \frac{1}{e} (1 - 0,5^{N-2}) \right] \quad (52)$$

Em que N é o valor máximo (N_a, N_b), que levará o maior valor de K_p .

As alterações realizadas na mensuração de V_{psM} relativas ao uso ou não de hastes nos arredores e nas extremidades da malha, precisam ser feitas. No caso de a malha possuir hastes nas extremidades ou na periferia da malha, eq. (53) pode ser utilizada.

$$V_{psM} = \frac{\rho_a K_p K_i I_{malha}}{L_{cabo} + 1,15 \cdot L_{hastes}} \quad (53)$$

O valor de V_{psM} precisa ser comparado com a maior amplitude de diferença de potencial que um indivíduo consegue tolerar, para saber se o valor encontra é inferior ou não ao limiar estabelecido.

4.7.4.13. Limitações das equações

As equações obtidas para a mensuração de V_{malha} e V_{psM} possuem certas restrições que precisam ser observadas para se chegar a um projeto seguro, que são:

$$N \leq 25 \quad (54)$$

$$d \leq 0,25 h \quad (55)$$

$$0,25 m \leq h \leq 2,5 m \quad (56)$$

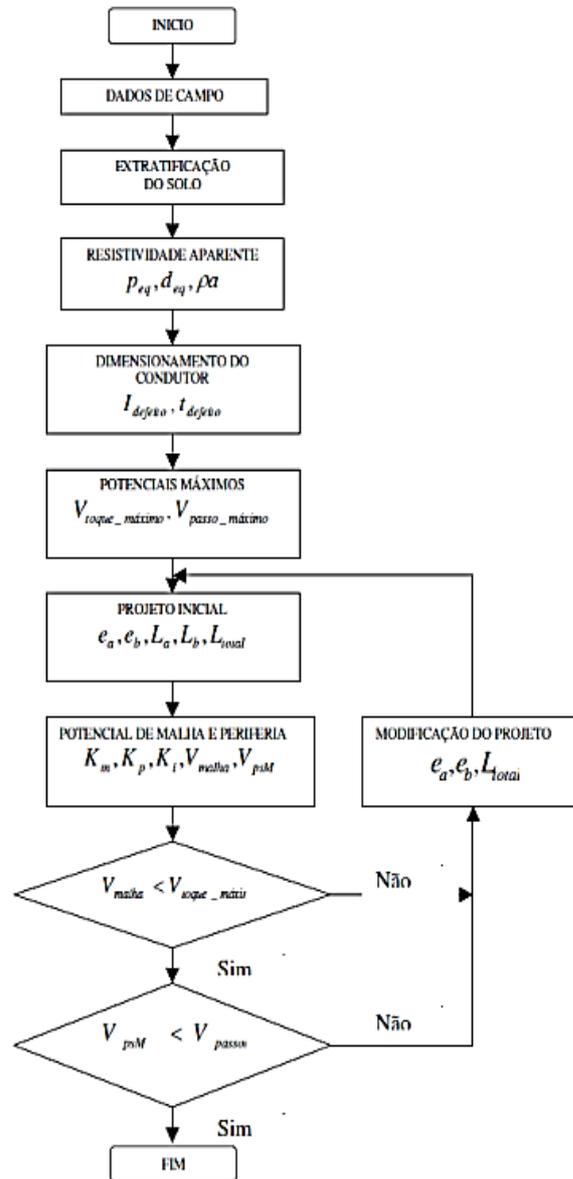
$$e \geq 2,5 m \quad (57)$$

4.7.4.14. Fluxograma de dimensionamento da malha

Calcular uma malha de aterramento é observar se o conjunto de itens preconizados se encontram dentro dos limiares de segurança. Pode-se, também, lançar mão de modificar a malha, buscando aperfeiçoá-la, sob a ótica financeira, mas obedecendo aos requisitos de segurança e seus limites.

O procedimento possui iteratividade e pode ser realizado conforme o fluxograma indicado na Figura 19.

Figura 19 - Fluxograma da malha de terra



Fonte: Lima (2006).

5. PROJETO DO SISTEMA DE ATERRAMENTO

Para um bom projeto de aterramento, sugere-se uma metodologia organizada conforme à seguir (LIMA, 2006):

- Etapa 1: Definição do local de aterramento;
- Etapa 2: Avaliação do local com medições de resistividade e dimensões;
- Etapa 3: Estratificação do solo nas suas respectivas camadas;
- Etapa 4: Definição do tipo de sistema de aterramento desejado;
- Etapa 5: Cálculo da resistividade aparente do solo para o respectivo sistema de aterramento;
- Etapa 6: Dimensionamento do sistema de aterramento.

5.1. ETAPA 1: DEFINIÇÃO DO LOCAL

O posicionamento do sistema de aterramento é influenciado pelo local estratégico que os dispositivos relevantes para o sistema elétrico se encontram.

Os elementos que precisam ser considerados são: centro geométrico das cargas, localidade com terreno desocupado, local livre de possíveis inundações, o não comprometimento para a segurança de pessoas e terreno com valores financeiros dentro da realidade.

5.2. ETAPA 2: AVALIAÇÃO DO LOCAL

O fluxo de corrente elétrica, proveniente ou consumido, por um sistema de aterramento ocorre a partir da resistividade aparente que o solo mostra para este tipo de arranjo particular. Logo, é necessário avaliar os sistemas de aterramento com relação ao seu comportamento perante à resistividade aparente.

Alguns modelos ou tipos de aterramento foram abordados no subseção 4.7. As equações utilizadas neste trabalho não consideram o material constituinte das hastes, mas sim, a forma da cavidade que a geometria do material produz na terra. Logo, R_{haste} é referente apenas à resistência elétrica do formato da geometria do sistema de aterramento em contato com o solo.

De modo geral, a resistência elétrica constituinte do sistema de aterramento pode ser considerada como uma parte da resistência do aterramento para um equipamento. A resistência

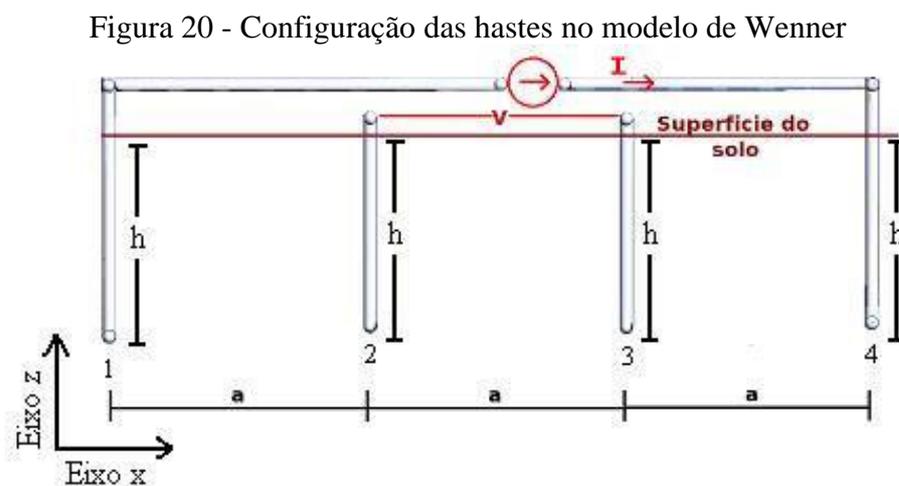
global sob a ótica do aterramento para um equipamento constitui-se de:

- Resistência de interação do material com o solo;
- Impedância do cabeamento que fará as ligações;
- Resistência do material constituinte do sistema de aterramento;
- Resistência da ligação do cabeamento com o equipamento;
- Resistência da ligação com o cabeamento que liga ao sistema de aterramento utilizado;
- Resistência do buraco geométrico do sistema de aterramento com o solo.

Deste somatório, a parte que se relaciona com a resistência de aterramento do sistema é a que tem maior relevância. Possui amplitude maior e é influenciado pelo solo, condições do clima e pela geometria. As demais partes possuem valores menores e podem ser gerenciadas com mais simplicidade.

5.3. ETAPA 3: ESTRATIFICAÇÃO DO SOLO

Como explicado na subseção 4.3, a partir dos valores de resistividades obtidos no local onde o aterramento será feito, através dos métodos de Wenner e o de transformação em duas camadas, é possível encontrar uma modelagem de terreno estratificado (LIMA, 2006).



Fonte: Júnior (2007).

5.4. ETAPA 4: DEFINIÇÃO DO TIPO DE SISTEMA DE ATERRAMENTO

5.4.1. Sistema do tipo TN

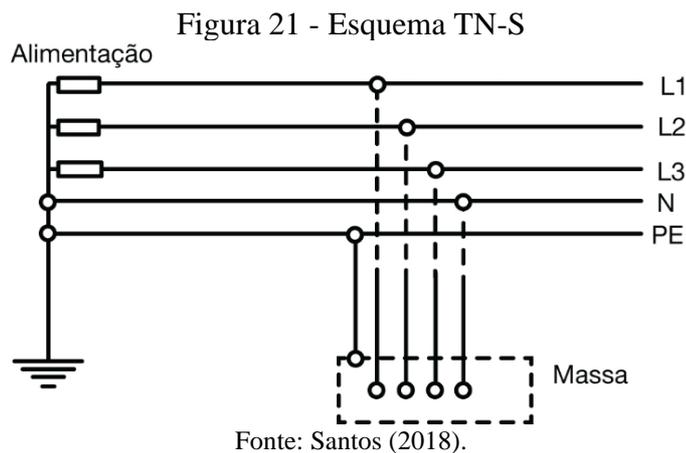
O esquema TN tem um ponto de alimentação, geralmente o neutro, que é aterrado diretamente, e as massas dos dispositivos elétricos ficam ligados a este ponto a partir de um cabo metálico.

Neste esquema, a trajetória de uma corrente produzida a partir de uma falta fase-massa é formada por cabos metálicos e, assim, tem impedância reduzida, o que faz com que essa corrente tenha valor elevado. A amplitude da corrente dessa falta terá o seu correspondente à uma corrente de curto-circuito fase-neutro (SANTOS, 2018).

Como os valores de corrente chegam a magnitude muito altas, a sua detecção e interrupção são realizadas por disjuntores ou por fusíveis (LUBIAN, 2018).

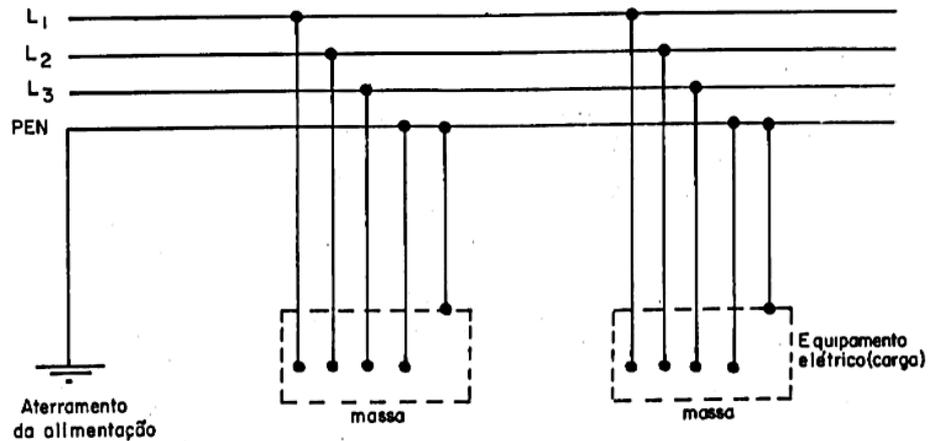
Pode ser classificado em três tipos:

- TN-S: as funcionalidades de proteção e de neutro são realizadas a partir de condutores diferentes (PE e N), como pode ser visto na Figura 21 (SANTOS, 2018);



- TN-C: as funcionalidades relativas à proteção e ao neutro são realizadas pelo mesmo condutor (PEN), no decorrer de toda a extensão da instalação, como pode ser visto na Figura 22 (LUBIAN, 2018);

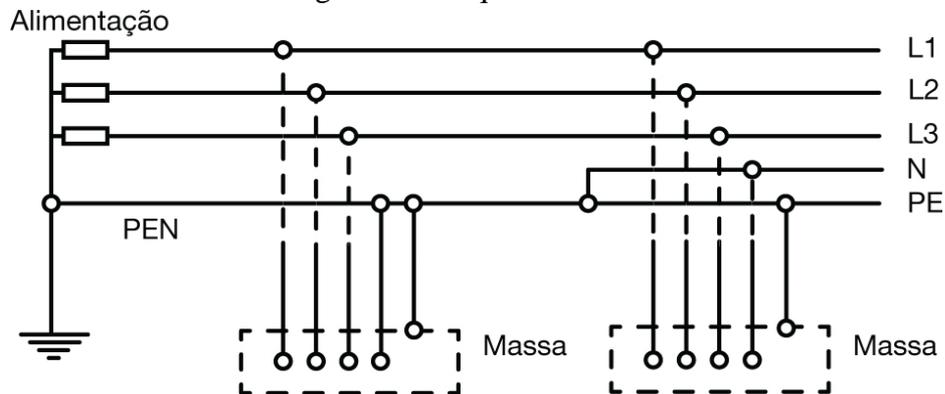
Figura 22 - Esquema TN-C



Fonte: Lubian (2018).

- TN-C-S: as funcionalidades relacionadas com a proteção e com o neutro são realizadas a partir do mesmo cabo, em uma seção da instalação, como se vê na Figura 23.

Figura 23 - Esquema TN-C-S

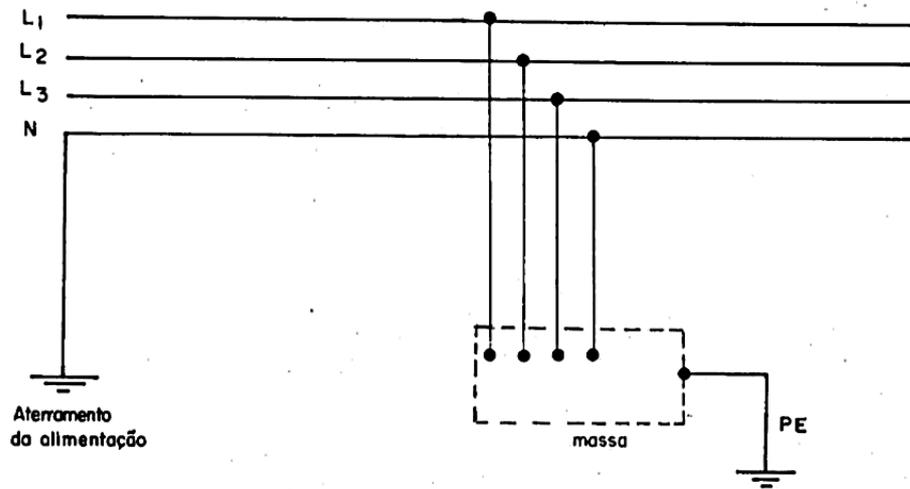


Fonte: Santos (2018).

5.4.2. Sistema do tipo TT

Sistemas do modelo TT têm uma fonte de energia que se encontra diretamente aterrada. Todas as partes de metal que se encontram descobertas e todas as que são estranhas para a instalação são conectadas a um eletrodo de terra que se encontra desagregado da instalação, como se vê na Figura 24.

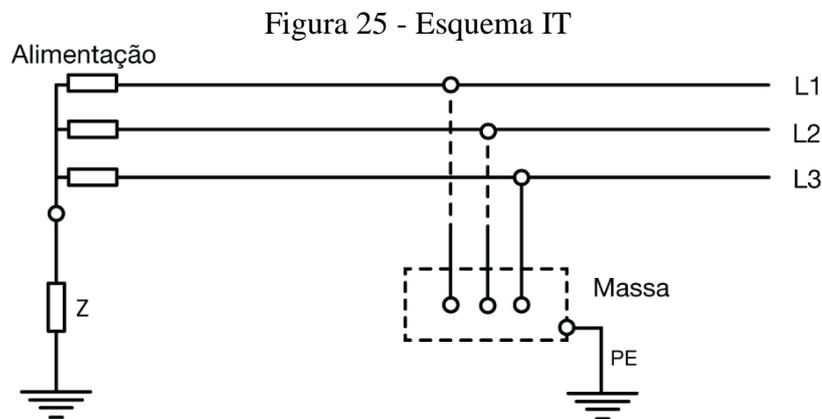
Figura 24 - Esquema TT



Fonte: Lubian (2018).

5.4.3. Sistema do tipo IT

Sistemas do tipo IT não dispõem de ponto de alimentação que está aterrado diretamente, tendo a sua energia separada da terra ou aterrada a partir de uma impedância de alto valor. As massas são ligadas à terra por meio de eletrodos de aterramento próprios.



Fonte: Santos (2018).

No esquema IT, a corrente proveniente de uma falta fase-massa, normalmente, não tem amplitude que possa resultar no surgimento de diferenças de potencial perigosas e, assim, não necessita que a proteção aja. Caso ocorra mais de uma falta dessa natureza, em fases diferentes, a corrente pode levar à atuação da proteção.

Este sistema pode ser útil quando se precisa que a corrente, proveniente de uma primeira falha somente forneça uma sinalização para o sistema, não levando ao desligamento do circuito. Deste modo, o pessoal de manutenção pode planejar as manutenções de modo mais propício

para o funcionamento do sistema (SANTOS, 2018).

5.5. ETAPA 5: CÁLCULO DA RESISTIVIDADE APARENTE DO SOLO

Para um sistema de aterramento, é possível definir uma resistividade equivalente, do tipo homogênea, que será percebida pelo arranjo em si. Para esse valor de resistividade, foi dado o nome de resistividade aparente. Ela é influenciada pela estratificação do terreno e pela extensão do aterramento. De posse destes valores, é possível encontrar o valor da resistividade aparente do solo, como mostrado na subseção 4.5.

5.6. ETAPA 6: DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ATERRAMENTO

Esta é a etapa final do processo recomendado. Os algoritmos típicos para o dimensionamento de sistemas de aterramento, assim como as variações mais comuns, estão explicitados na subseção 4.7.

5.7. CUSTOS DE IMPLEMENTAÇÃO

A execução de um projeto não se trata apenas do dimensionamento de hastes e cabos, mas também gera custos de materiais e de mão-de-obra para implantação.

Os materiais podem ser orçados através de lojas virtuais e catálogos. Por outro lado, a mão-de-obra é bastante relativa a cada região e aos profissionais acessíveis para executar o projeto.

Pensando nisto, é possível utilizar eq. (58) para obtermos uma estimativa de custo de execução do projeto.

$$C_{\text{Execução}} = (C_{\text{material}} + C_{\text{mão-de-obra}}) + \frac{L\% \cdot (C_{\text{Material}} + C_{\text{mão-de-obra}})}{1 - L\%} \quad (58)$$

Sendo:

- $C_{\text{Execução}}$: Custo Execução Estimado [R\$];
- C_{Material} : Custo material [R\$];
- $C_{\text{mão-de-obra}}$: Custo mão-de-obra de instalação [R\$];

- $L\%$: Margem de lucro pelo dimensionamento e execução do sistema [%].

Porém, o custo de mão-de-obra não é fixo. Normalmente está atrelado à quantidade de trabalhadores e ao valor da hora trabalhada.

Para fins de simplificação, assumiremos portanto um número de trabalhadores constante, onde a quantidade de horas trabalhadas é proporcional ao número de hastes de um sistema, uma vez que o empenho depreendido na implementação de uma configuração de haste única não é o mesmo para uma configuração de seis hastes paralelas.

Desta forma, torna-se interessante considerar o custo de mão-de-obra conforme eq. (59).

$$C_{m\grave{a}o-de-obra} = C_{padr\tilde{a}o} + (C_{instala\tilde{c}\tilde{a}o\ de\ haste}) \cdot (N_H) \quad (59)$$

Sendo:

- $C_{padr\tilde{a}o}$: Custo básico para a realização de qualquer projeto [R\$];
- $C_{instala\tilde{c}\tilde{a}o\ de\ haste}$: Custo instalação por haste [R\$/haste];
- N_H : número total de hastes de aterramento [#];

Vale a elucidação de que a margem de lucro é uma variável opcional para a execução do projeto, assim como todos os outros elementos de um orçamento, deve ser utilizada observando a relação de oferta e demanda do mercado. Ela está associada à remuneração do idealizador jurídico ou físico do projeto.

5.7.1. Escolha de materiais

Independentemente do método de aterramento, os materiais são tipicamente os mesmos, com poucas exceções, e eles ajudarão a determinar o sucesso do projeto se estiverem devidamente dimensionados e forem adequados para o uso.

Para tanto, os principais materiais utilizados em um projeto de aterramento elétrico foram orçados e listados na Tabela 7 visando apenas o projeto de aterramento em si, portanto toda a parte de eletrodutos, condutores e equipamentos relacionados são desconsiderados.

