

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO
CAMPUS TRINDADE
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**GEOVANE PEREIRA DA SILVA FILHO
PEDRO AUGUSTO BEZERRA E SILVA
SYMON SOUZA SANTOS**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE COM INTERFACE GRÁFICA PARA
AUXÍLIO EM DIMENSIONAMENTOS DE CIRCUITOS DE BAIXA TENSÃO
CONFORME NBR 5410:2008**

**TRINDADE
2024**

**GEOVANE PEREIRA DA SILVA FILHO
PEDRO AUGUSTO BEZERRA E SILVA
SYMÓN SOUZA SANTOS**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE COM INTERFACE GRÁFICA PARA
AUXÍLIO EM DIMENSIONAMENTOS DE CIRCUITOS DE BAIXA TENSÃO
CONFORME NBR 5410:2008**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para conclusão do curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Câmpus Trindade.

Orientador(a): Prof. Dra. Priscilla Araújo
Juá Stecanella

**TRINDADE
2024**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas (SIBI) – Instituto Federal Goiano

S586d

Silva Filho, Geovane Pereira da.

Desenvolvimento de um software com interface gráfica para auxílio em dimensionamentos de circuitos de baixa tensão conforme NBR 5410:2008 [manuscrito] / Geovane Pereira da Silva Filho; Pedro Augusto Bezerra e Silva; Symon Souza Santos. – Trindade, GO: IF Goiano, 2024.

82 fls. : il.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Priscilla Araújo Juá Stecanella.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica)
– Instituto Federal Goiano, Campus Trindade, 2024.

1. Dimensionamento de cabos. 2. Condutores de baixa tensão.
3. Software de dimensionamento. II. Silva, Pedro Augusto Bezerra e.
III. Santos, Symon Souza. IV. Stecanella, Priscilla Araújo Juá. V. Título. VI.
Instituto Federal Goiano.

CDU 004.41:621.3(81)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 90/2024 - CE-TRI/GE-TRI/CMPTRI/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos 11 dias do mês de dezembro de 2024, às 19 horas, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Priscilla Araújo Juá Stecanella (orientadora), Renato de Sousa Gomide (membro) e Rodrigo Rodrigues da Cunha Paiva (membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado “DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE COM INTERFACE GRÁFICA PARA AUXÍLIO EM DIMENSIONAMENTOS DE CIRCUITOS DE BAIXA TENSÃO CONFORME NBR 5410:2008” do estudante Geovane Pereira da Silva Filho, Matrícula nº 2019108202640044, do estudante Pedro Augusto Bezerra e Silva, Matrícula nº 2020108202640317 e do estudante Symon Souza Santos, Matrícula nº 2018108202640260 do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do IF Goiano – Campus Trindade. A palavra foi concedida aos estudantes para a apresentação oral do TC, houve arguição dos candidatos pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO dos estudantes. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

Priscilla Araújo Juá Stecanella

Orientadora

(Assinado Eletronicamente)

Renato de Sousa Gomide

Membro

(Assinado Eletronicamente)

Rodrigo Rodrigues da Cunha Paiva

Membro

Documento assinado eletronicamente por:

- Priscilla Araujo Jua Stecanella, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 11/12/2024 20:26:40.
- Renato de Sousa Gomide, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 11/12/2024 20:28:37.
- Rodrigo Rodrigues da Cunha Paiva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 11/12/2024 20:28:44.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 10/12/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 660623

Código de Autenticação: 368e67d9c0



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Trindade
Av. Wilton Monteiro da Rocha, S/N, Setor Cristina II, TRINDADE / GO, CEP 75389-269
(62) 3506-8000

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO

PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS

NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Geovane Pereira da Silva Filho; Pedro Augusto Bezerra e Silva; Symon Souza Santos

Matrícula: 2019108202640044

2020108202640317

2018108202640260

Título do trabalho:

Desenvolvimento de um software com interface gráfica para auxílio em dimensionamentos de circuitos de baixa tensão conforme NBR 5410:2008

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 16 / 12 / 2024

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Trindade

Local

16 / 12 / 2024

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

RESUMO

As instalações elétricas estão intimamente ligadas à construção civil, sendo esta uma área que tem se desenvolvido significativamente no Brasil, contribuindo para a geração de renda e emprego. Um dos principais elementos de uma instalação elétrica são os condutores, devendo estes estarem corretamente dimensionados conforme normas vigentes, como a ABNT NBR 5410 e ABNT NBR 11301, assim, evitando ocorrências de acidentes devido ao mal dimensionamento. *Softwares* comumente são utilizados para auxiliar na etapa de dimensionamento elétrico, trazendo agilidade e confiabilidade para o projeto a ser executado. Nesse sentido, este trabalho propõe o desenvolvimento de um *software* capaz de realizar o dimensionamento de cabos elétricos de baixa tensão (BT) em acordo com a NBR 5410 e NBR 11301, nomeado de DCBT (Dimensionador de Cabos de Baixa Tensão). O DCBT é construído com o Electron JS, um *framework* de código aberto baseado em *Web* e utilizado para o desenvolvimento de aplicativos para computador. O *software* desenvolvido possui interface gráfica, é capaz de gerar relatórios de dimensionamento, exibindo as equações e tabelas pertinentes ao cálculo. E ainda é capaz de salvar os circuitos dimensionados para a consulta posterior, separando-os por projeto criado dentro da ferramenta. Ao fim deste trabalho, o DCBT mostrou ser uma ferramenta capaz de dimensionar cabos com precisão e valores condizentes com os obtidos quando o dimensionamento é realizado de forma manual.

Palavras-chave: Dimensionamento de cabos, Condutores de baixa tensão, *Software* de dimensionamento.

ABSTRACT

Electrical installations are closely linked to civil construction, an area that has developed significantly in Brazil, contributing to the generation of income and employment. One of the main elements of an electrical installation are the conductors, which must be correctly sized according to current standards, such as ABNT NBR 5410 and ABNT NBR 11301, thus avoiding accidents due to incorrect sizing. Software is commonly used to assist in the electrical sizing stage, bringing agility and reliability to the project to be executed. In this sense, this work proposes the development of software capable of sizing low voltage (LV) electrical cables in accordance with NBR 5410 and NBR 11301, named DCBT (Dimensionador de cabos de baixa tensão). DCBT is built with Electron JS, an open-source web-based framework used for the development of computer applications. The software developed has a graphical interface and is capable of generating dimensioning reports, displaying the equations and tables relevant to the calculation. It is also capable of saving the dimensioned circuits for later consultation, separating them by project created within the tool. At the end of this work, DCBT proved to be a tool capable of dimensioning cables accurately and with values consistent with those obtained when dimensioning is performed manually.

Keywords: Cable sizing, low voltage conductors, sizing software.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1.	OBJETIVOS	16
1.1.1.	Objetivo Geral	16
1.1.2.	Objetivos Específicos.....	16
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1.	DIMENSIONAMENTO DE CIRCUITOS	17
2.1.1.	Seção nominal mínima do condutor.....	17
2.1.2.	Capacidade de condução de corrente do cabo	18
2.1.3.	Queda de Tensão.....	22
2.2.	CORRENTE NOMINAL.....	25
2.3.	PROGRAMAÇÃO E FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO	26
2.3.1.	HTML	27
2.3.2.	CSS	28
2.3.3.	Node.js e JavaScript.....	28
2.3.4.	Electron JS.....	28
2.3.5.	Ambiente de desenvolvimento integrado (IDE).....	29
2.3.6.	Git e Github.....	29
2.4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
3.	METODOLOGIA.....	30
3.1.	ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO	30
3.2.	PROGRAMAS E LINGUAGENS UTILIZADAS	31
3.3.	ESTRUTURAÇÃO DO DCBT	32
3.4.	LÓGICA PARA DIMENSIONAMENTO DOS CABOS.....	33
3.5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
4.	RESULTADOS	36
4.1.	APRESENTAÇÃO DAS INTERFACES DO DCBT	36
4.1.1.	Tela de início	36
4.1.2.	Tela de visualização de projeto	37
4.1.3.	Formulário de entrada de dados para o dimensionamento de circuito	38
4.1.4.	Relatório de dimensionamento	41
4.1.5.	Lista de projetos.....	42
4.2.	VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS DE DIMENSIONAMENTO	43

4.2.1.	Validação de resultados: Circuito 1	43
4.2.2.	Validação de resultados: Circuito 2	47
4.2.3.	Validação de resultados: Circuito 3	50
4.3.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
5.	CONCLUSÃO	55

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO DO CIRCUITO 1.....	58
APÊNDICE B – RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO DO CIRCUITO 2	61
APÊNDICE C – RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO DO CIRCUITO 3.....	64