Tabela 7 - Orçamento com lista padrão de materiais

Material	Preço 1	Preço 2	Preço 3	Custo Médio
Caixa de inspeção	R\$ 14,25	R\$ 15,50	R\$ 16,86	R\$ 15,54
Haste de aterramento*	R\$ 14,23	R\$ 18,80	R\$ 18,42	R\$ 17,15
Conector cabo haste*	R\$ 8,52	R\$ 6,51	R\$ 8,51	R\$ 7,85
Conector de eletroduto*	R\$ 3,34	R\$ 3,00	R\$ 8,59	R\$ 4,98
Gel para tratamento do solo**	R\$ 399,00	R\$ 75,00	R\$ 150,00	R\$ 208,00

Fonte: Merkashop; Eletrotrafo; Mercado Livre; Santil; (2021). *Nota: sem considerar efeitos de comprimento e espessura no preço. **Nota: considerado gel de 12kg

As subseções a seguir apresentam a utilidade dos itens destacados na Tabela 7.

5.7.1.1. Caixa de inspeção

As caixas de inspeção permitem a interligação do cabo de descida e a malha de aterramento. Seu propósito é atender ao aterramento elétrico, sendo instalações comerciais e domiciliares (SÉRVULO, 2016).

Figura 26 - Caixa de inspeção



Fonte: Lubian (2018).

5.7.1.2. Haste de aterramento

Hastes ou um conjunto de hastes compõem os sistemas de aterramento, dispostas em vários formatos. Geralmente, os eletrodos produzidos são hastes.

Caso o solo possibilite, é mais interessante utilizar menos hastes profundas do que várias hastes curtas.

Normalmente, um cabo nu é usado para conectar os eletrodos de aterramento (PORPINO,

2002).

Figura 27 - Haste de aterramento



Fonte: Pinheiro (2013).

5.7.1.3. Conector cabo haste

O conector cabo haste é um dispositivo de cobre que conecta o cabo elétrico à haste de aterramento. Consiste em um conector específico que precisa estar disponível para acesso e manutenção, eventualmente (PINHEIRO, 2013).

Figura 28 - Conector cabo haste



Fonte: Pinheiro (2013).

5.7.1.4. Conector de eletroduto

Este conector possui por finalidade a fixação entre o eletroduto e a caixa de inspeção (DELCAFLEX, 2021). Um exemplo é apresentado na Figura 29

Figura 29 - Conector de eletroduto



Fonte: Youtube, 2021.

5.7.2. Exemplo hipotético de aplicação

Para exemplificar a aplicação do que foi exposto na subseção 5.7.1, a seguir é considerado um projeto hipotético de aterramento, no qual sabe-se que será necessário o uso de 4 hastes de aterramento, instaladas no modelo de hastes paralelas. Por consequência, serão necessárias 4 caixas de inspeção e 4 conectores para as hastes e cabos e 4 conectores para eletrodutos. Será considerado um cenário sem a necessidade de utilização de gel para tratamento do solo. Estes itens estão especificado na Tabela 8.

Tabela 8 - Exemplo de kit de aterramento básico

Material	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
Caixa de inspeção	4	R\$ 15,54	R\$ 62,16
Haste de aterramento	4	R\$ 17,15	R\$ 68,60
Conector cabo haste	4	R\$ 7,85	R\$ 31,40
Conector de eletroduto	4	R\$ 4,98	R\$ 19,92
Total			R\$ 182,08

Fonte: Autor, 2021.

Estipulado o custo com material do projeto, calcula-se o custo de execução utilizando as eq. (58) e eq. (59), respectivamente, considerando um custo padrão por projeto de R\$ 200,00 e um custo de instalação de haste de R\$ 450,00, com uma margem de lucro de 20%, conforme segue:

$$C_{\text{mão-de-obra}} = 200 + (450,00) \cdot (4) \therefore C_{\text{mão-de-obra}} = \text{R\$ } 2.000,00$$

$$C_{\text{Execução}} = (182,08 + 2000,00) + \frac{0,2 \cdot (182,08 + 2000,00)}{1 - 0,2} \therefore C_{\text{Execução}} \cong \text{R\$ } 2.727,60$$

Neste ponto do projeto, o modelo de aterramento e os custos de execução já foram dimensionados, portanto basta análise final do cliente referente aprovação da implementação do sistema ao custo de R\$ 2.727,60.

6. POWER APPS

O Power Apps® foi criado a partir da necessidade de muitas empresas precisarem de um instrumento simples, prático e ágil para a resolução de atividades distintas no cotidiano. Através de sua utilização, é possível ter uma integração que abrange conectores distintos e plataformas de dados, que possibilitam o uso de dados do processo, tanto em plataformas locais, quanto online, como SharePoint®, Microsoft 365®, Dynamics 365®, SQL Server®, entre outras, através do Microsoft Dataverse® (MOREIRA, 2021).

Admitido, no ano de 2020, pela empresa Gartner, como a plataforma de low-code que lidera o mercado, o Power Apps® permite a concepção de aplicações do tipo web e para smartphones, além da integração com outros diversos instrumentos supracitados e também permite ligação com dados de terceiros, tendo um modelo de governança do tipo estruturado (GOMES, 2021).

A concepção de aplicativos pela plataforma é considerada simples, pois, o programa oferta uma linguagem fácil, além dos diversos tutoriais, em vídeo ou texto presentes na internet. Mesmo assim, ele pode necessitar de algumas funções particulares, demandando maior conhecimento do software e especialização em sua linguagem de programação característica. Desse modo, para a melhor utilização e ajuste do programa, é preciso que se invista em tempo para aprofundamento em seus códigos e rotinas, permitindo a obtenção de melhores resultados em sua utilização (MOREIRA, 2021).

A governança neste tipo de plataforma é considerada uma grande vantagem, por possibilitar grande controle acerca de permissões de novos acessos e implementação de outros recursos (GOMES, 2021).

6.1. PLATAFORMAS LOW-CODE

O Power Apps é uma plataforma low-code, ou melhor, uma Low Code Development Platform (LCPD), o que significa dizer que ela utiliza métodos com enfoque no desenvolvimento de aplicativos e programas com utilização mínima de linguagem de programação, buscando de maneira eficiente, melhorar a produtividade para criação e entrega de projetos, por meio de visuais modernos e intuitivos.

Em resumo, os benefícios proporcionados com a utilização de sistemas low-code são (GOMES, 2021):

- Aprendizagem simples e descomplicada;

- Simplicidade na implementação da plataforma e na organização;
- Custo reduzido para desenvolvimento e manutenção;
- Simplicidade na governança dos dados e nas aplicações implementadas;
- Concepção de aplicativos e sistemas de modo prático.

Outras grandes plataformas deste tipo são a Mendix, a Appian, o Google App Maker, o Salesforce, dentre outros. A Figura 30 mostra um panorama geral das principais ferramentas desse modelo que se encontram disponíveis, com a divisão baseada na conjuntura geral do mercado (GOMES, 2021). O Power Apps está entre os líderes do segmento.

Figura 30 - Mapeamento das plataformas low-code



Fonte: Gomes (2021).

Existem três grupos de plataformas *low-code*, uma delas é denominada de ferramentas de nicho, usadas para a solução organizacional de um único problema, abrangendo gestão de projetos e a concepção de pequenas aplicações. A segunda é denominada ferramenta de ecossistema, bem parecida com o modelo anterior, mas com a vantagem da agregação de valor para uma série de sistemas de seu fornecedor. Por fim, as plataformas de aplicativo com finalidade específica, que são mais abrangentes, sempre atualizadas segundo o que o mercado

precisa e buscando atender a uma experiência de qualidade com o consumidor, com o mínimo de programação sendo feita de forma manual (GOMES, 2021).

6.2. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

A partir de dados adquiridos através de avaliação de documentos, é perceptível que a utilização desta plataforma minimiza o tempo dispensado para conceber aplicações de diversos graus de complexidade, não atrapalhando o bom desempenho e a segurança das informações que são trocadas pelo programa.

Uma das aplicações reais deste aplicativo foi visto no trabalho de Moreira (2021), para a área de moagem de soja em Uberlândia, onde foram percebidas as excelentes funcionalidades e sua extensão para demais áreas, plantas e departamentos.

Ele provê diversas possibilidades para a solução de problemas da empresa, além de demonstrar como o *Design Thinking* pode ser útil para este tipo de demanda. A Figura 31 mostra a tela de início construída com essa plataforma.



Fonte: Moreira (2021).

Conforme a Figura 32, nesta aplicação existe a possibilidade de selecionar a opção de fazer as atividades da operação, conforme data e turno e, depois, é preciso informar qual o operador está executando a tarefa, junto do registro para que ele tenha condições de inserir um comentário. Há, ainda, a tela para validar supervisor e gerente (MOREIRA, 2021).

Figura 32 - Tela de escolha de atividade e validação

Filtros

sexta-feira, 28 de maio de 2021
2º Turno

Limpeza dos roletes da CO-210 (nas 2 extremidades).

Limpeza do túnel do RE-509B.

Limpeza Geral 2º e 3º Piso
Preparação e área do redler 542-A.

Limpeza das bicas de descarga de finos dos ressecadores.

Tarefa:
Limpeza dos roletes da CO-210 (nas 2 extremidades).

Responsável:
Adriano Morais

Comentários/ Melhorias:
Deixe seu comentário!

Validação - Filtros

Data de Filtragem

Data Inicial: 01/01/2021

Data Final: 27/05/2021

*Selecione o Validador

Resetar Filtros

Fonte: Moreira (2021).

A Figura 33 indica as telas relativas à visualização de histórico, onde há a opção de filtragem por turno, data e funcionário.

Figura 33 - Histórico de tarefas

Histórico - Filtros

Selecione o Turno

1º Turno

Selecione o Colaborador

Adriano Morais

Data de Filtragem

Data Inicial: 01/01/2021

Data Final: 27/05/2021

Salvar Filtros

Filtros

quinta-feira, 27 de maio de 2021
1º Turno

Atividade 1:
Controle de Processo - Inspeção visual da quebra da soja.

Responsável: Anivaldo Marques

Validação: Marques

Atividade 2:
Controle de Processo - Medição de espessura dos flocos e preenchimento do MOPS6.

Responsável: Anivaldo Marques

Validação: Marques

Resetar Filtros

Fonte: Moreira (2021).

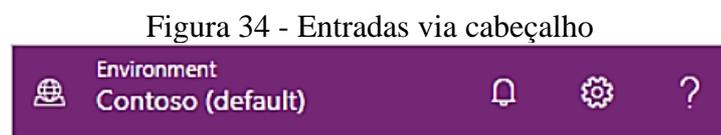
Outro aplicativo desenvolvido, a partir do Power Apps da Microsoft, foi o Eventar, a partir da licença obtida pelo programa de parceria entre a Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB) e a Microsoft (DA SILVA, 2018).

6.3. PRINCIPAIS CONCEITOS

Ao ingressar no Power Apps, a página apresenta diversas opções para a criação dos aplicativos, para iniciar o uso de aplicativos criados pelo usuário ou por terceiros, além de efetuar uma série de atividades correlatas, que vão das mais elementares, como reconhecer a(s) licença(s) de acesso, até as mais evoluídas, como a implementação de ligações personalizadas, usando fontes de dados exclusivas.

Há a possibilidade de escolher opções em três grandes áreas no aplicativo, como mostrado nas figuras 34, 35 e 36 (MICROSOFT, 2021):

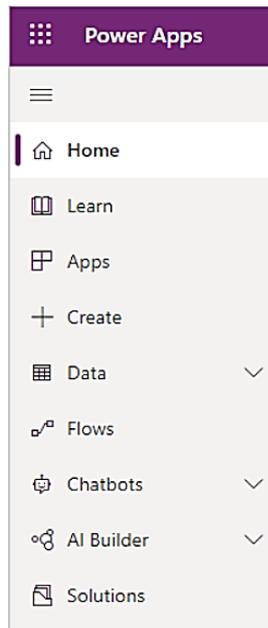
- Pelo cabeçalho localizado na parte superior da página;



Fonte: Microsoft (2021).

- Pela barra de navegação no lado esquerdo da página;

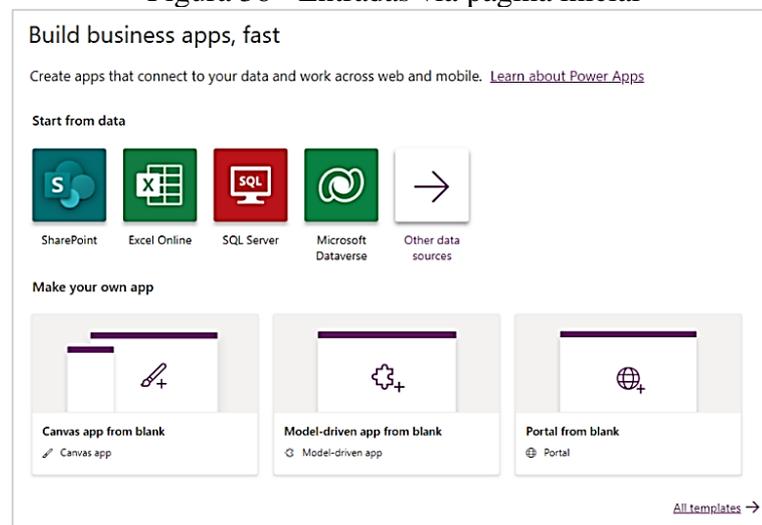
Figura 35 - Entradas via barra de navegação



Fonte: Microsoft (2021).

- Pelos ícones destacados na página inicial.

Figura 36 - Entradas via página inicial

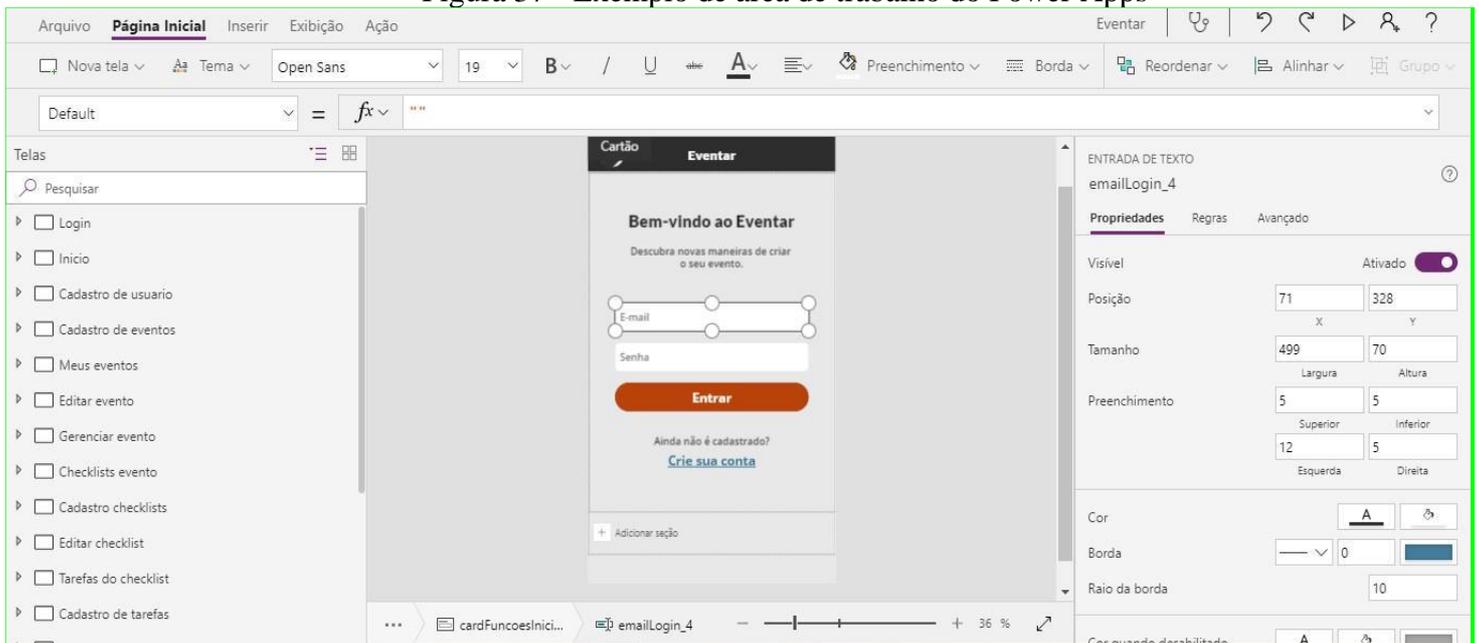


Fonte: Microsoft (2021).

As telas do aplicativo são criadas por meio de elementos virtuais introduzidos de maneira dinâmica, com comandos de arrastar e soltar. Mais do que isso, consegue-se personificar cada componente, através de configurações feitas diretamente em seus atributos.

A Figura 37 mostra a área de trabalho do aplicativo Eventar, citado na subseção 6.2 (DA SILVA, 2018).

Figura 37 - Exemplo de área de trabalho do Power Apps



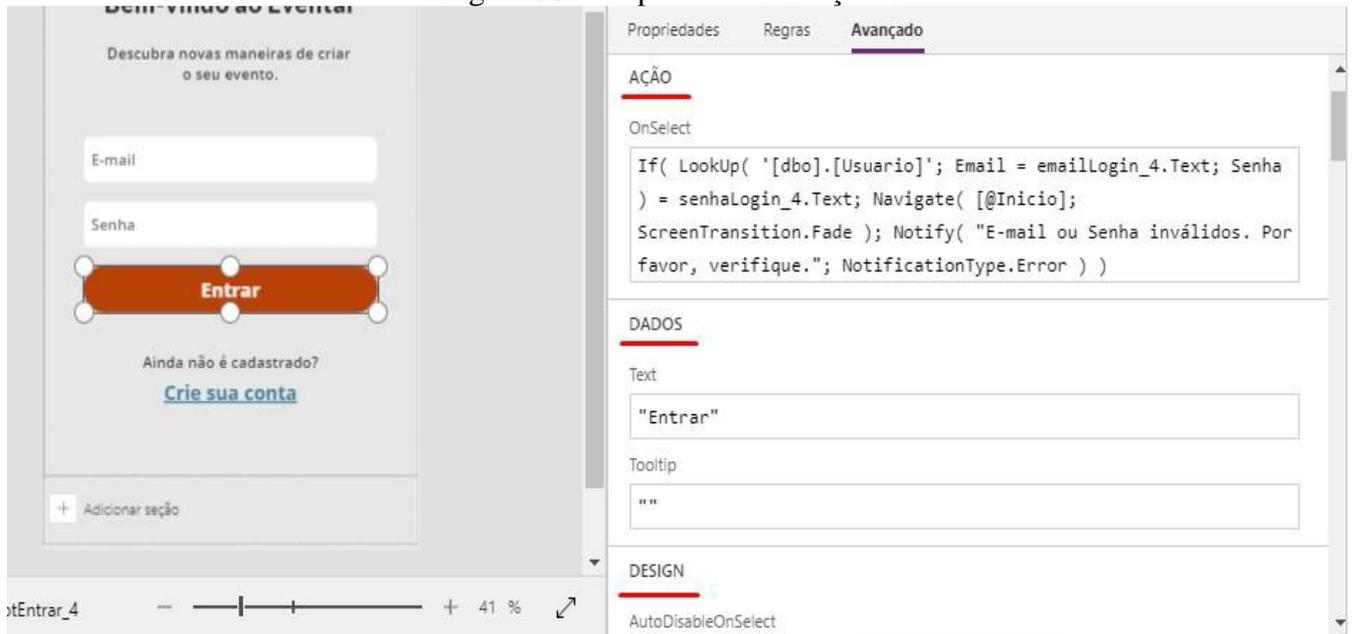
Fonte: Da Silva (2018).

A barra superior da área de trabalho possui cinco abas. A primeira, Arquivo, detém funcionalidades centrais, dentre elas, salvar ou publicar o aplicativo. Na aba Página Inicial, é possível modificar os atributos essenciais dos componentes, tais como tamanho, estilo da fonte e cor, alinhamento, borda, disposição, preenchimento, entre outros. A terceira aba é a Inserir, que possibilita a criação de uma tela nova ou a introdução de novos elementos na tela corrente. Os elementos que se encontram disponíveis são os botões, caixas de texto, listas de registros, formulários, controles, ícones, texto de reconhecimento e gráficos. Na quarta aba, de nome Ação, determina-se ou modifica-se as ações do elemento escolhido, por exemplo, para qual tela o usuário irá ao clicar em certo botão da tela (DA SILVA, 2018).

Na lateral esquerda da Figura 37, há uma listagem que contém todas as telas presentes no aplicativo. Ao escolher uma tela, ela surge centralizada, possibilitando modificar qualquer componente da tela, assim como o seu comportamento.

Na lateral direita, consegue-se modificar os atributos básicos e avançados dos elementos. Qualquer elemento da tela tem, em seus atributos avançados, três tipos de ajustes: ação, dados e *design*. Ação determina qual será o comportamento do elemento por meio de ocorrências previamente determinadas; os dados possuem correspondência com os valores – sendo eles números, imagens e textos - que o elemento vai mostrar e o *design* se refere às configurações da aparência que o elemento vai ter e que podem ser modificadas. Na Figura 38, é possível ver um exemplo dos atributos descritos (DA SILVA, 2018).

Figura 38 - Propriedades avançadas



Fonte: Da Silva (2018).

O *Power Apps* dispõe de uma linguagem específica e contempla várias funcionalidades disponíveis para a criação de aplicativos (DA SILVA, 2018). Algumas exemplos das funções presentes no *Power Apps* são:

- a) *Filter*: possibilita a filtragem de um ou mais registros relativos a uma ou diversas entidades, enviando como parâmetro, um requisito que caracterizará a filtragem desejada;
- b) *SubmitForm*: funcionalidade que transmite informações advindas de um formulário para que sejam registradas em um banco de dados;
- c) *Lookup*: procura uma informação de certo registro;
- d) *Navigate*: funcionalidade que faz a navegação entre telas;
- e) *Patch*: faz a atualização de informações de certo registro;
- f) *Set*: atualiza o valor de uma variável global corrente;
- g) *UpdateContext*: cria uma variável global com um valor pré-definido;
- h) *Notify*: faz a transmissão de notificações através de uma intervenção do utilizador;
- i) *ResetForm*: realiza o reset de certo formulário, isto é, esvazia todos os campos e os deixam prontos para o recebimento de novas informações.

7. DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

7.1. INTRODUÇÃO

Ao desenvolver qualquer projeto deve ser analisada tanto a perspectiva técnica, avaliando as especificidades provenientes de cada situação – sempre levando em consideração temas como funcionalidade, usabilidade e segurança – quanto os aspectos econômicos, sopesando o custo benefício em cada etapa do processo.

O software criado foi desenvolvido para guiar o usuário por algumas das principais etapas na elaboração de um projeto. Passando pelas fases de definições das necessidades do projeto, escolha e dimensionamento do tipo de projeto e orçamento primário para a sua execução.

O aplicativo *Projetos de Aterramentos Elétricos* foi pensado para calcular projetos de aterramentos de baixa tensão, com 12 configurações diferentes, que variam de hastes simples a hastes em estrela. Seu uso também inclui a realização de um orçamento primário do projeto, levando em consideração o custo dos materiais utilizados (variando para cada projeto), o custo de mão-de-obra e o percentual de lucro desejado para o projeto (valores escolhidos pelo usuário).

Para cada tipo de projeto, o aplicativo fornece um relatório personalizado, com descrições do solo utilizado para o aterramento, o tipo de projeto escolhido, os cálculos do dimensionamento do projeto, análises de sensibilidade para os principais fatores do dimensionamento, lista dos materiais utilizados e seus custos e, por fim, uma análise financeira do orçamento.

O software registra todos os projetos criados em nuvem, utilizando a plataforma SharePoint Online da Microsoft. Desta maneira o usuário pode acessar, deletar e editar qualquer projeto já criado sem consumir memória em seu aparelho.

É importante frisar que o usuário deve utilizar o software com bastante atenção para não infringir as normas da ABNT de sistemas de aterramentos. Cabe ao usuário possuir o conhecimento das normas para melhor utilizar o aplicativo.

7.2. ESTRUTURA GERAL DO APLICATIVO

O aplicativo conta com um fluxo de nove telas para a navegação. O Quadro 4 enumera as telas do software juntamente com a função de cada uma delas.

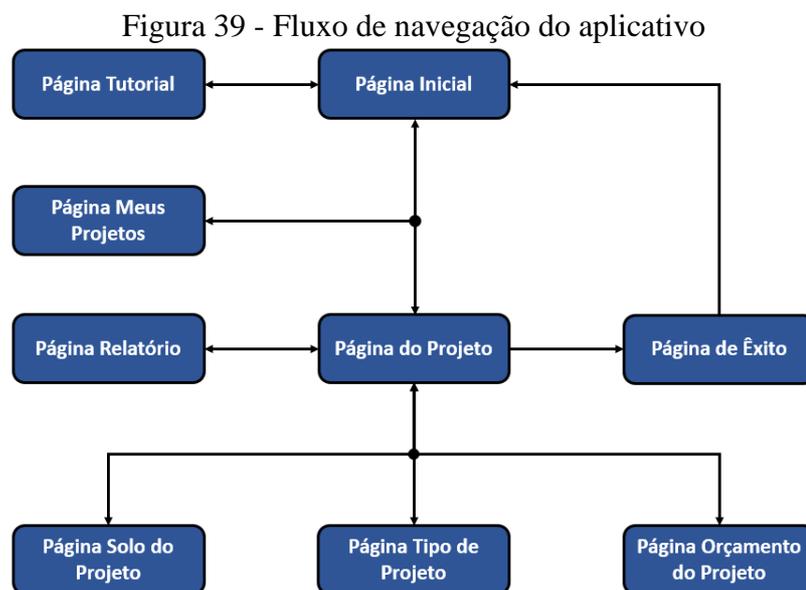
Quadro 6 - Estrutura de telas do aplicativo

Tela	Descrição
Página Inicial	Controle de fluxo para as páginas: Página Tutorial; Página Meus Projetos; Página do Projeto.
Página Meus Projetos	Lista de todos os projetos criados pelo usuário; controla o fluxo para edição de projetos.
Página do Projeto	Gerenciador dos projetos, permitindo sua criação, edição e visualização.
Página Tutorial	Tutorial de como utilizar o aplicativo.
Página Solo do Projeto	Página para criação e edição do solo.
Página Tipo de Projeto	Página para criação e edição do dimensionamento de projetos.
Página Orçamento do Projeto	Página para realizar o orçamento de projetos.
Página de Êxito	Páginas para confirmar e controlar a criação de novos projetos.
Página Relatório	Página para a visualização do relatório de cada projeto.

Fonte: Autor, 2021.

A navegação e integração entre as telas foi desenvolvida de forma a assegurar eficiência ao aplicativo, em termos de desempenho de software e uso de memória, na tentativa de minimizar o máximo possível seu número de telas – sempre levando em consideração a experiência do usuário ao utilizar o programa.

A Figura 39 apresenta como as telas estão conectadas entre si.



Fonte: Autor, 2021.

É importante salientar que, apesar das múltiplas conexões, alguns fluxos só podem ser acessados e/ou editados seguindo uma ordem específica de acesso às telas.

Para acessar a Página Relatório, o usuário deve partir da Página Meus Projetos. Desta forma é possível garantir que o relatório só será gerado após o projeto passar por suas três etapas de criação: Identificação do solo (Página Solo do Projeto) > Dimensionamento do Projeto (Página Tipo de Projeto) > Orçamento do Projeto (Página Orçamento do Projeto).

Seguindo o fluxo de criação citado, as telas Página Tipo de Projeto e Página Orçamento do Projeto só podem ser acessadas após o usuário concluir a etapa anterior do processo de criação do projeto, isto é, a tela Página Tipo de Projeto, está disponível após a identificação do solo, e a tela Página Orçamento do Projeto, está disponível após o dimensionamento do projeto. Isto garante o fluxo correto de criação e realização dos cálculos por parte do software. Vale notar que, para visualizar ou editar projetos já criados, estas páginas não seguem estas regras, dado que o projeto já fora criado anteriormente.

Além disso, é importante observar que a Página de Êxito possui fluxo único, podendo ser acessada somente através da Página do Projeto, quando o projeto estiver concluído, direcionando o usuário para a Página Inicial.

7.3. ROTINAS DE CÁLCULO

Este capítulo contém a descrição rotinas de cálculos mais complexas: Resistividade aparente do solo e Configuração de hastes paralelas.

Estas rotinas são as importantes para a compreensão total do funcionamento do back-end do aplicativo em termos de cálculo numérico.

As demais configurações e todos os outros cálculos presentes no software, são simples aplicações das fórmulas já descritas neste trabalho, sempre observando e armazenando as variáveis necessárias para os cálculos.

7.3.1. Resistividade aparente do solo

A resistividade aparente é uma etapa crucial no desenvolvimento, pois ela é utilizada para todas as configurações.

Como mostrado anteriormente, a fim de calcular a resistividade aparente do solo, precisa-se encontrar a relação entre a resistividade aparente e a resistividade da primeira camada equivalente (N). Para isso, utiliza-se a curva de resistividade aparente, onde para cada valor do

coeficiente de divergência (Beta), existe uma curva associada, onde pode-se encontrar o valor de N em função do coeficiente de penetração (Alfa).

Primeiramente, foram elaboradas as tabelas 9 e 10, contendo os pontos da curva de resistividade em função de Beta e Alfa, a partir da curva de resistividade, para a obtenção das equações necessárias:

Tabela 9 - Pontos de curva de resistividade (Betas de 0,01 à 2)

α	$\text{Log}(\alpha)$	$\beta = 0,01$	$\beta = 0,05$	$\beta = 0,1$	$\beta = 0,2$	$\beta = 0,5$	$\beta = 1$	$\beta = 2$
0,10	-1,00	1,00	1,10	1,10	1,10	1,10	1,00	1,10
0,15	-0,82	-	0,98	0,98	-	-	1,00	-
0,20	-0,70	0,95	0,95	0,95	0,96	1,00	1,00	-
0,30	-0,52	0,90	0,90	0,90	-	-	1,00	-
0,40	-0,40	0,88	0,88	0,88	-	-	1,00	-
0,50	-0,30	0,87	0,87	0,87	0,89	0,95	1,00	1,22
0,60	-0,22	0,85	0,84	0,84	-	-	1,00	-
0,70	-0,15	0,82	0,83	0,83	-	-	1,00	-
0,80	-0,10	0,80	0,80	0,80	0,83	-	1,00	-
0,90	-0,05	0,79	0,79	0,79	0,82	-	1,00	-
1,00	0,00	0,78	0,79	0,78	0,81	0,91	1,00	1,23
1,50	0,18	0,71	0,72	0,73	0,78	0,90	1,00	-
2	0,30	0,68	0,69	0,72	0,75	0,88	1,00	1,25
3	0,48	0,62	0,65	0,69	0,70	0,85	1,00	-
4	0,60	0,58	0,61	0,65	0,69	0,82	1,00	-
5	0,70	0,56	0,60	0,61	0,66	0,81	1,00	1,40
10	1,00	0,48	0,51	0,55	0,59	0,78	1,00	1,45
20	1,30	0,41	0,45	0,48	0,53	0,72	1,00	1,50
50	1,70	0,32	0,37	0,40	0,47	0,68	1,00	1,60
100	2,00	0,27	0,31	0,36	0,42	0,65	1,00	1,69
200	2,30	0,23	0,27	0,30	0,39	0,62	1,00	1,70
500	2,70	0,18	0,22	0,27	0,33	0,60	1,00	1,74
1.000	3,00	0,15	0,18	0,23	0,30	0,60	1,00	1,75

Fonte: Autor, 2021.

Tabela 10 - Pontos da curva de resistividade (Betas de 5 à 200)

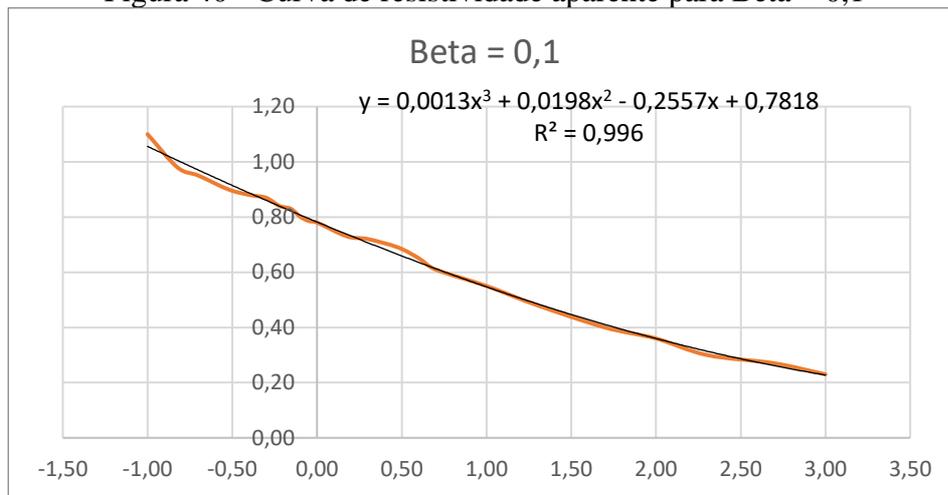
α	$\text{Log}(\alpha)$	$\beta = 5$	$\beta = 10$	$\beta = 20$	$\beta = 50$	$\beta = 100$	$\beta = 200$
0,10	-1,00	1,10	1,20	1,25	1,30	1,30	1,30
0,15	-0,82	-	-	-	-	-	-
0,20	-0,70	1,20	-	1,30	1,35	1,40	1,50
0,30	-0,52	-	-	-	-	-	-
0,40	-0,40	-	-	1,50	-	-	-
0,50	-0,30	1,30	1,40	1,55	-	1,90	2,17
0,60	-0,22	-	-	-	-	-	-
0,70	-0,15	-	-	-	2,00	2,32	2,50
0,80	-0,10	-	-	-	-	-	-
0,90	-0,05	-	-	-	-	-	-
1,00	0,00	1,45	1,70	1,95	2,35	2,70	3,00
1,50	0,18	1,50	-	-	-	-	-
2	0,30	1,70	2,20	2,70	3,25	3,90	4,50
3	0,48	-	-	3,00	4,00	-	5,00
4	0,60	-	-	-	5,00	-	7,50
5	0,70	2,00	2,90	4,00	5,65	7,20	8,90
10	1,00	2,40	3,60	5,30	8,00	11,00	15,00
20	1,30	2,70	4,20	6,60	11,10	16,00	21,50
50	1,70	3,00	5,20	8,50	16,50	23,40	32,50
100	2,00	3,20	5,80	-	20,00	29,00	45,00
200	2,30	3,50	6,10	11,00	21,70	36,00	57,50
500	2,70	3,80	6,70	12,50	25,10	42,00	75,00
1.000	3,00	3,90	7,00	13,00	28,50	47,00	85,00

Fonte: Autor, 2021.

Com estes dados, foi possível encontrar a equação da curva equivalente para cada valor de Beta, utilizando o Excel e regressões polinomiais de terceiro grau.

A Figura 40 demonstra a curva encontrada para Beta = 0,1. Neste gráfico, Y corresponde ao valor de N e X ao logaritmo de Alfa. A curva em laranja é a curva dos pontos obtidos, enquanto a curva preta corresponde a regressão avaliada:

Figura 40 - Curva de resistividade aparente para Beta = 0,1



Fonte: Autor, 2021.

Utilizando esta metodologia, o aplicativo foi alimentado com uma tabela contendo todos os coeficientes das equações polinomiais de terceiro grau de cada uma das curvas de beta avaliadas.

A Tabela 11 apresenta todos os coeficientes encontrados, além do coeficiente de determinação (R^2) de cada uma das curvas obtidas:

Tabela 11 - Regressões da curva de resistividade

Beta	X ³	X ²	X	A	R ²
0,01	0,0136	-0,0159	-0,2773	0,7690	0,9979
0,05	0,0025	0,0186	-0,2749	0,7717	0,9972
0,1	0,0013	0,0198	-0,2557	0,7818	0,996
0,2	-0,0006	0,0252	-0,2412	0,8119	0,9975
0,5	0,0038	0,0056	-0,1584	0,9162	0,9933
1	0	0	0	1	-
2	-0,0180	0,0494	0,1874	1,2315	0,991
5	-0,0712	0,2601	0,6714	1,4638	0,9975
10	-0,1852	0,6791	1,3765	1,7177	0,9992
20	-0,3258	1,4789	2,2433	1,9196	0,9987
50	-0,6419	3,5356	4,0274	1,7707	0,9958
100	-0,6252	5,1125	5,5230	2,1397	0,9971
200	0,0201	7,3794	6,2403	1,1816	0,9973

Fonte: Autor, 2021.

É possível observar que todas as curvas possuem um valor de R^2 próximo de 1 e, portanto, podem ser utilizadas com segurança para a determinação do coeficiente N em função do logaritmo de Alfa (X).

Dado que a intenção do aplicativo é prover uma análise teórica para qualquer configuração de solo e/ou dimensionamento, é importante que o software seja capaz de aproximar estas curvas para qualquer valor de Beta. Com esta finalidade, foi criado um algoritmo.

O cálculo é realizado através de uma ponderação dos valores de N obtidos pelas curvas de Beta, imediatamente posterior ao Beta do projeto (curva maior), e imediatamente anterior ao Beta do projeto (curva menor).

Por exemplo, se o usuário realizar um projeto com Beta = 0,4 e Alfa = 10, o algoritmo avaliará as curvas para Beta igual a 0,5 (curva maior) e 0,2 (curva menor). Assim, temos:

$$x = \text{Log}(\alpha) = 1$$

$$N_{(\beta=0,5)} = 0,9162 - 0,1584x + 0,0056x^2 + 0,0038x^3 \cong 0,77$$

$$N_{(\beta=0,2)} = 0,8119 - 0,2412x + 0,0252x^2 - 0,0006x^3 \cong 0,60$$

Desta maneira, sabemos que o valor de N está em algum lugar entre 0,60 e 0,77 e ponderamos este valor para a curva de Beta mais próxima.

$$\Delta N = N_{(\beta=0,5)} - N_{(\beta=0,2)} = 0,17$$

$$\Delta\beta = \beta_{maior} - \beta_{menor} = 0,5 - 0,2 = 0,3$$

$$Ajuste\% = \frac{\beta_{projeto} - \beta_{menor}}{\Delta\beta} * 100\% = 66,7\%$$

$$\therefore N_{ajustado} = N_{(\beta=0,2)} + Ajuste\% * \Delta N = 0,71$$

Neste caso, o valor de N utilizado para encontrar a resistividade equivalente do projeto é 0,71.

7.3.2. Configuração de hastes paralelas

Como foi visto anteriormente, o cálculo de hastes paralelas é retroativo, onde, para calcular-se a resistência de terra equivalente do sistema, deve-se calcular previamente a

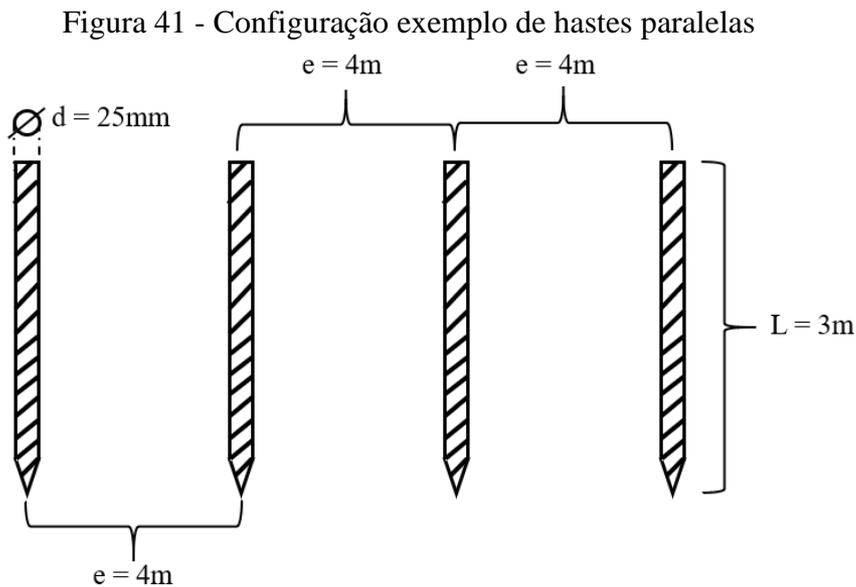
resistência inerente à cada haste, que é, por sua vez, afetada pelas hastes adjacentes.

Para esta configuração, por limitações na linguagem de programação do software, existe um limite de dez hastes por projeto.

Para obter o valor da resistência equivalente do sistema, o algoritmo primeiro determina a tabela de coeficientes de redução do dimensionamento projetado pelo usuário, com o número de hastes variando entre 2 e 10.

Uma vez munido destes coeficientes, o software aplica eq. (14) para determinar a resistência da configuração projetada.

Para melhor entender o funcionamento do algoritmo, tem-se como exemplo uma configuração de hastes paralelas com quatro hastes ($n=4$), espaçadas em 4 metros ($e=4$), cada uma com 3 metros de comprimento ($L=3$) e diâmetro de 25 milímetros ($d=0,025$).



Fonte: Autor, 2021.