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A – SEÇÃO NOMINAL MÍNIMA DO CONDUTOR	67
ANEXO B – MÉTODOS DE INSTALAÇÃO	68
ANEXO C – CAPACIDADE DE CONDUÇÃO DE CORRENTE	74
ANEXO D – TEMPERATURA E RESISTIVIDADE TÉRMICA DO SOLO	79
ANEXO E – AGRUPAMENTO DE CONDUTORES.....	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Etapas de desenvolvimento	30
Figura 3.2 – Esquemático do programa	32
Figura 3.3 – Fluxograma de sequência lógica para dimensionar cabos.....	34
Figura 4.1 – Tela inicial do aplicativo	37
Figura 4.2 – Tela de visualização de projeto.	38
Figura 4.3 – Formulário pré-dimensionamento.....	40
Figura 4.4 – Tela de apresentação do relatório de dimensionamento	41
Figura 4.5 – Tela de visualização de projeto (com circuito adicionado).....	42
Figura 4.6 – Tela de listagem dos projetos	43
Figura 4.7 – Formulário – Circuito de validação 1	44
Figura 4.8 – Tabela resumo gerada pelo DCBT para o circuito de validação 1	45
Figura 4.9 – Formulário – Circuito de validação 2	48
Figura 4.10 – Tabela resumo gerada pelo DCBT para o circuito de validação 2	49
Figura 4.11 – Formulário – Circuito de validação 3.	51
Figura 4.12 – Tabela resumo gerada pelo DCBT para o circuito de validação 3	52
Figura A.1 – Tabela 47 da NBR 5410	67
Figura B.1 – Tabela 33 da norma ABNT NBR 5410:2008.....	68
Figura B.2– Continuação da tabela 33 da norma ABNT NBR 5410:2008	69
Figura B.3 – Continuação da tabela 33 da norma ABNT NBR 5410:2008	70
Figura B.4– Continuação da tabela 33 da norma ABNT NBR 5410:2008	71
Figura B.5 – Continuação da tabela 33 da norma ABNT NBR 5410:2008	72
Figura B.6– Continuação da tabela 33 da norma ABNT NBR 5410:2008	73
Figura C.1 – Tabela 36 da norma ABNT NBR 5410:2008	74
Figura C.2 – Tabela 37 da norma ABNT NBR 5410:2008	75
Figura C.3 – Tabela 38 da norma ABNT NBR 5410:2008	76
Figura C.4 – Tabela 38 e 39 da norma ABNT NBR 5410:2008	77
Figura C.5 – Tabela 39 da norma ABNT NBR 5410:2008	78
Figura D.1 – Tabela 40 da norma ABNT NBR 5410:2008	79
Figura D.2 – Tabela 41 da norma ABNT NBR 5410:2008	79
Figura E.1 – Tabela 42 da norma ABNT NBR 5410:2008.....	80
Figura E.2 – Tabela 43 e 44 da norma ABNT NBR 5410:2008.....	81
Figura E.3 – Tabela 45 da norma ABNT NBR 5410:2008.....	82