Primeiramente, eq. (13) que pode ser utilizada para calcular o acréscimo de resistência na haste I devido à interferência mútua da haste m , é decomposta da seguinte maneira:

$$R_{1m} = \frac{\rho_a}{4\pi L} * \sum_{m=2}^n Y_{1m} \quad (60)$$

$$Y_{1m} = \ln \left[\frac{(b_{1m}+L)^2 - e_{1m}^2}{e_{1m}^2 - (b_{1m}-L)^2} \right] \quad (61)$$

Onde:

$$b_{1m} = \sqrt{L^2 + e_{1m}^2} \quad (62)$$

Utilizando eq. (60), eq. (61) e eq. (62) pode-se chegar a Tabela 12 de coeficientes Y com m variando até 10 hastes.

Tabela 12 - Coeficientes Y para até 10 hastes

m	e_{1m}	b_{1m}	Y_{1m}
2	4	5,00	1,39
3	8	8,54	0,73
4	12	12,37	0,49
5	16	16,28	0,37
6	20	20,22	0,30
7	24	24,19	0,25
8	28	28,16	0,21
9	32	32,14	0,19
10	36	36,12	0,17

Fonte: Autor, 2021.

Utilizando o conceito de simetria explicado na subseção 4.7.2, foi desenvolvida a Tabela 13 com os coeficientes necessários para o cálculo do acréscimo de resistência para até 10 hastes:

Tabela 14 - Coeficientes para cálculo de acréscimo de resistência

										(conclusão)
n	R_{hm}	R_{12}	R_{13}	R_{14}	R_{15}	R_{16}	R_{17}	R_{18}	R_{19}	R_{110}
9	R_{2m}	2	1	1	1	1	1	1	0	0
9	R_{3m}	2	2	1	1	1	1	0	0	0
9	R_{4m}	2	2	2	1	1	0	0	0	0
9	R_{5m}	2	2	2	2	0	0	0	0	0
9	R_{6m}	2	2	2	1	1	0	0	0	0
9	R_{7m}	2	2	1	1	1	1	0	0	0
9	R_{8m}	2	1	1	1	1	1	1	0	0
9	R_{9m}	1	1	1	1	1	1	1	1	0
10	R_{1m}	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	R_{2m}	2	1	1	1	1	1	1	1	0
10	R_{3m}	2	2	1	1	1	1	1	0	0
10	R_{4m}	2	2	2	1	1	1	0	0	0
10	R_{5m}	2	2	2	2	1	0	0	0	0
10	R_{6m}	2	2	2	2	1	0	0	0	0
10	R_{7m}	2	2	2	1	1	1	0	0	0
10	R_{8m}	2	2	1	1	1	1	1	0	0
10	R_{9m}	2	1	1	1	1	1	1	1	0
10	R_{10m}	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fonte: Autor, 2021.

Por fim, para chegar-se à tabela de coeficientes de redução, é preciso lembrar que o cálculo independe da resistividade aparente do solo (ρ_a).

Pode-se escrever os termos da equação de resistência de uma haste dentro do sistema da seguinte maneira:

$$R_h = \rho_a * (W + Z_h) \quad (63)$$

$$W = \frac{1}{2\pi L} * \ln\left(\frac{4L}{d}\right) \quad (64)$$

$$Z_h = \frac{1}{4\pi L} * \sum_{m=2}^n Y_{hm} \quad (65)$$

Dessa forma, a resistência equivalente do sistema pode ser calculada através de eq. (67).

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (66)$$

$$\therefore R_T = \rho_a * \frac{1}{\frac{1}{W+Z_1} + \frac{1}{W+Z_2} + \frac{1}{W+Z_3} + \dots + \frac{1}{W+Z_n}} = \rho_a * \aleph \quad (67)$$

Sendo assim, de eq. (14) temos:

$$K = \frac{\aleph}{W} \quad (68)$$

Finalmente, chega-se à Tabela 14 que apresenta o passo intermediário que o aplicativo utiliza para a determinação da tabela de redução. Nesta, a coluna *Soma* representa o valor de $\frac{1}{W+Z_h}$:

Tabela 15 - Passo para obtenção de k

(continua)		
N	R_{hm}	Soma
2	R_{1m}	2,74
2	R_{2m}	2,74
3	R_{1m}	2,61
3	R_{2m}	2,49
3	R_{3m}	2,61
4	R_{1m}	2,52
4	R_{2m}	2,38
4	R_{3m}	2,38
4	R_{4m}	2,52
5	R_{1m}	2,46
5	R_{2m}	2,31
5	R_{3m}	2,27
5	R_{4m}	2,31
5	R_{5m}	2,46
6	R_{1m}	2,41
6	R_{2m}	2,25
6	R_{3m}	2,21
6	R_{4m}	2,21
6	R_{5m}	2,25
6	R_{6m}	2,41
7	R_{1m}	2,37
7	R_{2m}	2,21
7	R_{3m}	2,16
7	R_{4m}	2,14
7	R_{5m}	2,16
7	R_{6m}	2,21

Tabela 16 - Passo para obtenção de k

(conclusão)		
N	R_{hm}	Soma
7	R_{7m}	2,37
8	R_{1m}	2,34
8	R_{2m}	2,18
8	R_{3m}	2,12
8	R_{4m}	2,10
8	R_{5m}	2,10
8	R_{6m}	2,12
8	R_{7m}	2,18
8	R_{8m}	2,34
9	R_{1m}	2,32
9	R_{2m}	2,16
9	R_{3m}	2,09
9	R_{4m}	2,07
9	R_{5m}	2,06
9	R_{6m}	2,07
9	R_{7m}	2,09
9	R_{8m}	2,16
9	R_{9m}	2,32
10	R_{1m}	2,29
10	R_{2m}	2,13
10	R_{3m}	2,07
10	R_{4m}	2,04
10	R_{5m}	2,02
10	R_{6m}	2,02
10	R_{7m}	2,04
10	R_{8m}	2,07
10	R_{9m}	2,13
10	R_{10m}	2,29

Fonte: Autor, 2021.

Utilizando a Tabela 14, eq. (67) e eq. (68) obtém-se a Tabela 15 de coeficientes de redução para o exemplo:

Tabela 17 - Coeficientes de redução para o exemplo

n	κ	K
2	0,18	56%
3	0,13	40%
4	0,10	31%
5	0,08	26%
6	0,07	22%
7	0,06	20%
8	0,06	17%
9	0,05	16%
10	0,05	14%

Fonte: Autor, 2021.

Para o exemplo dado, o fator de redução utilizado é de 31%.

7.4. VARIÁVEIS DE CONTROLE

Ao longo da construção do software, diversas variáveis de controle foram criadas, com funções que variam de identificar se o usuário está editando um projeto ou criando um novo, à validar ações e rotinas programadas ao pressionar de um botão.

A maioria destas variáveis são do tipo booleano, ou seja, retornam como valores VERDADEIRO (1) ou FALSO (0) para cada rotina executada.

O Quadro 5 apresenta todas as variáveis de controle utilizadas, bem como sua função:

Quadro 7 - Variáveis de controle

Variável	Função
IDvar	Utilizado para rastrear o código identificador do projeto.
New_Edit	Avalia se o usuário está criando um novo projeto ou editando um existente.
NewSolo	Avalia se o usuário está criando um novo solo ou editando um existente.
NewProjeto	Avalia se o usuário está criando um novo dimensionamento de projeto ou editando um existente.
NewOrcamento	Avalia se o usuário está criando um novo orçamento ou editando um existente.
FreeProjeto	Libera o dimensionamento do projeto apenas após a criação do solo do projeto.
FreeOrcamento	Libera o orçamento do projeto apenas após o dimensionamento do projeto.
Recalcular_Projeto	Avalia se o usuário deve recalcular o dimensionamento de um projeto (utilizada caso o usuário edite o solo do projeto após a realização de dimensionamento prévio).
Recalcular_Orcamento	Avalia se o usuário deve recalcular o orçamento de um projeto (utilizada caso o usuário edite o dimensionamento do projeto após a realização de orçamento prévio).
Save	Avalia se todas as etapas de criação foram cumpridas e habilita o salvamento do projeto.

Fonte: Autor, 2021.

7.5. VARIÁVEIS DE CÁLCULO

Para o correto funcionamento do software e facilidade na realização dos cálculos, foram criadas as variáveis de cálculo. Estas, tem como função armazenar o resultado de cálculos realizados ao longo da criação de um projeto.

A maioria destas variáveis são do tipo número, carregando valores decimais ou inteiros. O Quadro 6 apresenta todas as variáveis de cálculo utilizadas, bem como sua função:

Quadro 8 - Variáveis de cálculo

(continua)

Variável	Função
Título	Armazena o título dado ao projeto.
Tipo	Armazena o tipo de aterramento escolhido.
N	Armazena o número de hastes do projeto.
deq	Calcula a profundidade da camada equivalente do solo.
req	Calcula a resistividade da camada equivalente do solo.
ra	Calcula a resistividade aparente do solo.
alfa	Armazena o coeficiente de penetração
Beta	Armazena o coeficiente de divergência
Coef_N	Calcula a relação entre resistividade aparente equivalente e resistividade da primeira camada (N ajustado).
Najuste	Cálculo do valor a ser ajustado para o valor final de Coef_N.
N1	Aproximar Coef_N pela curva menor de resistividade aparente.
N2	Aproximar Coef_N pela curva maior de resistividade aparente.
Beta1	Beta da menor curva de resistividade aparente.
Beta2	Beta da maior curva de resistividade aparente.
A1	Variável de cálculo de N1.
B1	Variável de cálculo de N1.
C1	Variável de cálculo de N1.
D1	Variável de cálculo de N1.
A2	Variável de cálculo de N2.
B2	Variável de cálculo de N2.
C2	Variável de cálculo de N2.
D2	Variável de cálculo de N2.
X	Logaritmo de Alfa (utilizado para calcular Coef_N).
Rt	Calcula a resistência de terra do projeto.
R1h	Calcula a resistência de uma haste para o dimensionamento escolhido.
k	Calcula os coeficientes de redução das configurações com mais de uma haste.
delta	Variável para cálculo de configurações em triângulo e quadrado.
psi	Variável para cálculo de configurações em quadrado.

Quadro 9 - Variáveis de cálculo

(conclusão)

Variável	Função
r	Calcula o raio equivalente do sistema dimensionado.
raio	Armazena o raio da configuração do projeto.
L	Armazena o comprimento da haste.
p	Armazena a profundidade na qual a haste está enterrada.
e	Armazena a espessura da haste.
Custo_Mat	Armazena o custo dos materiais do projeto.
Custo_MDO	Armazena o custo de mão-de-obra do projeto.
Margem	Armazena margem de lucro do projeto.
Custo_TT	Cálculo do custo total do projeto.
Lucro	Cálculo de lucro do projeto.
_guideStep	Utilizado para navegar pelo tutorial.

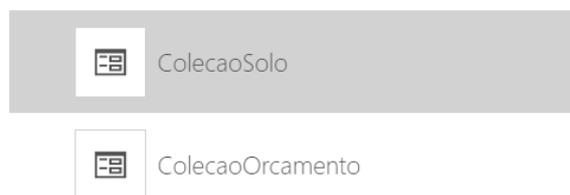
Fonte: Autor, 2021.

7.6. COLEÇÕES

Este aplicativo utiliza duas importantes coleções, em outras palavras, duas tabelas de conteúdo variável que são declaradas e editadas através das interações do usuário.

Figura 42 - Coleções utilizadas

Coleções



Fonte: Microsoft, 2021.

A primeira delas é a ColecaoSolo. Esta coleção é responsável por armazenar todas as informações referentes às características do solo para o cálculo do projeto, isto é, a quantidade de camadas, a resistividade (Ωm) e o comprimento (m) de cada camada. As informações fornecidas para esta coleção são coletadas diretamente do usuário, na Página Solo do Projeto.

A segunda coleção utilizada é a ColecaoOrcamento. Esta coleção tem como função

armazenar a lista de materiais e utilizados, o custo de cada material por unidade e a quantidade daquele material a ser utilizada. Desta forma é possível estimar o custo total de materiais do projeto e fornecer ao usuário este orçamento de forma detalhada. As informações fornecidas para esta configuração são coletadas indiretamente pelo usuário, através do dimensionamento do projeto escolhido (realizado na Página Tipo do Projeto) e de tabelas fixas com os materiais necessários para cada projeto, bem como o custo médio de cada um deles.

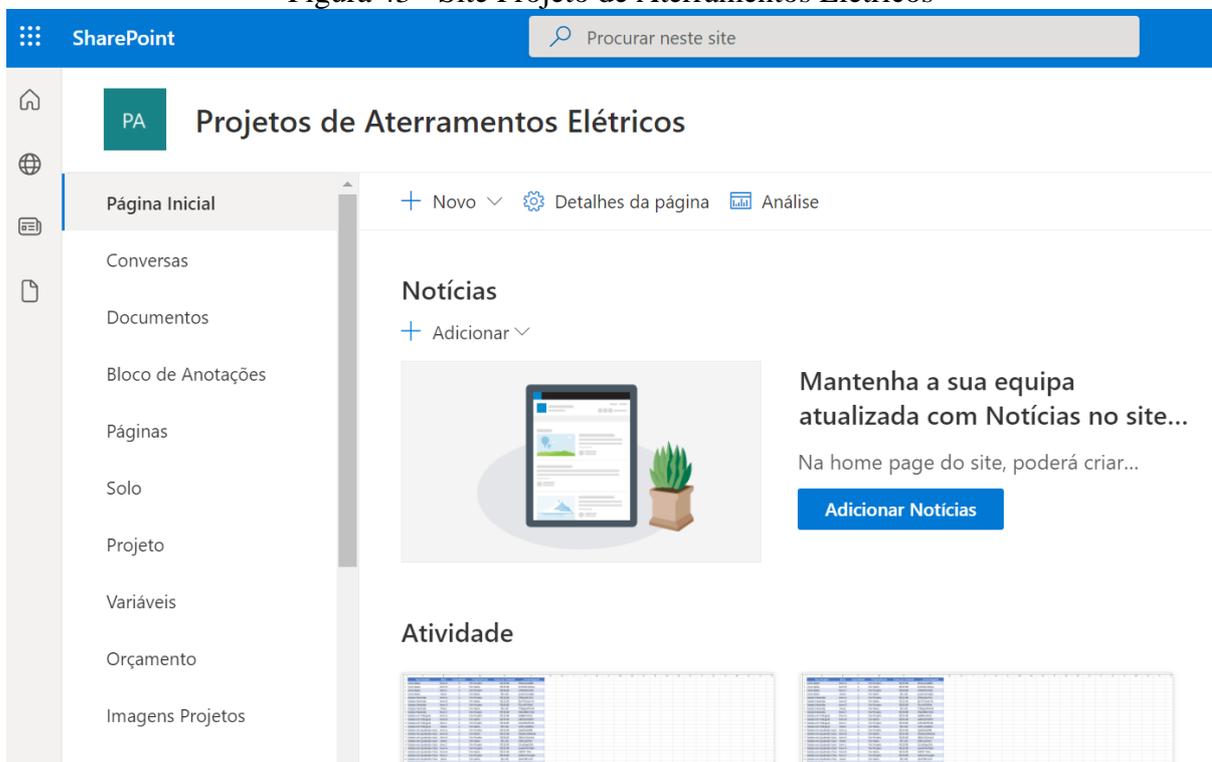
7.7. LISTAS DO SHAREPOINT

O SharePoint é uma plataforma de aplicação web criada pela Microsoft para dar suporte às organizações, sendo possível criar sites corporativos, Intranets, sistemas de gestão, entre outros. Sua principal funcionalidade para o aplicativo é utilizá-lo como servidor de arquivos.

É através desta aplicação que o aplicativo registra e salva todas as informações pertinentes aos projetos criados pelos usuários.

Dessa forma, foi criado o seguinte site no domínio UNESP para hospedar as informações:

Figura 43 - Site Projeto de Aterramentos Elétricos



Fonte: Autor, 2021.

Neste site foram criadas algumas páginas com a modalidade de lista online. Estas listas

são formas de armazenar dados com o formato de tabela (semelhante ao Excel), permitindo tarefas como a criação de colunas, classificação e agrupamento de informações, modificação de sua forma de exibição, importação e exportação de documentos e dados, entre outras funcionalidades.

Figura 44 - Exemplo de lista utilizada no aplicativo

Projeto ☆

ID Projeto ▾	Nome Projeto ▾	Criado por ▾	Tipo Projeto ▾	Num Has... ▾	Raio ▾	Comprimento ▾
2	Teste 2	Gabriel Leite Cardoso	Hastes Paralelas	3	1	12
3	Projeto 3	Gabriel Leite Cardoso	Hastes Paralelas	4	1	12
5	Meu Teste 2	Gabriel Leite Cardoso	Hastes Paralelas	4	1	10
6	Meu Teste 3	Gabriel Leite Cardoso	Hastes Paralelas	5	0	10
7	Hastes em Triângulo 1	Gabriel Leite Cardoso	Hastes em Triâng...	3	1	10
8	Teste 55	Gabriel Leite Cardoso	Hastes em Quadr...	8	1	5

Fonte: Autor, 2021

O Quadro 7 apresenta a descrição e fonte de todas as listas utilizadas pelo aplicativo:

Quadro 10 - Listas utilizadas pelo aplicativo

Lista	Função	Fonte
Imagens	Armazena todas as imagens utilizadas no aplicativo.	https://reitoriaunespbr.sharepoint.com/sites/ProjetosdeAterramentosEltricos/Imagens/Forms/AllItems.aspx
Solo	Armazena e permite a edição de todas as características dos solos criados.	https://reitoriaunespbr.sharepoint.com/sites/ProjetosdeAterramentosEltricos/Lists/Solo/AllItems.aspx
Projeto	Armazena e permite a edição do dimensionamento dos projetos criados.	https://reitoriaunespbr.sharepoint.com/sites/ProjetosdeAterramentosEltricos/Lists/Projeto/AllItems.aspx
Variáveis	Armazena e permite a edição todas as variáveis de cálculo de projetos criados.	https://reitoriaunespbr.sharepoint.com/sites/ProjetosdeAterramentosEltricos/Lists/Variveis/AllItems.aspx
Imagens Projetos	Adereça as imagens do aplicativo para cada tipo de projeto criado.	https://reitoriaunespbr.sharepoint.com/sites/ProjetosdeAterramentosEltricos/Lists/Imagens%20Projetos/AllItems.aspx
Orçamento	Armazena e permite a edição do orçamento dos projetos criados.	https://reitoriaunespbr.sharepoint.com/sites/ProjetosdeAterramentosEltricos/Lists/Oramento/AllItems.aspx
Custo Projeto	Armazena os preços médios dos materiais utilizados para cada tipo de projeto.	https://reitoriaunespbr.sharepoint.com/sites/ProjetosdeAterramentosEltricos/Lists/Custo%20Projeto/AllItems.aspx

Fonte: Autor, 2021.

8. FUNCIONAMENTO DO APLICATIVO

Até este momento foi mostrada a estrutura geral do aplicativo e seus fundamentos técnicos. Este capítulo apresenta de forma detalhada como cada página pode ser utilizada.

8.1. PÁGINA INICIAL

A Página Inicial é a primeira visualização do usuário ao abrir o aplicativo, e possui como finalidade receber o usuário e controlar o fluxo de navegação dentro do aplicativo. A página é apresentada na Figura 45.

Figura 45 - Página Inicial

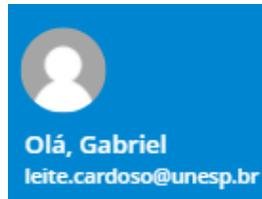


Fonte: Autor, 2021.

A identificação do usuário é realizada por meio de seu ID UNESP. Sendo assim, para utilizar o aplicativo é necessário efetuar login com seu e-mail e senha cadastrados na rede UNESP.

Uma vez identificado, o aplicativo capta e exibe o primeiro nome do usuário, seu e-mail e imagem de perfil (caso possua) no cabeçalho da tela, como mostrado na Figura 46.

Figura 46 - Identificador do usuário



Fonte: Autor, 2021.

Para controlar o fluxo de navegação, são utilizados três botões - vide Figura 47. São eles:

- Botão Ver Meus Projetos;
- Botão Criar Novo Projeto;
- Botão Ajuda.

Figura 47 - Botões da página inicial



Fonte: Autor, 2021.

O botão Ver Meus Projetos redireciona o usuário para a Página Meus Projetos, explicada na subseção 8.2. Além disso, este botão é responsável por ativar as variáveis de controle relativas a criação ou edição de projetos, apontando que o usuário pode vir a editar um projeto já criado.

O botão Criar Novo Projeto redireciona o usuário para a Página do Projeto, explicada na subseção 8.3. Além disso, assim como o botão Ver Meus Projetos, este botão também é responsável por ativar as variáveis de controle relativas a criação ou edição de projetos. Contudo, neste caso, aponta que o usuário pretende criar um novo projeto.

Por fim, o botão Ajuda redireciona o usuário para a Página Tutorial, explicada na subseção 8.9.

8.2. PÁGINA MEUS PROJETOS

A Página Meus Projetos apresenta uma lista interativa de todos os projetos que o usuário já criou e estão salvos em nuvem. A partir dela é possível pesquisar, visualizar e selecionar para edição, exibição de relatório, ou, até mesmo, para deletar, qualquer projeto uma vez criado.

A estrutura de lista resume cada projeto pelo título dado ao projeto, a configuração utilizada, o orçamento e o lucro obtidos. Todos devidamente identificados pelo seu ID, que é gerado automaticamente no momento de criação do projeto. Além disso, a lista possui um campo de pesquisa, que filtra os objetos já criados por qualquer palavra-chave associada a qualquer um dos elementos de resumo da mesma.

Ao tocar na seta apontando para a direita de qualquer item da lista, o aplicativo registra o ID de projeto que foi selecionado, retoma todas as variáveis de cálculo associadas à aquele ID e navega o usuário para a Página do Projeto, no modo Edição.

A Figura 48 apresenta um print desta página. Vale ressaltar que os valores observados na figura, quanto a orçamento e lucro, são genéricos, utilizados apenas para demonstrar a visualização da página.

Figura 48 - Página Meus Projetos



Fonte: Autor, 2021

O cabeçalho da página conta com quatro botões, como mostra a Figura 49. Da esquerda

para a direita, respectivamente, são eles:

- Botão Voltar;
- Botão Atualizar;
- Botão Reordenar;
- Botão Adicionar.

Figura 49 - Cabeçalho da Página Meus Projetos



Fonte: Autor, 2021.

O botão Voltar retorna à Página Inicial e limpa o valor de todas as variáveis de controle.

O botão Atualizar renova a lista com projetos recém criados, para casos em que um novo projeto tenha sido executado, mas ainda não está presente na lista. Faz isso ao se comunicar com os dados salvos no SharePoint, examinados na subseção 7.7.

O botão Reordenar ordena a lista de forma ascendente ou descendente, em relação ao ID do projeto. Desta forma, é possível organizar a lista a partir do projeto mais novo para o mais antigo (maior ID para o menor ID), ou do mais antigo para o mais novo (menor ID para o maior ID).

O botão Adicionar serve como um caminho alternativo para o usuário criar um novo projeto. Para isto, reverte o valor das variáveis de controle e, após isto redireciona o usuário para a Página do Projeto no modo Criação.

8.3. PÁGINA DO PROJETO

Esta pode ser considerada como a principal página da aplicação. Isto porque desempenha várias importantes funções.

Uma delas, é controlar o fluxo operacional do aplicativo. Ou seja, a página avalia se o usuário está editando, criando ou apenas visualizando as informações resumidas de um projeto e redireciona os cálculos necessários para cada uma das funções. Desta forma, a página conta com três modos de uso: Modo Criação, Modo Edição e Modo Visualização.

A página também redireciona o usuário para todas as etapas de construção do projeto, são elas: Identificação do solo (Página Solo do Projeto); Escolha da configuração e dimensionamento do projeto (Página Tipo de Projeto); Definição de custos e lucro do projeto

(Página Orçamento do Projeto). Além, é por meio dela que é possível navegar para a visualização do relatório do projeto (Página Relatório), validar e salvar um projeto editado ou recém criado (botão Salvar e Página de Êxito) e até mesmo deletar um projeto pré-existente (botão Apagar).

A estrutura da página está dividida em três cartões e foi pensada de forma a resumir os principais pontos do projeto, trazendo informações relevantes sobre cada uma das etapas que constituem o mesmo.

Para elucidar a estrutura de cada um dos cartões, a Figura 50 apresenta um print desta página no modo Visualização. É importante ressaltar que todos os valores contidos na figura são genéricos e não necessariamente representam a realidade dos cálculos. Estão ali dispostos apenas para aclarar a maneira como a página está desenhada.

Figura 50 - Estrutura da Página do Projeto



Fonte: Autor, 2021.

O primeiro cartão é a respeito do solo do projeto. Neste, consta uma descrição do solo em formato de lista, com as informações de cada uma das camadas, além das informações de quantidade de camadas, resistividade e profundidade da primeira camada equivalente e, por fim, o valor do coeficiente de divergência (Beta) do solo.

O segundo cartão diz respeito à configuração e ao dimensionamento do sistema escolhido.

De tal maneira que, apresenta a configuração selecionada, junto à uma imagem que a simboliza, uma lista do dimensionamento do projeto (número de hastes, espaçamento, entre outras), a resistividade aparente e o coeficiente de redução para a configuração dimensionada e, por último, a resistência de terra obtida.

Finalmente, o terceiro cartão apresenta o orçamento para a realização do projeto. Este orçamento conta com o valor total do projeto, junto do lucro obtido e, divide seu custo em três cálculos: o custo do material, o custo da mão de obra e o percentual de lucro obtido.

Nas subseções seguintes, serão abordados seus três modos de funcionamento e cada uma de suas funções.

8.3.1. Modo Visualização

Este modo só pode ser acessado através da Página Meus Projetos, ao selecionar um dos projetos já criados presentes na lista.

Como seu layout é idêntico ao da Figura 51, serão abordadas apenas as funções de seu cabeçalho.

Figura 51 - Exemplo de cabeçalho no Modo Visualização



Fonte: Autor, 2021.

Da esquerda para a direita, respectivamente, temos os seguintes botões:

- Botão Voltar;
- Botão Apagar;
- Botão Editar;
- Botão Relatório.

O botão Voltar retorna à Página Inicial e limpa o valor de todas as variáveis de controle.

O botão Apagar deleta o projeto criado, tanto da visualização no aplicativo, quanto em seu registro salvo no SharePoint, e retorna o usuário para a Página Inicial.

O botão Editar habilita o projeto para edição e altera o modo da página para o mesmo, explicado na subseção 8.3.2.

Por fim, o botão Relatório navega o usuário para a Página Relatório, explicada na

subseção 8.8.

Vale notar que o cabeçalho sempre conta com o título do projeto escolhido pelo usuário. No caso do exemplo: *Teste Teófilo*.

8.3.2. Modo Edição

Este modo só pode ser acessado através da própria Página do Projeto no Modo Visualização, ao ser selecionado o botão Editar. A página é apresentada na Figura 52.

Figura 52 - Exemplo do Modo Edição

Teste Teófilo

Solo

Camada 1: 1 m - 100 Ω m
 Camada 2: 3 m - 550 Ω m
 Camada 3: 3 m - 120 Ω m
 Camada 4: 1 m - 85 Ω m

Quantidade de Camadas # 4
 1ª Camada Equivalente 173 Ω m / 7 m
 Coeficiente Beta 0,49

Projeto

Projeto de Hastes Paralelas

Dimensões n = 5 | L = 5m | d = 25mm | e = 4m
 Variáveis (pa e k) pa = 156,4 Ω m | k = 28,4%
 Resistência de Terra 9,5 Ω

Orçamento

Valor Total do Projeto: R\$ 1.175,00
 Lucro Obtido: R\$ 235,00

Custo do Material R\$ 470,00
 Custo da Mão de Obra R\$ 470,00
 Percentual de Lucro 20%

Fonte: Autor, 2021.

Pode-se notar que as únicas diferenças entre a exibição deste modo e a do Modo Visualização, são o cabeçalho da página e as setas apontando para a direita em cada um dos cartões.

As setas servem para direcionar o usuário para a página relativa à aquele cartão, para que os valores possam ser editados.

O cabeçalho conta com dois botões: Salvar (símbolo de cartão de memória) e Apagar

(símbolo de lixeira). Além disso, conta com um campo para a edição do título dado ao projeto.

O botão Apagar possui a mesma função do Modo Visualização, já o botão salvar, registra todas as alterações realizadas no projeto e encaminha o usuário para a Página de Êxito.

Vale dizer que, antes de realizar o salvamento do projeto em nuvem, o botão Salvar verifica se não há nenhuma irregularidade com relação às edições realizadas no projeto, e apenas executa a função de salvar caso não seja observada nenhuma anomalia. Isto é, caso o usuário realize edições no solo do projeto, ele precisará redimensioná-lo na Página Tipo do Projeto e, posteriormente, realizar um novo orçamento, dado as edições de dimensionamento. Para o caso de edição do tipo de projeto, é necessário apenas reavaliar o orçamento do mesmo. E, por fim, caso seja editado o orçamento, não é necessário alterar em conjunto nenhum outro campo. Todo este ciclo é validado pelas variáveis de controle.

8.3.3. Modo Criação

O Modo Criação pode ser acessado por dois caminhos distintos. Estes caminhos são, a partir da Página Inicial, ao selecionar o botão Criar Novo Projeto, ou no cabeçalho da Página Meus Projetos, ao selecionar o botão Adicionar. Para estes dois casos, a tela mostrada possui exatamente o mesmo layout, mostrado na Figura 53.

Figura 53 - Modo Criação



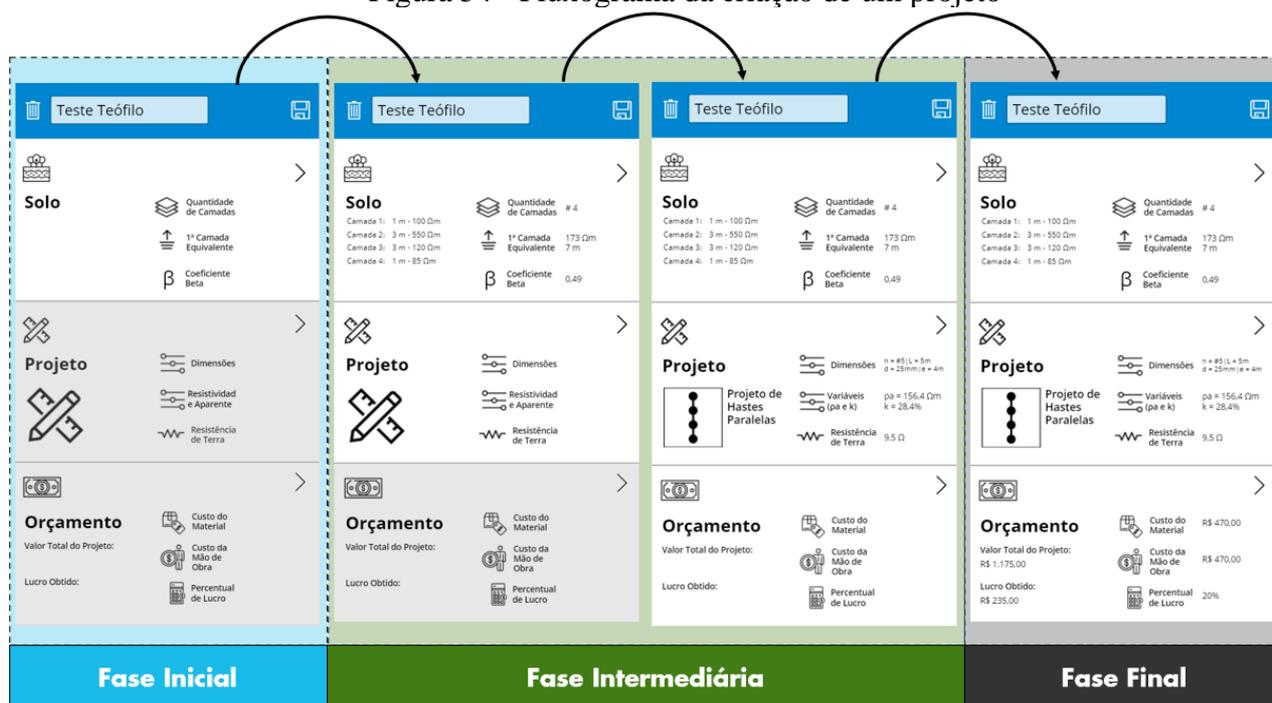
Fonte: Autor, 2021.

As funções e botões deste modo são exatamente as mesmas do Modo Edição, com a diferença de que, neste modo, os algoritmos estão programados para fazer novos registros nas Listas do SharePoint, além de gerar um novo número identificador para o projeto.

Outra diferença que se nota, são as tarjas cinzas sobre dois dos cartões. Este é um indicador de que a criação daquela etapa está bloqueada. Conforme o usuário avança no preenchimento de cada etapa de criação, a etapa seguinte é desbloqueada e permite a edição.

A Figura 54 exemplifica o processo de criação de um projeto etapa por etapa, até o momento em que o botão Salvar se torna disponível para seleção.

Figura 54 - Fluxograma da criação de um projeto



Fonte: Autor, 2021.

8.4. PÁGINA SOLO DO PROJETO

A Página Solo do Projeto só pode ser acessada através da Página do Projeto, ao selecionar a seta respectiva ao seu cartão identificador.

Esta página possui como função identificar as características essenciais do solo que será aterrado. Para tal, o usuário deve fornecer à página o tamanho (profundidade) e resistividade de cada uma das camadas que o compõe, montando assim uma tabela que é salva brevemente pela coleção ColecaoSolo.

A Figura 55 mostra um exemplo de configuração de solo, para demonstrar como a coleção fica estruturada.

Figura 55 - Página Solo do Projeto

Camada	Tamanho (m)	Resistividade (Ωm)
Camada 1	1	100
Camada 2	3	550
Camada 3	3	120
Camada 4	1	85

Fonte: Autor, 2021.

Para adicionar uma nova camada, basta preencher as informações relevantes desta e tocar no botão Adicionar Camada. Da mesma forma, para apaga-la, basta tocar no botão Apagar Camada. As camadas devem ser preenchidas em ordem crescente, ou seja, da mais superficial para a mais profunda. Vale ressaltar que a profundidade da última camada não é utilizada para cálculos, portanto pode receber qualquer valor sem prejudicar o projeto.

O botão Limpar Tabela exclui todas as camadas do solo identificado e limpa os valores contidos na ColecaoSolo. Já o botão Salvar Solo realiza os cálculos pertinentes a esta etapa, libera a edição das demais fases do projeto, salva o solo criado em uma lista específica em nuvem e retoma o usuário para a Página do Projeto.

No cabeçalho existe apenas o botão Voltar, que avalia se alguma alteração foi realizada no solo e retorna à Página do Projeto.

8.5. PÁGINA TIPO DE PROJETO

A Página Tipo de Projeto só pode ser acessada através da Página do Projeto, apenas após a criação do solo do projeto, ao selecionar a seta correspondente ao seu cartão identificador.

Esta página possui como função a seleção da configuração desejada para o projeto, assim como o dimensionamento da mesma.

Para isso, o usuário deve escolher dentro de uma galeria a configuração desejada e então escolher as características dessa configuração. Essas características para cada configuração de sistema de aterramento. Por exemplo, na configuração de Hastes Paralelas, é possível selecionar um número de hastes desejados entre dois e dez. Já na configuração de Hastes em Triângulo este número está travado em três hastes. O mesmo comportamento se repete para qualquer configuração escolhida. Um exemplo é mostrado na Figura 56.

Figura 56 - Página Tipo de Projeto

Características do Projeto

Uma Haste

Hastes Paralelas ✓

Hastes em Triângulo

Número de Hastes (n) 5

Resistência de Terra Calculada 9,46

Comprimento das Hastes (L) 5

Diâmetro das Hastes (d) 25

Espaçamento das Hastes (e) 4

Calcular Projeto

Salvar Projeto

Fonte: Autor, 2021.

Após dimensionar o sistema é necessário selecionar o botão Calcular Projeto. Este avaliará a configuração de hastes escolhida e então executará o algoritmo relativo a mesma para calcular a resistência de terra do projeto. Além disso, este botão libera o botão Salvar Projeto, visto que para realizar esta ação, antes é necessário calcular as variáveis do sistema e obter uma resistência de terra inferior a dez ohms.

Uma vez que o sistema esteja devidamente calculado, o botão Salvar Projeto é habilitado. Este botão salva todas as variáveis calculadas, a configuração selecionada e o dimensionamento do sistema, em nuvem, em tabelas específicas. Após isto, através das variáveis de controle, libera a edição do orçamento do projeto e retorna o usuário à Página do Projeto.

O cabeçalho desta página possui comportamento idêntico ao da Página Solo do Projeto.

8.6. PÁGINA ORÇAMENTO DO PROJETO

A Página Orçamento do Projeto deve ser acessada através da Página do Projeto, ao selecionar a seta respectiva ao seu cartão identificador, apenas após a realização da fase de escolha de configuração e dimensionamento do projeto.

Esta página possui como função efetuar um orçamento primário do projeto avaliado. Com esta finalidade, a página apresenta uma tabela com a lista dos materiais necessários para realizar o projeto e também um orçamento de custo por unidade. Tudo isso é fruto de um cálculo automático realizado pela ColecaoOrçamento, que varia de acordo com as escolhas do usuário na fase anterior de criação do projeto. Os outros fatores do orçamento são de responsabilidade de escolha do usuário. A página é apresentada na Figura 57.

Figura 57 - Página Orçamento do Projeto

Orçamento do Projeto

Orçamento do Material

Item	Qtd.	Custo por Unidade
Haste 10m/15mm	3x	R\$ 100,00
Item C	3x	R\$ 30,00
Item A	2x	R\$ 25,00
Item B	6x	R\$ 25,00
Custo Material Total		R\$ 590,00

Orçamento da Mão de Obra

Custo Padrão: 500 Custo/Haste: 100

Custo Mão de Obra Total: R\$ 800,00

Percentual de Lucro

Percentual de Lucro: 20%

Salvar Orçamento

Fonte: Autor, 2021.

Após a definição do orçamento da mão de obra e do percentual de lucro desejado, basta clicar no botão Salvar Orçamento, que salvará a todos os custos e itens relativos ao orçamento do projeto, em nuvem e, então, encaminhará o usuário de volta a Página do Projeto.

Vale notar que o cabeçalho desta tela possui comportamento idêntico ao das tela Página Solo do Projeto e Página Tipo de Projeto.

8.7. PÁGINA DE ÊXITO

Ao salvar qualquer sistema, através do botão Salvar, na Página do Projeto, o usuário é encaminhado à Página de Êxito.

Esta página possui como única função mostrar ao usuário que o projeto foi salvo com sucesso e limpar o valor de todas as variáveis de controle e de cálculo, além das coleções, para que novos ciclos de interação possam ser iniciados. Isto é realizado após tocar o botão Sucesso na parte inferior da página, como mostrado na Figura 58.

Figura 58 - Página de Êxito

Projeto concluído com
sucesso!



Fonte: Autor, 2021.

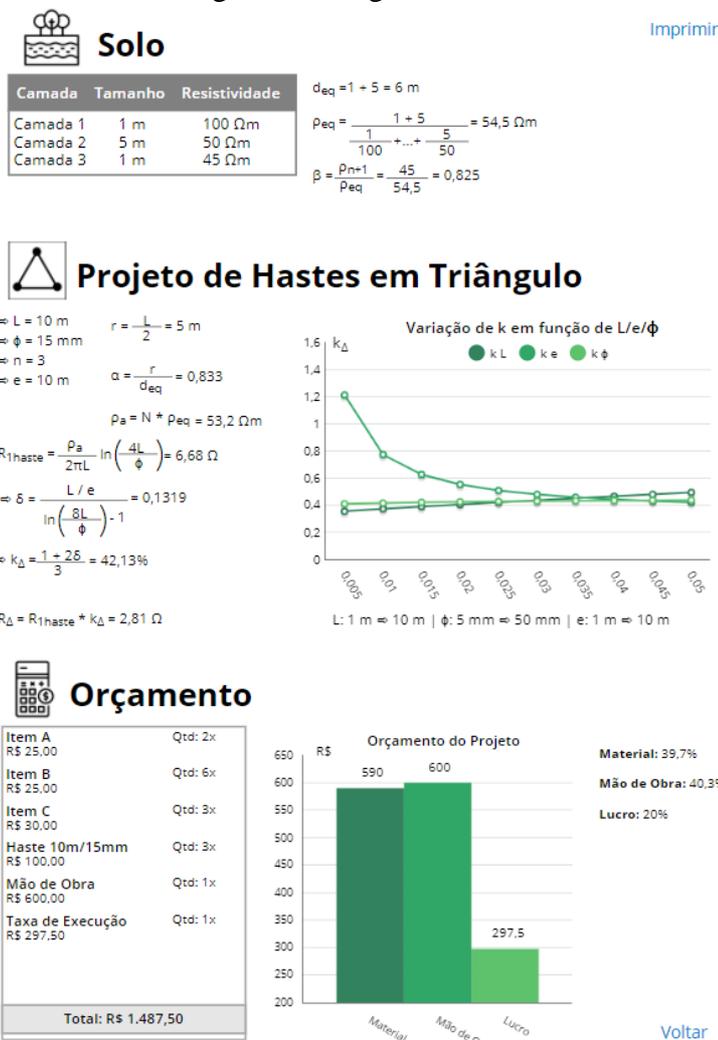
8.8. PÁGINA RELATÓRIO

A Página Relatório só pode ser acessada através da Página do Projeto no Modo Visualização, ao selecionar o botão Relatório presente no cabeçalho.