LISTA DE SIGLAS

A – Ampere

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

α – Coeficiente de temperatura do material condutor

BT – Baixa Tensão

CSS – Cascading Style Sheets

CC_0 – Capacidade de condução de corrente inicial

CC – Capacidade de condução de corrente

d_c – Diâmetro do condutor

DCBT – Dimensionador de Cabos de Baixa Tensão

$\Delta V\%$ – Queda de tensão por fase

EPR – Borracha etileno-propileno

FTt – Fator de correção por temperatura

$FTrt$ – Fator de correção por resistividade térmica do solo

FT_{agc} – Fator de correção por agrupamento de circuitos

FT_{agl} – Fator de correção por agrupamento de linhas enterradas

HTML – HyperText Markup Language

I_n – Corrente nominal no circuito

IEC – International Electrotechnical Commission

K_p – Constante para cálculo do efeito pelicular

L – Comprimento do circuito

l – Distância entre eixos dos condutores

mm^2 – Milímetros quadrados

NBR – Norma Brasileira

PVC – Policloreto de Vinil

S – Seção nominal

XLPE – Polietileno reticulado

Ω/m – Ohms por metro

Ω/km – Ohms por quilômetro

$\Omega.\text{mm}^2/\text{m}$ - Ohms milímetro quadrado por metro

$\rho_{material}$ – Resistividade do material condutor

P – Potência

R – Resistividade

R_{ca} – Resistividade do cabo para corrente alternada

R_{cc} – Resistividade do cabo para corrente contínua

$R_{(20)}$ – Resistividade para 20 °C

T – Temperatura de operação do condutor

U – Tensão

V – Volts

VA – Volt-Ampere

X_s – Argumento da função de Bessel para o efeito de proximidade

Y_s – Fator de efeito pelicular

Y_p – Fator de efeito por proximidade

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é um setor que tem crescido e se desenvolvido cada vez mais no Brasil, sendo responsável pela geração de renda, emprego e desenvolvimento (Vieira, B. A.; Nogueira, L. (2018). Um importante elemento que faz parte das construções são as instalações elétricas, sendo responsável por levar energia até os principais pontos de consumo, como iluminação, tomadas, ferramentas e equipamentos elétricos. Entretanto, as instalações elétricas também são responsáveis por ocasionar acidentes envolvendo eletricidade. Os acidentes são mais frequentes do que se imagina, e os riscos estão espalhados por toda parte, seja em manutenção de uma rede de distribuição de energia elétrica ou até mesmo em uma simples instalação residencial (MARTINHO, 2015).

Segundo o Mercado Livre de Energia Elétrica (2024), a eletricidade assume uma posição de suma importância no contexto do desenvolvimento econômico, social e na busca pela melhoria da qualidade de vida da população. A energia elétrica constitui um recurso valioso para a humanidade. No entanto, seu uso demanda cuidados específicos, dado que a inapropriada execução de suas instalações, aliada ao uso incorreto, pode resultar em danos tanto aos usuários quanto aos patrimônios. As instalações elétricas apresentam um elevado índice de acidentes decorrentes, principalmente, da execução por pessoas não qualificadas, da ausência de projetos corretos e da utilização inadequada. Isso acarreta riscos aos residentes da edificação a curto ou a longo prazo (MAMEDE FILHO, 2017).

Para executar um projeto elétrico é necessário um bom planejamento. Isso visa usar corretamente a eletricidade a fim de minimizar ou até mesmo excluir os riscos inerentes do seu manuseio. Pois, condutores e proteções mal dimensionados expõem as pessoas a eventuais acidentes elétricos (MENDONÇA *et al.*, 2019). Sendo assim, é notória a importância do projeto elétrico nas edificações, devendo existir a análise, a verificação e a manutenção das instalações elétricas. Vale ressaltar que cada tipo de instalação (residencial, industrial ou comercial) possui suas próprias características a fim de garantir o seu funcionamento adequado (LIMA; LAGE, 2019).

As condições mínimas dos projetos são estabelecidas por normas técnicas vigentes. A ABNT NBR 5410 estabelece critérios para instalações de Baixa Tensão (BT), sendo aplicável a qualquer edificação ou local que faça o uso de eletricidade em tensão alternada de até 1000 volts (V) (ABNT, 2008). Para desenvolver um projeto

elétrico em BT, é essencial seguir um processo estruturado que garanta segurança, eficiência e conformidade com as diretrizes das normas vigentes, como a NBR 5410 e NBR 11301 (MORAIS et al, 2023).

Um projeto elétrico bem planejado traz conforto e economia aos usuários e ao proprietário da instalação, pois evita o desperdício de material durante a execução, e a perda de equipamentos causado pela má qualidade da instalação elétrica, além de evitar acidentes (SILVA, 2021). Incêndios, queima de equipamentos elétricos e acidentes envolvendo choque elétrico podem ocorrer devido à falta de planejamento e o dimensionamento incorreto de condutores e dos equipamentos de proteção (MENDONÇA *et al.*, 2019).

O processo de projetar uma instalação elétrica para um edifício compreende, fundamentalmente, a quantificação, a identificação dos tipos e o posicionamento dos pontos de utilização de energia elétrica. Além disso, inclui o dimensionamento e a especificação do tipo de instalação, rota de eletrodutos, condutores e localização de dispositivos. O projeto de instalação elétrica tem como objetivo assegurar a transferência eficiente e segura de energia, desde sua fonte de alimentação até os pontos de consumo designados, como pontos de luz, tomadas, motores, chuveiros, entre outros. (LIMA FILHO 2001).

O tempo necessário para dimensionar projetos elétricos em BT pode variar conforme a complexidade e escopo. Normalmente, o dimensionamento elétrico envolve várias etapas, como levantamento de requisitos, seleção de equipamentos, cálculos de carga, dimensionamento de condutores e escolha de dispositivos de proteção (CRESPO; RUSCHEL, 2007.).

Softwares podem ajudar significativamente no processo de projetar instalações elétricas. Por meio de programas especializados em design elétrico, é possível criar diagramas precisos, fazer cálculos de carga, dimensionar cabos e dispositivos de proteção, além de simular o desempenho do sistema. Esses softwares geralmente possuem bibliotecas com uma ampla gama de componentes elétricos, facilitando a seleção e especificação dos materiais a serem utilizados (CRESPO; RUSCHEL, 2007).