Esta página apresenta um relatório detalhado de cada uma das fases do projeto, conforme a Figura 59 de exemplo. Um ponto interessante sobre a visualização dessa tela é que, independente da configuração escolhida, a página sempre retornará as equações utilizadas para determinar os valores do projeto, servindo de forma didática para a compreensão do algoritmo

por trás de cada uma das configurações.

Figura 59 - Página Relatório



Fonte: Autor, 2021.

O primeiro terço da página sempre retorna informações sobre o solo, com uma tabela de altura variável que traz a descrição do solo em camadas, tamanho e resistividade, e o conjunto de equações avaliadas nesta etapa.

A segunda parte, correspondente ao dimensionamento do sistema, apresenta a configuração escolhida, as variáveis utilizadas e todo o conjunto de equações, etapa a etapa, para se obter o valor da resistência da configuração. Além disso, esta parte sempre conta com alguma análise de sensibilidade, variando com o tipo de projeto escolhido. Neste caso, o gráfico mostra a variação do coeficiente de redução em função das variáveis do dimensionamento, mantendo os demais valores constantes, os mesmos dados no projeto.

Por fim, o relatório retorna a lista do orçamento e seu valor total, além de algumas análises

sobre o mesmo. A Taxa de Execução, corresponde ao lucro calculado a partir da margem de lucro escolhida pelo usuário.

O botão Voltar redireciona o usuário de volta para a Página do Projeto, já o botão Imprimir, ativa a página de impressão do dispositivo o qual o aplicativo está sendo utilizado, para imprimir o relatório na página, conforme mostra a Figura 60. Uma outra boa alternativa para isto é simplesmente efetuar um printscreen da tela com o relatório.

Figura 60 - Ação de impressão da Página Relatório

The screenshot displays a software interface for a project report. On the left, there is a table of soil layers and a graph showing soil resistance. On the right, a print menu is open, showing options like 'Imprimir', 'Destino', 'Páginas', 'Layout', and 'Mais definições'. The print menu also includes a 'Salvar como PDF' button and a '1 página' indicator. At the bottom right of the interface, there are 'Salvar' and 'Cancelar' buttons.

Camada	Tamanho	Resistividade
Camada 1	1,2 m	200 Ωm
Camada 2	1,5 m	500 Ωm
Camada 3	10 m	100 Ωm

Projeto de Uma Haste

Resistência de Terra x Variação de L e φ

φ	R _h
5 mm	110,4 Ω
10 mm	100,75 Ω
15 mm	94,99 Ω
20 mm	90,9 Ω
25 mm	87,73 Ω
30 mm	85,14 Ω
35 mm	82,95 Ω
40 mm	81,05 Ω
45 mm	79,38 Ω
50 mm	77,88 Ω

Orçamento

Item	Valor
Mão de Obra	R\$ 900,00
Taxa de Execução	R\$ 238,48
Total	R\$ 1.084,00

Orçamento do Projeto

Item	Valor
Mão de Obra	800
Taxa de Execução	238,48
Material	4,2%
Lucro	22%

Fonte: Autor, 2021.

8.9. PÁGINA TUTORIAL

A Página Tutorial é acessada através do botão Ajuda, presente na Página Inicial. Esta tem a finalidade de esclarecer algumas dúvidas comuns que podem surgir na navegação pelo aplicativo.

A página conta com um menu seletor com o formato de galeria que, por meio de uma variável de controle (um contador que varia entre um e três) seleciona o item que o usuário solicita ser mostrado.

Como visto na Figura 61, além disso, a página conta com um botão de retorno (Botão Voltar) para que o usuário possa navegar de volta à Página Inicial

Figura 61 - Página Tutorial



Fonte: Autor, 2021.

9. RESULTADOS OBTIDOS

Este capítulo apresenta os resultados do projeto. Todos foram simulados com valores padronizados, para efeito de comparação entre os sistemas de aterramento disponíveis no aplicativo.

As tabelas 18, 19 e 20 apresentam as características do solo utilizado para a simulação de cada tipo de sistema:

- Tabela 18: solo para uma haste;
- Tabela 19: solo para hastes alinhadas, hastes em triângulo, hastes em quadrado vazio e hastes em quadrado cheio;
- Tabela 20: solo para haste em anel; haste horizontal; haste horizontal reto; haste em estrela de 3 pontas; haste em estrela de 4 pontas; haste em estrela de 6 pontas e haste em estrela de 8 pontas.

Tabela 18 - Resultados da resistividade do solo para uma haste

Estratificação do solo		
Camada	Profundidade [m]	Resistividade [Ωm]
Camada 1	1,2	200
Camada 2	1,6	500
Camada 3 (última do solo)	∞	100
Resultados		
Variável	Valor	
Quantidade de camadas	#3	
Resistividade equivalente da 1ª camada	304,3 Ω m	
Profundidade equivalente da 1ª camada	2,8 m	
Beta	0,33	

Fonte: Autor, 2021.

Tabela 19 - Resultados da resistividade do solo para hastes alinhadas e semelhantes

Estratificação do solo		
Camada	Profundidade [m]	Resistividade [Ωm]
Camada 1	1	200
Camada 2	6	250
Camada 3	1	65
Camada 4 (última do solo)	∞	60

Resultados	
Variável	Valor
Quantidade de camadas	#4
Resistividade equivalente da 1ª camada	180,2 Ω m
Profundidade equivalente da 1ª camada	8 m
Beta	0,33

Fonte: Autor, 2021.

Tabela 20 - Resultados da resistividade do solo para demais configurações

Estratificação do solo		
Camada	Profundidade [m]	Resistividade [Ωm]
Camada 1	1	300
Camada 2	6	500
Camada 3	1	200
Camada 4 (última do solo)	∞	100

Resultados	
Variável	Valor
Quantidade de camadas	#4
Resistividade equivalente da 1ª camada	393,4 Ω m
Profundidade equivalente da 1ª camada	8 m
Beta	0,25

Fonte: Autor, 2021.

A Tabela 21 apresenta as premissas consideradas para o orçamento de todos os projetos simulados neste capítulo.

Tabela 21 - Premissas para o orçamento

Item	Tipo	Valor
Caixa de injeção	Material	R\$ 15,54 por haste
Haste de aterramento	Material	R\$ 17,15 por haste
Conector cabo haste	Material	R\$ 7,85 por haste
Conector de eletroduto	Material	R\$ 4,98 por haste
Custo padrão	Mão de obra	R\$ 500,00 por projeto
Custo por haste	Mão de obra	R\$ 300,00 por haste
Taxa de execução	Margem de lucro	22%

Fonte: Autor, 2021.

As tabelas 22 a 33 apresentam os resultados obtidos para diferentes configurações. As tabelas contam com dados relativos ao dimensionamento do sistema e com os resultados obtidos como resistência de terra e resistividade aparente da configuração.

Tabela 22 - Resultados com uma haste

Dados do sistema	
Variável	Valor
Número de hastes	#1
Tamanho das hastes	3m
Diâmetro das hastes	19mm
Resultados	
Variável	Valor
Resistividade aparente	267,9 Ω m
Resistência de Terra	91,6 Ω

Fonte: Autor, 2021.

Tabela 23 - Resultados com hastes paralelas

Dados do sistema	
Variável	Valor
Número de hastes	#4
Tamanho das hastes	3m
Diâmetro das hastes	19mm
Espaçamento entre hastes	4m
Resultados	
Variável	Valor
Resistividade aparente	159,3 Ω m
Resistência de Terra	16,8 Ω

Fonte: Autor, 2021.

Tabela 24 - Resultados com hastes em triângulo

Dados do sistema	
Variável	Valor
Número de hastes	#3
Tamanho das hastes	3m
Diâmetro das hastes	19mm
Espaçamento entre hastes	4m
Resultados	
Variável	Valor
Resistividade aparente	182,9 Ω m
Resistência de Terra	26 Ω

Fonte: Autor, 2021.

Tabela 25 - Resultados com hastes em quadrado vazio

Dados do sistema	
Variável	Valor
Número de hastes	#8
Tamanho das hastes	3m
Diâmetro das hastes	19mm
Espaçamento entre hastes	4m
Resultados	
Variável	Valor
Resistividade aparente	140,6 Ω m
Resistência de Terra	9,1 Ω

Fonte: Autor, 2021.

Tabela 26 - Resultados com hastes em quadrado cheio

Dados do sistema	
Variável	Valor
Número de hastes	#9
Tamanho das hastes	3m
Diâmetro das hastes	19mm
Espaçamento entre hastes	4m
Resultados	
Variável	Valor
Resistividade aparente	138,6 Ω m
Resistência de Terra	9,1 Ω

Fonte: Autor, 2021.

Tabela 27 - Resultados com haste em anel

Dados do sistema	
Variável	Valor
Raio do anel	20m
Profundidade do aterramento	0,5m
Diâmetro das haste	19mm

Resultados	
Variável	Valor
Resistividade aparente	277,0 Ω m
Resistência de Terra	16,9 Ω

Fonte: Autor, 2021.

Tabela 28 - Resultados com haste horizontal

Dados do sistema	
Variável	Valor
Quantidade de hastes	#1
Comprimento da haste	50m
Profundidade do aterramento	0,5m
Diâmetro das haste	19mm

Resultados	
Variável	Valor
Resistividade aparente	300 Ω m
Resistência de Terra	10,7 Ω

Fonte: Autor, 2021.

Tabela 29 - Resultados com haste horizontal reto

Dados do sistema	
Variável	Valor
Quantidade de hastes	#2
Comprimento da haste	50m
Profundidade do aterramento	0,5m
Diâmetro das haste	19mm
Resultados	
Variável	Valor
Resistividade aparente	300 Ω m
Resistência de Terra	11,0 Ω

Fonte: Autor, 2021.

Tabela 30 - Resultados com hastes em estrela de 3 pontas

Dados do sistema	
Variável	Valor
Quantidade de hastes	#3
Comprimento da haste	50m
Profundidade do aterramento	0,5m
Diâmetro das haste	19mm
Resultados	
Variável	Valor
Resistividade aparente	300 Ω m
Resistência de Terra	8,2 Ω

Fonte: Autor, 2021.

Tabela 31 - Resultados com hastes em estrela de 4 pontas

Dados do sistema	
Variável	Valor
Quantidade de hastes	#4
Comprimento da haste	50m
Profundidade do aterramento	0,5m
Diâmetro das haste	19mm
Resultados	
Variável	Valor
Resistividade aparente	300 Ω m
Resistência de Terra	7,0 Ω

Fonte: Autor, 2021.

Tabela 32 - Resultados com haste em estrela de 6 pontas

Dados do sistema	
Variável	Valor
Quantidade de hastes	#6
Comprimento da haste	50m
Profundidade do aterramento	0,5m
Diâmetro das haste	19mm
Resultados	
Variável	Valor
Resistividade aparente	300 Ω m
Resistência de Terra	5,9 Ω

Fonte: Autor, 2021.

Tabela 33 - Resultados com hastes em estrela de 8 pontas

Dados do sistema	
Variável	Valor
Quantidade de hastes	#8
Comprimento da haste	50m
Profundidade do aterramento	0,5m
Diâmetro das haste	19mm
Resultados	
Variável	Valor
Resistividade aparente	300 Ω m
Resistência de Terra	5,4 Ω

Fonte: Autor, 2021.

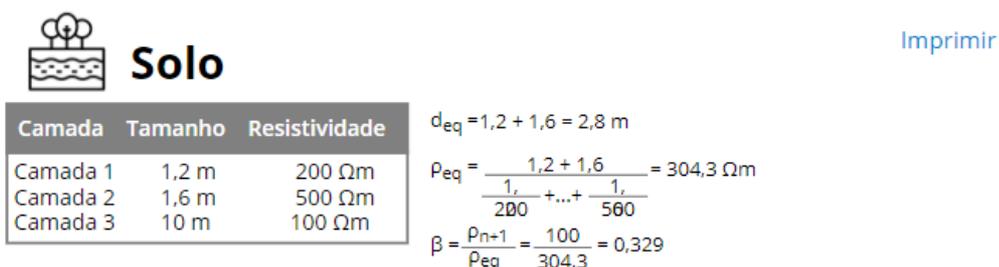
As figuras 62 a 73 apresentam os relatórios obtidos para cada um dos cenários simulados. Cada relatório possui 3 seções, sendo elas:

- Solo: descrição de cada camada do solo e equações relativas às variáveis obtidas;
- Projeto: equações relativas ao dimensionamento do projeto e análises de sensibilidade;
- Orçamento: descrição item a item do orçamento e análise por categoria.

Algumas características valem ser observadas na seção de projeto do relatório. Independente do sistema escolhido, como semelhança, todos os relatórios apresentam as equações aplicadas relativas ao dimensionamento do projeto. Todavia, cada configuração exibirá um tipo de análise de sensibilidade com racional semelhante.

Estas análises consistem em manter um ou mais elementos do dimensionamento constantes em quanto varia-se outro elemento das equações. Por exemplo, para a configuração de uma haste, são apresentadas duas tabelas com a resistência de terra variando em função de uma das variáveis do dimensionamento (comprimento ou diâmetro) em quanto a outra variável se mantém com valor fixo. Um segundo exemplo é o caso do relatório de hastes alinhadas, onde se mostra a variação da resistência de terra (em tabela) e do coeficiente de redução (em gráfico) em função do número de hastes do sistema. O mesmo raciocínio se aplica às demais configurações.

Figura 62 - Relatório com uma haste



• Projeto de Uma Haste

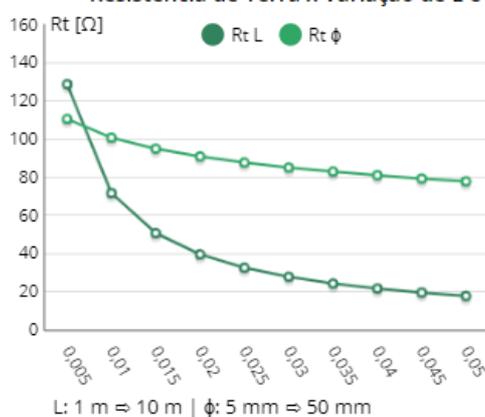
$\Rightarrow L = 3 \text{ m}$

$\Rightarrow \phi = 19 \text{ mm}$

$\rho_a = \rho_{eq} = 267,9 \text{ Ωm}$

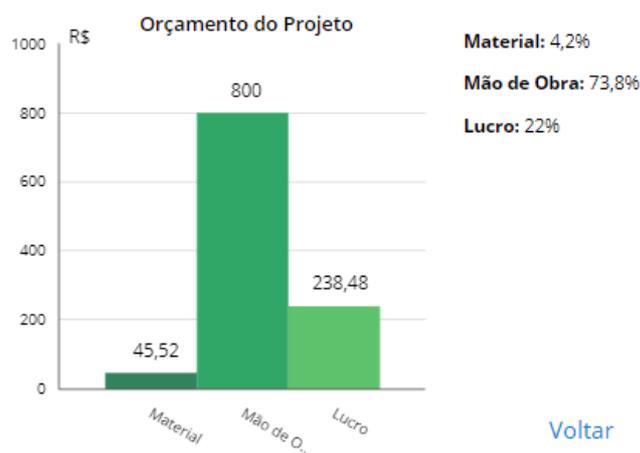
$$R_{1haste} = \frac{\rho_a}{2\pi L} \ln\left(\frac{4L}{\phi}\right) = 0 \text{ Ω}$$

$\rho/L = 3 \text{ m}$		$\rho/\phi = 19 \text{ mm}$	
ϕ	Rt	L	Rt
5 mm	110,6 Ω	2 m	128,8 Ω
10 mm	100,75 Ω	4 m	71,79 Ω
15 mm	94,99 Ω	6 m	50,74 Ω
20 mm	90,9 Ω	8 m	39,59 Ω
25 mm	87,73 Ω	10 m	32,62 Ω
30 mm	85,14 Ω	12 m	27,83 Ω
35 mm	82,95 Ω	14 m	24,33 Ω
40 mm	81,05 Ω	16 m	21,64 Ω
45 mm	79,38 Ω	18 m	19,52 Ω
50 mm	77,88 Ω	20 m	17,79 Ω

Resistência de Terra x Variação de L e ϕ 

Orçamento

Caixa de inspeção R\$ 15,54	Qtd: 1x
Haste 3m/19mm R\$ 17,15	Qtd: 1x
Conector cabo haste R\$ 7,85	Qtd: 1x
Conector eletroduto R\$ 4,98	Qtd: 1x
Mão de Obra R\$ 800,00	Qtd: 1x
Taxa de Execução R\$ 238,48	Qtd: 1x
Total: R\$ 1.084,00	



Fonte: Autor, 2021.

Figura 63 - Relatório com hastes paralelas



Solo

[Imprimir](#)

Camada	Tamanho	Resistividade
Camada 1	1 m	200 Ωm
Camada 2	6 m	250 Ωm
Camada 3	1 m	65 Ωm
Camada 4	10 m	60 Ωm

$$d_{eq} = 1 + 6 + 1 = 8 \text{ m}$$

$$\rho_{eq} = \frac{1 + 6 + 1}{\frac{1}{200} + \dots + \frac{1}{65}} = 180,2 \text{ Ωm}$$

$$\beta = \frac{\rho_{n+1}}{\rho_{eq}} = \frac{60}{180,2} = 0,333$$



Projeto de Hastes Paralelas

$$\Rightarrow L = 3 \text{ m}$$

$$\Rightarrow \phi = 19 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow n = 4$$

$$\Rightarrow e = 4 \text{ m}$$

$$r = \left(\frac{n-1}{2}\right) * e = 6 \text{ m}$$

$$\alpha = \frac{r}{d_{eq}} = 0,75$$

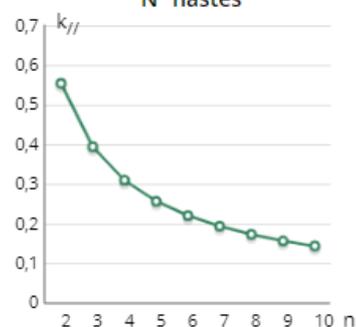
$$\rho_a = N * \rho_{eq} = 159,3 \text{ Ωm}$$

$$R_{1haste} = \frac{\rho_a}{2\pi L} \ln\left(\frac{4L}{\phi}\right) = 54,5 \text{ Ω}$$

$$\Rightarrow k = 30,91\%$$

n	Rt
2	30,18 Ω
3	21,45 Ω
4	16,85 Ω
5	13,96 Ω
6	11,98 Ω
7	10,52 Ω
8	9,4 Ω
9	8,5 Ω
10	7,78 Ω

Coefficiente de Redução (k) x N° hastes



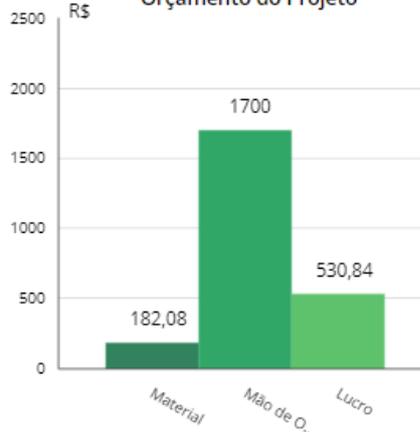
$$R_{||} = R_{1haste} * k_{||} = 16,85 \text{ Ω}$$



Orçamento

Caixa de inspeção R\$ 15,54	Qtd: 4x
Haste 3m/19mm R\$ 17,15	Qtd: 4x
Conector cabo haste R\$ 7,85	Qtd: 4x
Conector eletroduto R\$ 4,98	Qtd: 4x
Mão de Obra R\$ 1.700,00	Qtd: 1x
Taxa de Execução R\$ 530,84	Qtd: 1x
Total: R\$ 2.412,92	

Orçamento do Projeto



Material: 7,5%

Mão de Obra: 70,5%

Lucro: 22%

[Voltar](#)

Fonte: Autor, 2021

Figura 64 - Relatório com hastes em triângulo



Solo

[Imprimir](#)

Camada	Tamanho	Resistividade
Camada 1	1 m	200 Ωm
Camada 2	6 m	250 Ωm
Camada 3	1 m	65 Ωm
Camada 4	10 m	60 Ωm

$$d_{eq} = 1 + 6 + 1 = 8 \text{ m}$$

$$\rho_{eq} = \frac{1 + 6 + 1}{\frac{1}{200} + \dots + \frac{1}{65}} = 180,2 \text{ Ωm}$$

$$\beta = \frac{\rho_{n+1}}{\rho_{eq}} = \frac{60}{180,2} = 0,333$$



Projeto de Hastes em Triângulo

$$\Rightarrow L = 3 \text{ m}$$

$$\Rightarrow \phi = 19 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow n = 3$$

$$\Rightarrow e = 4 \text{ m}$$

$$r = \frac{L}{2} = 1,5 \text{ m}$$

$$\alpha = \frac{r}{d_{eq}} = 0,188$$

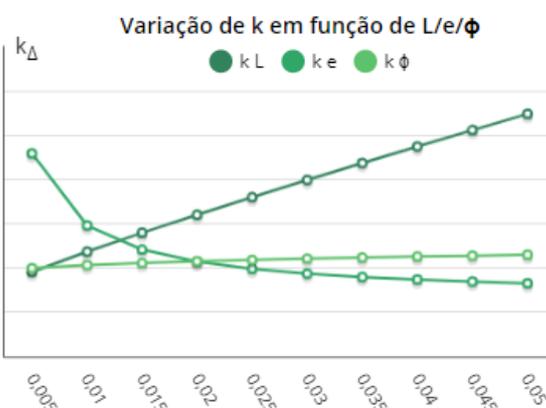
$$\rho_a = N * \rho_{eq} = 182,9 \text{ Ωm}$$

$$R_{1haste} = \frac{\rho_a}{2\pi L} \ln\left(\frac{4L}{\phi}\right) = 62,58 \text{ Ω}$$

$$\Rightarrow \delta = \frac{L/e}{\ln\left(\frac{8L}{\phi}\right) - 1} = 0,1221$$

$$\Rightarrow k_{\Delta} = \frac{1 + 2\delta}{3} = 41,47\%$$

$$R_{\Delta} = R_{1haste} * k_{\Delta} = 25,96 \text{ Ω}$$



L: 1 m ⇒ 10 m | φ: 5 mm ⇒ 50 mm | e: 1 m ⇒ 10 m



Orçamento

Caixa de inspeção R\$ 15,54	Qtd: 3x
Haste 3m/19mm R\$ 17,15	Qtd: 3x
Conector cabo haste R\$ 7,85	Qtd: 3x
Conector eletroduto R\$ 4,98	Qtd: 3x
Mão de Obra R\$ 1.400,00	Qtd: 1x
Taxa de Execução R\$ 433,39	Qtd: 1x
Total: R\$ 1.969,95	



Material: 6,9%

Mão de Obra: 71,1%

Lucro: 22%

[Voltar](#)

Fonte: Autor, 2021.