Além disso, o uso de *softwares* para projetos elétricos proporciona maior agilidade e precisão no trabalho, permitindo a detecção de erros e incompatibilidades antes mesmos da construção física. Isso economiza tempo e recursos, evitando retrabalhos e correções durante a fase de execução da obra. A utilização de *software*

no dimensionamento de projetos auxilia a enfrentar os desafios e demandas cada vez mais complexas desse campo (COSTA, 2022).

Há *softwares* e planilhas elaboradas para realizarem cálculos de dimensionamentos elétricos. A “planilha de Cálculos Elétricos 2.0” é um exemplo de planilha, desenvolvida pela Gooru Soluções digitais, e realiza cálculos de cabos elétricos, disjuntores, queda de tensão, eletrodutos, eletrocalhas, entre outros. Porém é uma opção paga e ainda dependente do Microsoft Excel, sendo um aplicativo de terceiros que exige o licenciamento para o seu uso (GOORU, 2022).

A fabricante de cabos elétricos Prysmian Group possui um *software* para dimensionamento de cabos elétricos, sendo uma opção gratuita disponível para *smartphones*, nomeado “CableApp”. A ferramenta é capaz de dimensionar cabos em diversos métodos de instalação, além de salvar circuitos dimensionados e recomendar modelos de cabos conforme catálogo da própria fabricante. Entretanto, não gera relatórios de dimensionamentos e possui limitações quanto as características ambientes. (PRYSMIAN, 2020).

A RCM Cabos elétricos, fabricante de cabos, também criou um aplicativo de dimensionamento para apoiar na realização de instalações elétricas e tornar o trabalho dos profissionais mais prático e eficiente. Com ele, é possível realizar o dimensionamento de cabos BT. No entanto, é simplificado, possui limitações quanto a variações do tipo de instalação do circuito e características ambiente, não fornece relatórios de cálculo e é incapaz de salvar o histórico dos circuitos dimensionados (RCM, 2024).

Na área acadêmica, um trabalho foi desenvolvido na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, com o objetivo de se desenvolver um software aplicável à orçamentos de obras elétricas. O programa foi desenvolvido em C# (*C Sharp*) e possui banco de dados atualizável contendo dados de preço e materiais, onde é possível criar orçamentos de serviços elétricos de forma ágil e com maior confiabilidade (SILVERS, 2017).

Nota-se, portanto, a importância de *softwares* capazes de auxiliar em cálculos de dimensionamento de projetos elétricos em BT, que exiba detalhadamente os cálculos realizados, que seja confiável e de livre e fácil acesso.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Com base no contexto apresentado, o objetivo deste trabalho é desenvolver um *software* capaz de dimensionar cabos em projetos elétricos de baixa tensão, conforme a ABNT NBR 5410. O *software* denominado DCBT, sigla para “Dimensionador de Cabos de Baixa Tensão”, realiza cálculos e decisões automáticas a partir de dados básicos de entrada.

1.1.2. Objetivos Específicos

Desenvolver um *software* capaz de:

- Dimensionar a seção nominal de condutores conforme os dados de entrada;
- Apresentar o relatório de dimensionamento dos circuitos, com as fórmulas e tabelas utilizadas, e os cálculos efetuados;
- Salvar os dados dos circuitos dimensionados para possibilitar a consulta;
- Separar os circuitos dimensionados por projeto;
- Exibir uma interface gráfica para a apresentação de relatórios, navegação entre os circuitos dimensionados e para a coleta de dados de entrada.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta o referencial teórico que fundamenta o trabalho. Nele, serão abordados os conceitos, teorias e modelos existentes na literatura que sustentam o desenvolvimento do *software* DCBT. São discutidos os fundamentos do dimensionamento elétrico, bem como as normas e diretrizes aplicáveis, além de revisões sobre as ferramentas e técnicas empregadas na criação do *software*.

2.1. DIMENSIONAMENTO DE CIRCUITOS

Os condutores de circuitos elétricos em BT devem ser dimensionados para garantir o transporte da corrente elétrica sem superaquecer ou perder eficiência, minimizando riscos de incêndios ou falhas no sistema elétrico (MAMEDE, 2017). A norma NBR 5410:2008 (ABNT, 2008) oferece diretrizes específicas para esse dimensionamento no Brasil, assegurando conformidades com padrões de segurança e desempenho.

Para o dimensionamento dos condutores elétricos em BT, são estabelecidos os seguintes principais critérios (ABNT, 2008):

- Seção nominal mínima do condutor;
- Capacidade de condução de corrente do cabo;
- Queda de tensão máxima tolerada.

2.1.1. Seção nominal mínima do condutor

A seção mínima dos condutores elétricos é um critério fundamental para garantir tanto a segurança quanto a eficácia das instalações elétricas. De acordo com a norma NBR 5410:2008, a seção mínima é determinada não apenas pela corrente elétrica que o condutor deve suportar, mas também por aspectos como resistência mecânica, isolações e tipos de circuitos em que serão utilizados durante a instalação (ABNT, 2008).

A seção nominal mínima para os condutores, em mm², é indicado pela norma com base no tipo de material condutor e o tipo de utilização do circuito, conforme apresenta a Figura A.1 (ANEXO A).

2.1.2. Capacidade de condução de corrente do cabo

A capacidade de condução de corrente é um fator crucial no dimensionamento de instalações elétricas, pois determina a quantidade máxima de corrente elétrica que um condutor pode transportar sem se sobreaquecer. De acordo com a NBR 5410:2008 (ABNT, 2008), para selecionar a seção dos condutores deve-se considerar fatores que afetam a capacidade de condução de corrente, como:

- Método de instalação;
- Material do condutor;
- Isolamento do condutor;
- Temperatura ambiente;
- Temperatura do solo;
- Resistividade térmica do solo;
- Agrupamento de condutores.

Quando o circuito está fora desses padrões estabelecidos pela norma, torna-se necessário aplicar fatores de correções para a capacidade de condução do cabo (ABNT, 2008).

2.1.2.1. Método de instalação

O método de instalação dos condutores elétricos tem um impacto significativo na capacidade de condução de corrente, pois afeta a dissipação de calor e, conseqüentemente, a temperatura de operação dos condutores. Existem diferentes métodos de instalação previstos na NBR 5410:2008 (ABNT, 2008), que estão apresentados nas Figuras B.1 a B.6, (ANEXO B). Cada um deles apresenta características próprias que influenciam na escolha da seção dos condutores e indicam os seguintes métodos de referência descritos pela NBR 5410:

- **A1:** condutores isolados em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante;
- **A2:** cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante;

- **B1:** condutores isolados em eletroduto de seção circular sobre parede de madeira;
- **B2:** cabo multipolar em eletroduto de seção circular sobre parede de madeira;
- **C:** cabos unipolares ou cabo multipolar sobre parede de madeira;
- **D:** cabo multipolar em eletroduto enterrado no solo;
- **E:** cabo multipolar ao ar livre;
- **F:** cabos unipolares justapostos (na horizontal, na vertical ou em trifólio) ao ar livre;
- **G:** cabos unipolares espaçados ao ar livre.

Esses métodos de instalação foram indicados pela IEC 60364-5-52, onde a capacidade de condução de corrente foi determinada por ensaio ou por cálculo (ABNT, 2008).

2.1.2.2. Material e isolação dos condutores

Com o método de referência da norma, é possível obter a capacidade de condução de corrente dos condutores de acordo com o seu material (cobre ou alumínio) e a temperatura de operação contínua do condutor, sendo 70°C para condutores isolados em policloreto de vinila (PVC) e 90°C para condutores isolados em borracha etileno-propileno (EPR) ou polietileno reticulado (XLPE).

Os valores de capacidade de condução de corrente estão disponíveis nas Figuras C.1 a C.5 (ANEXO C). Elas apresentam valores a partir de algumas condições já indicadas, como a quantidade de dois ou três condutores carregados e a temperatura ambiente de referência. Quando o circuito está fora destes padrões estabelecidos, se torna necessário aplicar fatores de correção (ABNT, 2008).

2.1.2.3. Temperatura ambiente e temperatura do solo

Os valores padrões de capacidade de condução para temperatura ambiente é de 30 °C e para a temperatura do solo é de 20 °C, portanto torna-se necessário aplicar a fator de correção por temperatura caso as condições térmicas do ambiente sejam diferentes da referência apresentada (ABNT, 2008).

Os fatores de correções variam de acordo com a temperatura e o tipo de isolamento (PVC, EPR ou XLPE). Identificados por meio da Figura D.1 (ANEXO D).

A capacidade de condução corrigida do cabo é o produto entre a capacidade de condução obtida pelo método de referência e o fator de correção por temperatura adequado a condição de instalação do circuito, conforme (2.1) (ABNT NBR 11301).

$$CC = CC_0 \times FT_t \quad (2.1)$$

Sendo:

CC – Capacidade de condução de corrente corrigida, em Amperes (A);

CC_0 – Capacidade de condução de corrente inicial, em Amperes (A);

FT_t – Fator de correção por temperatura.