Figura 65 - Relatório com hastes em quadrado vazio



Solo

[Imprimir](#)

Camada	Tamanho	Resistividade
Camada 1	1 m	200 Ωm
Camada 2	6 m	250 Ωm
Camada 3	1 m	65 Ωm
Camada 4	10 m	60 Ωm

$$d_{eq} = 1 + 6 + 1 = 8 \text{ m}$$

$$\rho_{eq} = \frac{1 + 6 + 1}{\frac{1}{200} + \dots + \frac{1}{65}} = 180,2 \text{ Ωm}$$

$$\beta = \frac{\rho_{n+1}}{\rho_{eq}} = \frac{60}{180,2} = 0,333$$



Projeto de Hastes em Quadrado Vazio

$$\Rightarrow L = 3 \text{ m}$$

$$\Rightarrow \phi = 19 \text{ mm} \quad r = L \cdot \sqrt{2} = 19,8 \text{ m}$$

$$\Rightarrow n = 8$$

$$\Rightarrow e = 4 \text{ m}$$

$$\alpha = \frac{r}{d_{eq}} = 2,475$$

$$\rho_a = N \cdot \rho_{eq} = 140,6 \text{ Ωm}$$

$$R_{1\text{haste}} = \frac{\rho_a}{2\pi L} \ln\left(\frac{4L}{\phi}\right) = 48,11 \text{ Ω}$$

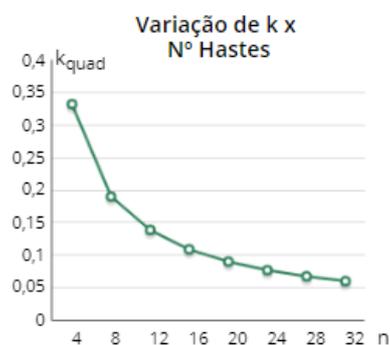
$$\Rightarrow \delta = \frac{L/e}{\ln\left(\frac{8L}{\phi}\right) - 1} = 0,1221$$

$$\Rightarrow \Psi = 4,2583$$

$$\Rightarrow k_{quad} = \frac{1 + \delta\Psi}{n} = 19\%$$

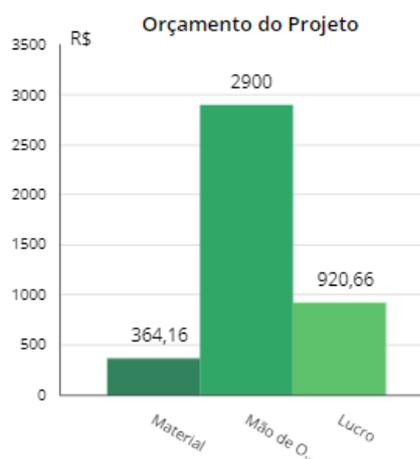
$$R_{quad} = R_{1\text{haste}} \cdot k_{quad} = 9,14 \text{ Ω}$$

n	Ψ
4	2,7071
8	4,2583
12	5,3939
16	6,0072
20	6,4633
24	6,8363
28	7,1479
32	7,4195



Orçamento

Caixa de inspeção R\$ 15,54	Qtd: 8x
Haste 3m/19mm R\$ 17,15	Qtd: 8x
Conector cabo haste R\$ 7,85	Qtd: 8x
Conector eletroduto R\$ 4,98	Qtd: 8x
Mão de Obra R\$ 2.900,00	Qtd: 1x
Taxa de Execução R\$ 920,66	Qtd: 1x
Total: R\$ 4.184,82	


Material: 8,7%

Mão de Obra: 69,3%

Lucro: 22%

[Voltar](#)

Fonte: Autor, 2021

Figura 66 - Relatório com hastes em quadrado cheio



Solo

[Imprimir](#)

Camada	Tamanho	Resistividade
Camada 1	1 m	200 Ωm
Camada 2	6 m	250 Ωm
Camada 3	1 m	65 Ωm
Camada 4	10 m	60 Ωm

$$d_{eq} = 1 + 6 + 1 = 8 \text{ m}$$

$$\rho_{eq} = \frac{1 + 6 + 1}{\frac{1}{200} + \dots + \frac{1}{65}} = 180,2 \text{ Ωm}$$

$$\beta = \frac{\rho_{n+1}}{\rho_{eq}} = \frac{60}{180,2} = 0,333$$



Projeto de Hastes em Quadrado Cheio

$$\Rightarrow L = 3 \text{ m}$$

$$\Rightarrow \phi = 19 \text{ mm} \quad r = L \cdot \sqrt{2} = 22,6 \text{ m}$$

$$\Rightarrow n = 9$$

$$\Rightarrow e = 4 \text{ m} \quad \alpha = \frac{r}{d_{eq}} = 2,828$$

$$\rho_a = N \cdot \rho_{eq} = 138,6 \text{ Ωm}$$

$$R_{1haste} = \frac{\rho_a}{2\pi L} \ln\left(\frac{4L}{\phi}\right) = 47,43 \text{ Ω}$$

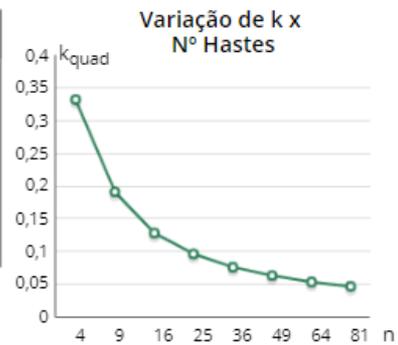
$$\Rightarrow \delta = \frac{L/e}{\ln\left(\frac{8L}{\phi}\right) - 1} = 0,1221$$

$$\Rightarrow \Psi = 5,8971$$

$$\Rightarrow k_{quad} = \frac{1 + \delta\Psi}{n} = 19,11\%$$

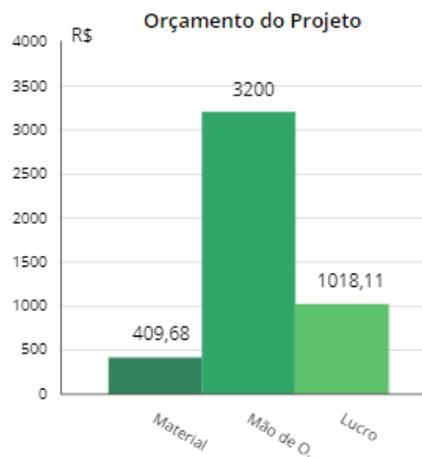
$$R_{quad} = R_{1haste} \cdot k_{quad} = 9,07 \text{ Ω}$$

n	Ψ
4	2,7071
9	5,8971
16	8,5545
25	11,4371
36	14,065
49	16,8933
64	19,5003
81	22,3069



Orçamento

Caixa de inspeção R\$ 15,54	Qtd: 9x
Haste 3m/19mm R\$ 17,15	Qtd: 9x
Conector cabo haste R\$ 7,85	Qtd: 9x
Conector eletroduto R\$ 4,98	Qtd: 9x
Mão de Obra R\$ 3.200,00	Qtd: 1x
Taxa de Execução R\$ 1.018,11	Qtd: 1x
Total: R\$ 4.627,79	



Material: 8,9%

Mão de Obra: 69,1%

Lucro: 22%

[Voltar](#)

Fonte: Autor, 2021.

Figura 67 - Relatório com haste em anel



Solo

[Imprimir](#)

Camada	Tamanho	Resistividade
Camada 1	1 m	300 Ωm
Camada 2	6 m	500 Ωm
Camada 3	1 m	200 Ωm
Camada 4	10 m	100 Ωm

$$d_{eq} = 1 + 6 + 1 = 8 \text{ m}$$

$$\rho_{eq} = \frac{1 + 6 + 1}{\frac{1}{300} + \dots + \frac{1}{200}} = 393,4 \text{ Ωm}$$

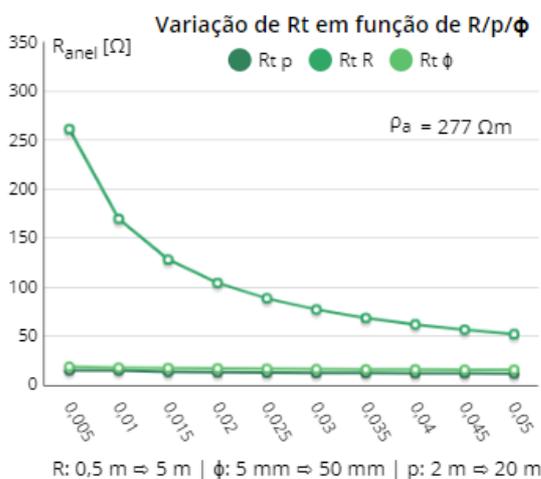
$$\beta = \frac{\rho_{n+1}}{\rho_{eq}} = \frac{100}{393,4} = 0,254$$



Projeto de Haste em Anel

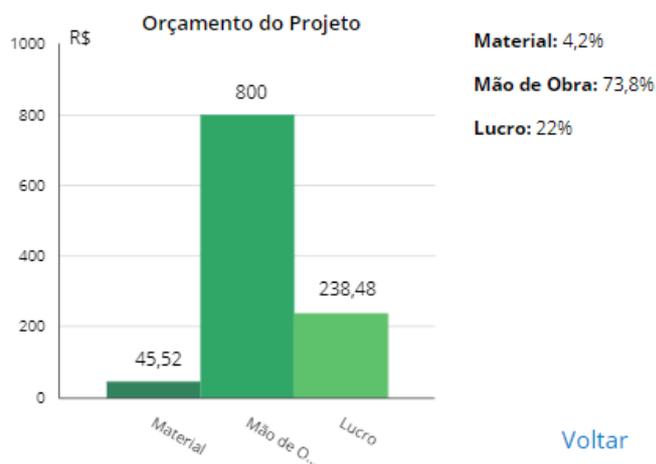
$$\begin{aligned} \Rightarrow R &= 20 \text{ m} & r &= \pi * R = 31,4 \text{ m} \\ \Rightarrow \phi &= 19 \text{ mm} & \alpha &= \frac{r}{d_{eq}} = 3,927 \\ \Rightarrow p &= 0,5 \text{ m} & \rho_a &= N * \rho_{eq} = 277 \text{ Ωm} \end{aligned}$$

$$R_{anel} = \frac{\rho_a}{\pi^2 * R} \ln\left(\frac{4R^2}{\phi * p}\right) = 16,89 \text{ Ω}$$



Orçamento

Caixa de inspeção R\$ 15,54	Qtd: 1x
Haste 1m/19mm R\$ 17,15	Qtd: 1x
Conector cabo haste R\$ 7,85	Qtd: 1x
Conector eletroduto R\$ 4,98	Qtd: 1x
Mão de Obra R\$ 800,00	Qtd: 1x
Taxa de Execução R\$ 238,48	Qtd: 1x
Total: R\$ 1.084,00	


[Voltar](#)

Fonte: Autor, 2021.

Figura 68 - Relatório com haste horizontal



Solo

[Imprimir](#)

Camada	Tamanho	Resistividade
Camada 1	1 m	300 Ωm
Camada 2	6 m	500 Ωm
Camada 3	1 m	200 Ωm
Camada 4	10 m	100 Ωm

$$d_{eq} = 1 + 6 + 1 = 8 \text{ m}$$

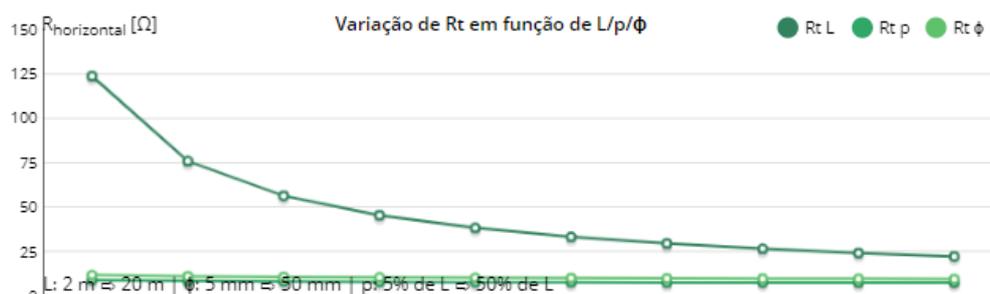
$$\rho_{eq} = \frac{1 + 6 + 1}{\frac{1}{300} + \dots + \frac{1}{200}} = 393,4 \text{ Ωm}$$

$$\beta = \frac{\rho_{n+1}}{\rho_{eq}} = \frac{100}{393,4} = 0,254$$

Projeto de Haste Horizontal

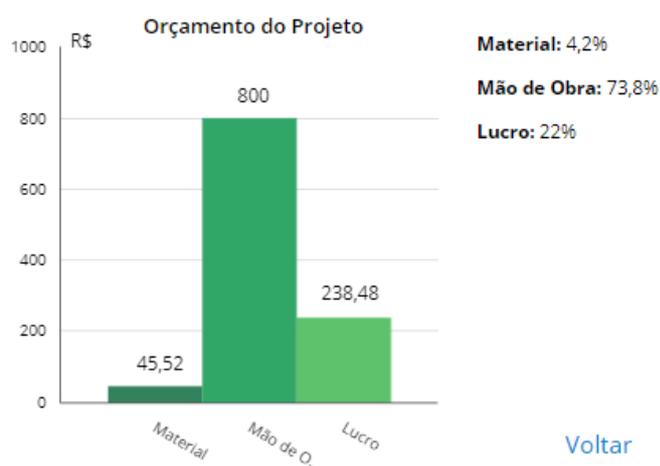
- ⇒ L = 50 m
- ⇒ $\phi = 19 \text{ mm}$
- ⇒ p = 0,5 m
- ⇒ $\rho_a = 300 \text{ Ωm}$

$$R_{horizontal} = \frac{\rho_a}{2\pi L} \left[\ln\left(\frac{2L^2}{\phi * p}\right) \cdot 2 + \frac{2p}{L} \cdot \left(\frac{p}{L}\right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{p}{L}\right)^4 \right] = 10,69 \text{ Ω}$$



Orçamento

Caixa de inspeção R\$ 15,54	Qtd: 1x
Haste 50m/19mm R\$ 17,15	Qtd: 1x
Conector cabo haste R\$ 7,85	Qtd: 1x
Conector eletroduto R\$ 4,98	Qtd: 1x
Mão de Obra R\$ 800,00	Qtd: 1x
Taxa de Execução R\$ 238,48	Qtd: 1x
Total: R\$ 1.084,00	


[Voltar](#)

Fonte: Autor, 2021.

Figura 69 - Relatório com haste horizontal reto



Solo

[Imprimir](#)

Camada	Tamanho	Resistividade
Camada 1	1 m	300 Ωm
Camada 2	6 m	500 Ωm
Camada 3	1 m	200 Ωm
Camada 4	10 m	100 Ωm

$$d_{eq} = 1 + 6 + 1 = 8 \text{ m}$$

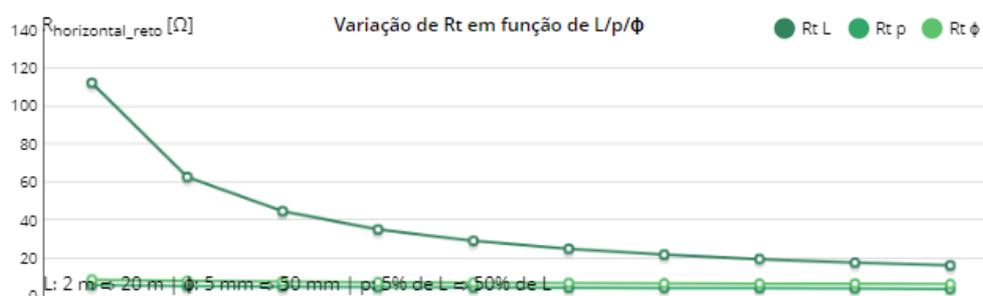
$$\rho_{eq} = \frac{1 + 6 + 1}{\frac{1}{300} + \dots + \frac{1}{200}} = 393,4 \text{ Ωm}$$

$$\beta = \frac{\rho_{n+1}}{\rho_{eq}} = \frac{100}{393,4} = 0,254$$

Projeto de Haste Horizontal Reto

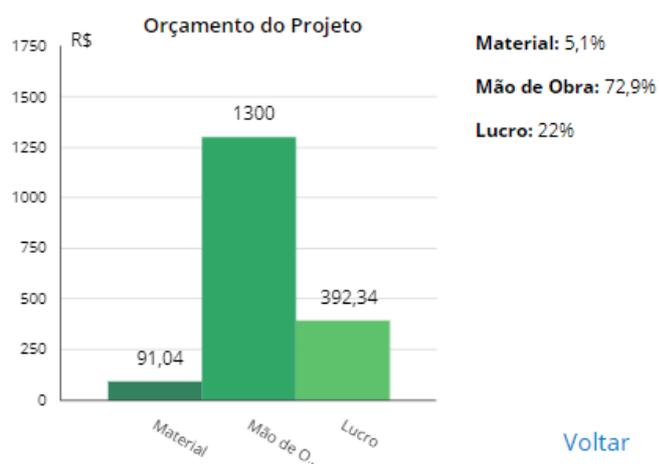
- ⇒ L = 50 m
- ⇒ φ = 19 mm
- ⇒ p = 0,5 m
- ⇒ ρ_a = 300 Ωm

$$R_{horizontal_reto} = \frac{\rho_a}{2\pi L} \left[\ln\left(\frac{L}{2\phi p}\right) - 0,2373 + 0,8584 \frac{p}{L} + 1,656 \left(\frac{p}{L}\right)^2 - 10,85 \left(\frac{p}{L}\right)^4 \right] = 11,04 \text{ Ω}$$



Orçamento

Caixa de inspeção R\$ 15,54	Qtd: 2x
Haste 50m/19mm R\$ 17,15	Qtd: 2x
Conector cabo haste R\$ 7,85	Qtd: 2x
Conector eletroduto R\$ 4,98	Qtd: 2x
Mão de Obra R\$ 1.300,00	Qtd: 1x
Taxa de Execução R\$ 392,34	Qtd: 1x
Total: R\$ 1.783,38	


[Voltar](#)

Fonte: Autor, 2021.