2.1.2.4. Resistividade térmica do solo

Os valores de capacidade de condução de corrente para circuitos subterrâneos são indicados considerando uma resistividade térmica do solo de 2,5 K.m/W, portanto, quando a resistividade térmica do local onde será instalado o circuito for diferente do informado, deverá ser aplicado o fator de correção adequado.

A Figura D.2 (ANEXO D) apresenta os fatores de correção de acordo com a resistividade térmica do solo quando diferente de 2,5 K.m/W.

A capacidade de condução corrigida do cabo será o produto entre a capacidade de condução inicial e o fator de correção por resistividade térmica adequado a condição de instalação do circuito, conforme (2.2) (ABNT NBR 11301).

$$CC = CC_0 \times FT_{rt} \quad (2.2)$$

Sendo:

CC – Capacidade de condução de corrente corrigida, em Amperes (A);

CC_0 – Capacidade de condução de corrente inicial, em Amperes (A);

FT_{rt} – Fator de correção por resistividade térmica do solo.

2.1.2.5. Agrupamento de condutores

Quando vários condutores estão agrupados em um mesmo espaço, como dentro de um eletroduto ou em uma bandeja, a dissipação de calor é reduzida devido à proximidade dos condutores, o que pode levar a um aumento da temperatura e à redução da capacidade de condução de corrente de cada condutor. Devendo ser aplicado o fator de correção por agrupamento.

Circuitos que não possuem uma corrente nominal a qual não seja superior a 30% da capacidade de condução de seus condutores podem ser desconsiderados para o cálculo do fator de correção por agrupamento. (ABNT, 2008).

Os fatores de correção por agrupamento de condutores variam de acordo com o número de circuitos ou de cabos multipolares, tipos de agrupamentos (feixe, camada única, camada múltipla, linhas enterradas), métodos de instalação (citados anteriormente na seção 2.1.2.1) e espaçamento entre os condutores e entre os eletrodutos. As Figuras E.1, E.2 e E.3 (ANEXO E) apresentam os fatores de correção aplicáveis a condutores agrupados.

A capacidade de condução corrigida do cabo será o produto entre a capacidade de condução inicial e o fator de correção por agrupamento de circuitos adequado a condição de instalação do circuito, conforme (2.3) (ABNT NBR 11301).

$$CC = CC_0 \times FT_{agc} \quad (2.3)$$

Sendo:

CC – Capacidade de condução de corrente corrigida, em Amperes (A);

CC_0 – Capacidade de condução de corrente inicial, em Amperes (A);

FT_{agc} – Fator de correção por agrupamento de circuitos.

2.1.2.6. Capacidade de condução de corrente corrigida final

A partir da aplicação dos fatores de correção citados na seção 2.1.2.3 a 2.1.2.5, reunindo as equações apresentadas, obtém-se em (2.4) a capacidade de condução corrigida para cabos em linhas subterrâneas (método de referência “D”), e em (2.5) a capacidade de condução corrigida para cabos em linhas não subterrâneas.

$$CC = CC_0 \times FT_t \times FT_{rt} \times FT_{agc} \times FT_{agl} \quad (2.4)$$

$$CC = CC_0 \times FT_t \times FT_{agc} \quad (2.5)$$

Sendo:

CC – Capacidade de condução de corrente corrigida, em Amperes (A);

CC_0 – Capacidade de condução de corrente inicial, em Amperes (A);

FT_t – Fator de correção por temperatura;

FT_{rt} – Fator de correção por resistividade térmica do solo;

FT_{agc} – Fator de correção por agrupamento de circuitos;

FT_{agl} – Fator de correção por agrupamento de linhas enterradas.

2.1.3. Queda de Tensão

A queda de tensão é um importante critério para o dimensionamento dos cabos, pois garante o fornecimento de tensão adequado para os equipamentos a serem alimentados pelo circuito. A NBR 5410 (ABNT, 2008) aponta que para circuitos terminais de alimentação, a queda de tensão não pode ultrapassar 4% em relação a tensão nominal da instalação. A queda de tensão pode ser calculada a partir da corrente e tensão nominal, comprimento do circuito e a resistividade do condutor utilizado.

2.1.3.1. Resistividade dos condutores

A resistividade dos condutores é dada pelas fabricantes dos cabos, comumente em ohm por metro (Ω/m) ou ohm por quilômetro (Ω/km). Porém, também é possível determinar a resistividade aproximada a partir de fórmulas.