Figura 70 - Relatório com hastes em estrela de 3 pontas



Solo

[Imprimir](#)

Camada	Tamanho	Resistividade
Camada 1	1 m	300 Ωm
Camada 2	6 m	500 Ωm
Camada 3	1 m	200 Ωm
Camada 4	10 m	100 Ωm

$$d_{eq} = 1 + 6 + 1 = 8 \text{ m}$$

$$\rho_{eq} = \frac{1 + 6 + 1}{\frac{1}{300} + \dots + \frac{1}{200}} = 393,4 \text{ Ωm}$$

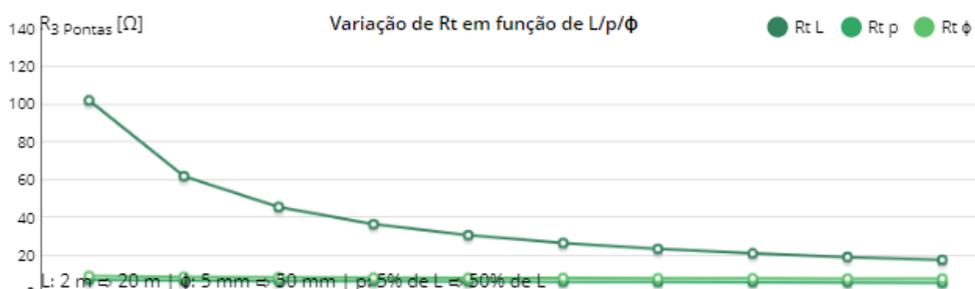
$$\beta = \frac{\rho_{n+1}}{\rho_{eq}} = \frac{100}{393,4} = 0,254$$



Projeto de Estrela de 3 Pontas

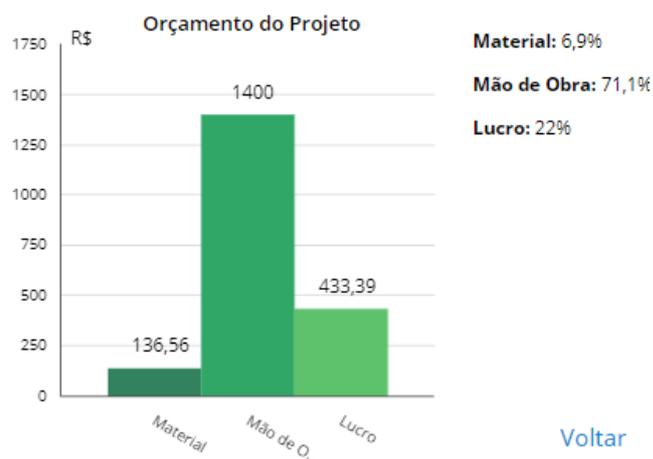
- ⇒ L = 50 m
- ⇒ $\phi = 19 \text{ mm}$
- ⇒ p = 0,5 m
- ⇒ $\rho_a = 300 \text{ Ωm}$

$$R_{Estrela3Pontas} = \frac{\rho_a}{3\pi L} \left[\ln\left(\frac{L^2}{2\phi p}\right) + 1,077 - 0,836 \frac{p}{L} + 3,808 \left(\frac{p}{L}\right)^2 - 13,824 \left(\frac{p}{L}\right)^4 \right] = 8,18 \text{ Ω}$$



Orçamento

Caixa de inspeção R\$ 15,54	Qtd: 3x
Haste 50m/19mm R\$ 17,15	Qtd: 3x
Conector cabo haste R\$ 7,85	Qtd: 3x
Conector eletroduto R\$ 4,98	Qtd: 3x
Mão de Obra R\$ 1.400,00	Qtd: 1x
Taxa de Execução R\$ 433,39	Qtd: 1x
Total: R\$ 1.969,95	


[Voltar](#)

Fonte: Autor, 2021.

Figura 71 - Relatório com haste em estrela de 4 pontas



Solo

[Imprimir](#)

Camada	Tamanho	Resistividade
Camada 1	1 m	300 Ωm
Camada 2	6 m	500 Ωm
Camada 3	1 m	200 Ωm
Camada 4	10 m	100 Ωm

$$d_{eq} = 1 + 6 + 1 = 8 \text{ m}$$

$$\rho_{eq} = \frac{1 + 6 + 1}{\frac{1}{300} + \dots + \frac{1}{200}} = 393,4 \text{ Ωm}$$

$$\beta = \frac{\rho_{n+1}}{\rho_{eq}} = \frac{100}{393,4} = 0,254$$



Projeto de Estrela de 4 Pontas

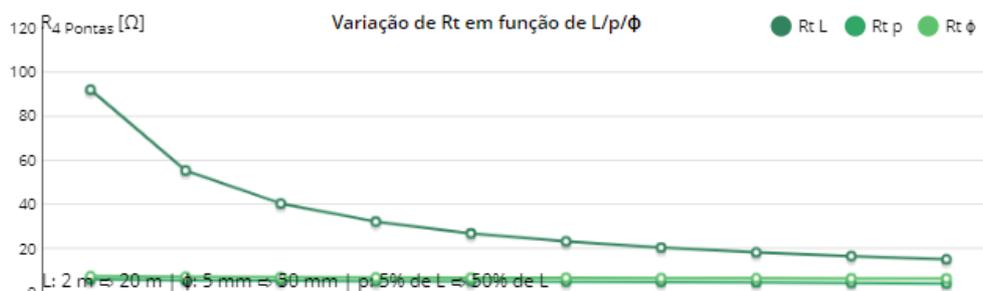
$$\Rightarrow L = 50 \text{ m}$$

$$\Rightarrow \phi = 19 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow p = 0,5 \text{ m}$$

$$\Rightarrow \rho_a = 300 \text{ Ωm}$$

$$R_{\text{Estrela4Pontas}} = \frac{\rho_a}{4\pi L} \left[\ln\left(\frac{L^2}{2\phi p}\right) + 2,912 - 4,284 \frac{p}{L} + 10,32 \left(\frac{p}{L}\right)^2 - 37,12 \left(\frac{p}{L}\right)^4 \right] = 7 \text{ Ω}$$

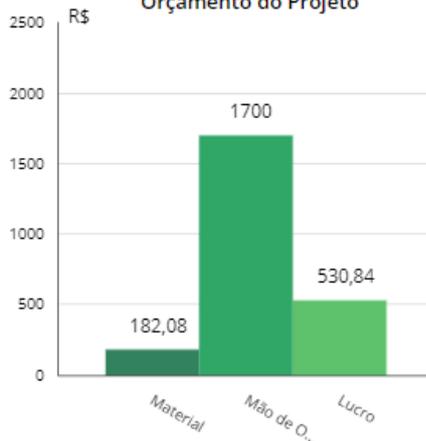


Orçamento

Caixa de inspeção R\$ 15,54	Qtd: 4x
Haste 50m/19mm R\$ 17,15	Qtd: 4x
Conector cabo haste R\$ 7,85	Qtd: 4x
Conector eletroduto R\$ 4,98	Qtd: 4x
Mão de Obra R\$ 1.700,00	Qtd: 1x
Taxa de Execução R\$ 530,84	Qtd: 1x

Total: R\$ 2.412,92

Orçamento do Projeto



Material: 7,5%

Mão de Obra: 70,5%

Lucro: 22%

[Voltar](#)

Fonte: Autor, 2021.

Figura 72 - Relatório com hastes em estrela de 6 pontas



Solo

[Imprimir](#)

Camada	Tamanho	Resistividade
Camada 1	1 m	300 Ωm
Camada 2	6 m	500 Ωm
Camada 3	1 m	200 Ωm
Camada 4	10 m	100 Ωm

$$d_{eq} = 1 + 6 + 1 = 8 \text{ m}$$

$$\rho_{eq} = \frac{1 + 6 + 1}{\frac{1}{300} + \dots + \frac{1}{200}} = 393,4 \text{ Ωm}$$

$$\beta = \frac{\rho_{n+1}}{\rho_{eq}} = \frac{100}{393,4} = 0,254$$



Projeto de Estrela de 6 Pontas

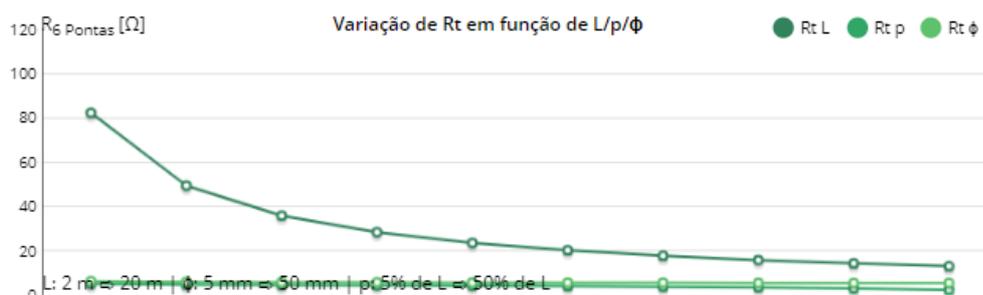
$$\Rightarrow L = 50 \text{ m}$$

$$\Rightarrow \phi = 19 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow p = 0,5 \text{ m}$$

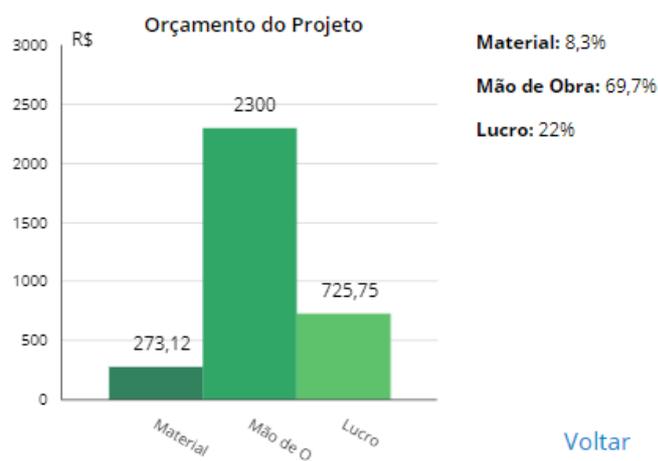
$$\Rightarrow \rho_a = 300 \text{ Ωm}$$

$$R_{Estrela6Pontas} = \frac{\rho_a}{6\pi L} \left[\ln\left(\frac{L^2}{2\phi p}\right) + 6,851 - 12,512 \frac{p}{L} + 28,128 \left(\frac{p}{L}\right)^2 - 125,4 \left(\frac{p}{L}\right)^4 \right] = 5,89 \text{ Ω}$$



Orçamento

Caixa de inspeção R\$ 15,54	Qtd: 6x
Haste 50m/19mm R\$ 17,15	Qtd: 6x
Conector cabo haste R\$ 7,85	Qtd: 6x
Conector eletroduto R\$ 4,98	Qtd: 6x
Mão de Obra R\$ 2.300,00	Qtd: 1x
Taxa de Execução R\$ 725,75	Qtd: 1x
Total: R\$ 3.298,87	


[Voltar](#)

Fonte: Autor, 2021.

Figura 73 - Relatório com hastes em estrela de 8 pontas



Solo

[Imprimir](#)

Camada	Tamanho	Resistividade
Camada 1	1 m	300 Ωm
Camada 2	6 m	500 Ωm
Camada 3	1 m	200 Ωm
Camada 4	10 m	100 Ωm

$$d_{eq} = 1 + 6 + 1 = 8 \text{ m}$$

$$\rho_{eq} = \frac{1 + 6 + 1}{\frac{1}{300} + \dots + \frac{1}{200}} = 393,4 \text{ Ωm}$$

$$\beta = \frac{\rho_{n+1}}{\rho_{eq}} = \frac{100}{393,4} = 0,254$$



Projeto de Estrela de 8 Pontas

$$\Rightarrow L = 50 \text{ m}$$

$$\Rightarrow \phi = 19 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow p = 0,5 \text{ m}$$

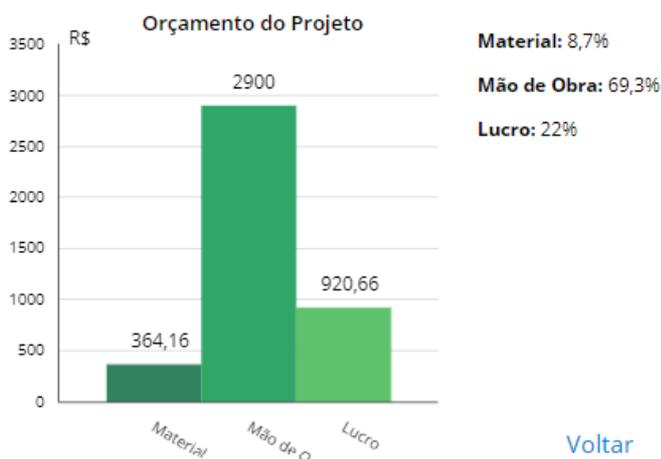
$$\Rightarrow \rho_a = 300 \text{ Ωm}$$

$$R_{Estrela8Pontas} = \frac{\rho_a}{8\pi L} \left[\ln\left(\frac{L^2}{2\phi p}\right) + 10,98 - 22,04 \frac{p}{L} + 52,16\left(\frac{p}{L}\right)^2 - 299,52\left(\frac{p}{L}\right)^4 \right] = 5,38 \text{ Ω}$$



Orçamento

Caixa de inspeção R\$ 15,54	Qtd: 8x
Haste 50m/19mm R\$ 17,15	Qtd: 8x
Conector cabo haste R\$ 7,85	Qtd: 8x
Conector eletroduto R\$ 4,98	Qtd: 8x
Mão de Obra R\$ 2.900,00	Qtd: 1x
Taxa de Execução R\$ 920,66	Qtd: 1x
Total: R\$ 4.184,82	



[Voltar](#)

Fonte: Autor, 2021.

10. CONCLUSÃO

É possível observar um alinhamento teórico dos resultados obtidos com o aplicativo, com os algoritmos de cálculo demonstrados neste trabalho, para diversas configurações de aterramento. O mesmo é visto com relação ao orçamento do projeto, onde, estabelecidas as premissas de cálculo, é possível ter uma estimativa primária do orçamento do mesmo.

Em termos de experiência do usuário e gestão de dados, o aplicativo apresenta um ótimo desempenho, tendo uma forma de uso simplificada e estética agradável, além de registrar com sucesso todos os projetos e informações pertinentes em uma plataforma segura e confiável.

Por fim, conclui-se que o aplicativo possui desempenho satisfatório em seu objetivo de orientar quanto aos cálculos teóricos de projetos de aterramentos de baixa tensão, assim como realizar uma estimativa primária de custo. É importante ressaltar que para o uso eficiente e seguro do aplicativo, o usuário deve seguir todas as normas da ABNT e já possuir algum conhecimento prévio sobre aterramentos. Além disso, vale dizer que, quanto ao orçamento dos projetos, o software pode ser adaptado para que as premissas melhor se encaixem na realidade de cada empresa ou profissional autônomo, destacando neste projeto, o uso da metodologia da infraestrutura criada.

Neste trabalho fora, primeiramente, aprofundado o aspecto teórico sobre projetos de aterramentos elétricos e, posteriormente, introduzida a plataforma utilizada para a construção do aplicativo e apresentado o software criado. Acredita-se assim que este trabalho tenha se provado útil, seja como auxílio teórico sobre o tema abordado, como introdução à uma plataforma gratuita de desenvolvimento de aplicações e até com uma ferramenta que pode auxiliar na elaboração de projetos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5410/ 2004**: instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7117/ 2012**: Medição de resistividade do solo pelo método de Wenner. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIOS. **NFPA 70**: código elétrico nacional. Estados Unidos: NFPA, 2020.

DELCAFLEX DISTRIBUIDORA DE MATERIAIS ELÉTRICOS E CONSTRUÇÃO. **Conectores para eletrodutos**. Disponível em: <http://www.delcaflex.com.br/conectores-para-eletrodutos>. Acesso em: 26 out. 2021.

ELETROTRAFO. **Homepage**. São Paulo: Grupo Comtrafo, [2021]. Disponível em: <https://www.eleetrotrafo.com.br/>. Acesso em: 18 ago. 2021.

ENGENHEIROS ASSOCIADOS. **Generalidades sobre aterramento de sistemas elétricos**. São Paulo: Engenheiros associados, [2021]. Disponível em: <https://www.engenheirosassociados.com.br/generalidades-sobre-aterramento-de-sistemas-eletricos-2/>. Acesso em: 8 set. 2021.

GENESINI. **Gel betonita para aterramento**. São Paulo: Genesini, [2021]. Disponível em: <http://genesinidistribuidora.com.br/produtos/gel-betonita-para-aterramento/>. Acesso em: 26 out. 2021.

GENNARI, R. **Malha de aterramento de subestações**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual Paulista, Campus de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/156922/000905823.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 8 jul. 2021.

GOMES, R. S. **Ambiente de desenvolvimento *low-code***: estudo de caso da utilização da ferramenta *Microsoft Power Apps* na empresa Ferrovia Tereza Cristina para o desenvolvimento de soluções. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência da Computação) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2021.

KINDERMANN, G. **Choque elétrico**. 3. ed. Porto Alegre: Edição do autor, 2005.

KINDERMANN, G. **Curto-circuito**. 5. ed. Florianópolis: Edição do autor, 2010.

KINDERMANN, G. **Proteção de sistemas elétricos de potência**. 3. ed. Florianópolis: Edição do autor, 2011. v. 1.

LIMA, H. M. **Desenvolvimento de software para sistemas de aterramento elétrico para baixas tensões**. 2006. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2006.

LUBIAN, M. **Sistema de aterramento elétrico, estudo de caso**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Centro Universitário UNIFACVEST, Lages, 2018.

MERCADO LIVRE. **Caixa de inspeção de aterramento**. São Paulo: Mercado Livre, [2021]. Disponível em: [https://www.lista.mercadolivre.com.br/caixa-de-inspe%C3%A7%C3%A3o-aterramento#D\[A:caixa%20de%20inspe%C3%A7%C3%A3o%20aterramento\]](https://www.lista.mercadolivre.com.br/caixa-de-inspe%C3%A7%C3%A3o-aterramento#D[A:caixa%20de%20inspe%C3%A7%C3%A3o%20aterramento]). Acesso em: 18 ago. 2021.

MERKASHOP. **Conector genérico**. São Paulo: Merkashop, [2021]. Disponível em: <https://www.merkashop.com.br/materiais-eletricos/conector-generico/>. Acesso em: 18 ago. 2021.

MICROSOFT. **O que é o Power Apps?**. São Paulo: Microsoft, [2021]. Disponível em: <https://docs.microsoft.com/pt-br/powerapps/powerapps-overview>. Acesso em: 27 out. 2021.

MOREIRA, A. H. **Uso do *Design Thinking* para apoiar o desenvolvimento de um aplicativo no processo de esmagamento de soja**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba, 2021.

SILVA, M. M. F. **Eventar**: ferramenta colaborativa para gestão de eventos. 2018. 112 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Sistemas de Informação) – Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2018.

SOUZA JÚNIOR, E. S. **Simulação em ambiente computacional do método de Wenner e obtenção da resistência de um sistema de aterramento usando FDTD**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

PIMENTA, C. M. A. **Avaliação da influência da resistividade elétrica do solo e de tipos de envelopamento no sistema de aterramento elétrico de subestações**. 2017. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) – Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2017. Disponível em: <http://tede.bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br:8080/jspui/bitstream/tede/1011/2/CAMILA%20MADEIROS%20ALCANTARA%20PIMENTA.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2021.

PINHEIRO, T. F. L. **Sistemas de aterramento em baixa tensão**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/9444/1/monopoli10006066.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2021.

PORPINO, J. C. P. **Aterramento elétrico**: esquemas de aterramento convencionais e para equipamentos eletrônicos. 2002. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal da Paraíba, Sumé, 2002.

SANTIL. **Hastes**. Disponível em: <https://www.santil.com.br/>. Acesso em: 18 ago. 2021.

SANTOS, C. E. C. **Revisão de aterramento para instalações prediais**. 2018. Trabalho de

Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em:

<http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10026282.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2021.

SÉRVULO, V. H. P. **Estudo da implantação de projeto de SPDA em edifício finalizado segundo a nova NBR 5419:2015**. 2016. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Instituto Tecnológico da Caratinga DOCTUM, Caratinga, 2016.

SHAREPOINT. **Projetos de aterramentos elétricos**. São Paulo: Sharepoint, [2021].

Disponível em: <https://reitoriaunespbr.sharepoint.com/sites/ProjetosdeAterramentosEltricos>.

Acesso em 09 ago. 2021.

YOUTUBE. **Passo a passo pini aterramento elétrico**. São Paulo: Youtube, [2011].

Disponível em:

https://www.youtube.com/watch?v=ogOaYdpygmc&t=83s&ab_channel=ViniciusMota.

Acesso em: 25 out. 2021.