De acordo com a ABNT NBR 11301, em corrente contínua e a uma temperatura de 20 °C, o cobre possui uma resistividade de aproximadamente 0,0171 $\Omega \cdot mm^2/m$. Enquanto o alumínio possui uma resistividade de aproximadamente 0,0282 $\Omega \cdot mm^2/m$. Portanto, conforme (2.6), obtém-se a resistividade do condutor em Ω/m a partir da seção nominal e do tipo do condutor:

$$R_{cc} = \frac{\rho_{material}}{S} \quad (2.6)$$

Sendo:

R_{cc} – Resistividade do cabo para corrente contínua, em ohms por metro (Ω/m);

$\rho_{material}$ – Resistividade do material condutor, em ohms milímetro quadrado por metro ($\Omega \cdot mm^2/m$);

S – Seção do condutor, em milímetros quadrado (mm^2).

Conforme NBR 11301 (ABNT, 1990), a resistividade do cabo para corrente alternada pode ser calculada a partir de (2.7).

$$R_{ca} = R_{cc}(1 + Y_s + Y_p) \quad (2.7)$$

Sendo:

R_{ca} – Resistividade do cabo para corrente alternada, em ohms por metro (Ω/m);

R_{cc} – Resistividade do cabo para corrente contínua, em ohms por metro (Ω/m);

Y_s – Fator de efeito pelicular;

Y_p – Fator de efeito por proximidade.

Para condutores de seção circular, o fator de efeito pelicular é calculado a partir de (2.8) (NBR 11301).

$$Y_s = \frac{X_s^4}{192 + 0,8 \times X_s^4} \quad (2.8)$$

Onde X_s é o argumento da função de Bessel para o efeito pelicular e é calculado a partir de (2.9).

$$X_s^2 = \frac{8 \times \pi \times f}{R} \times 10^{-7} \quad (2.9)$$

O fator de efeito por proximidade para dois condutores carregados é calculado a partir de (2.10), e para três condutores carregados é calculado a partir de (2.11):

$$Y_s = \frac{X_p^4}{192 + 0,8 \times X_p^4} \times \left(\frac{d_c}{l}\right)^2 \times 2,9 \quad (2.10)$$

$$Y_s = \frac{X_p^4}{192 + 0,8 \times X_p^4} \times \left(\frac{d_c}{s}\right)^2 \times \left[0,312 \times \left(\frac{d_c}{l}\right)^2 + \frac{1,18}{\frac{X_p^4}{192 + 0,8 \times X_p^4} + 27} \right] \quad (2.11)$$

Sendo:

d_c – Diâmetro do condutor, em milímetro (mm);

l – Distância entre eixos dos condutores, em milímetro (mm);

X_s – Argumento da função de Bessel para o efeito de proximidade, calculado a partir de (2.12).

$$X_p^2 = \frac{8 \times \pi \times f}{R} \times 10^{-7} \times K_p \quad (2.12)$$

Sendo K_p a constante para cálculo do efeito pelicular, fornecido pela NBR 11301 (1 para condutores de cobre e 0,8 para condutores de alumínio);

A resistividade dada pela norma é aplicável para temperatura de 20 °C. Portanto, torna-se necessário corrigir a resistividade conforme a temperatura de operação do cabo. Em (2.13) é apresentado a fórmula para o cálculo da resistividade em função da variação de temperatura do condutor (ABNT NBR 11301).

$$R = R_{(20)} \times [1 + \alpha \times (T - 20)] \quad (2.13)$$

Sendo:

R – Resistividade corrigida do cabo, em ohms por metro (Ω/m);

$R_{(20)}$ – Resistividade do cabo a 20 °C, em ohms por metro (Ω/m);

α – Coeficiente de temperatura do material condutor ($^{\circ}\text{C}^{-1}$);

T – Temperatura de operação do condutor ($^{\circ}\text{C}$).

O coeficiente de temperatura do cobre é de aproximadamente $0,0036 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, enquanto a do alumínio é de aproximadamente $0,0040 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, conforme definido pela NBR 11301 (ABNT, 1990).

2.1.3.2. Cálculo da queda de tensão

O cálculo da queda de tensão varia conforme o tipo de circuito, sendo divididos entre: trifásicos, bifásicos e monofásicos. As equações consideram que os cabos estão em paralelo.

O cálculo da queda de tensão para circuitos trifásicos, em porcentagem, é dado em (2.14), enquanto para circuitos bifásicos ou monofásicos, é dado em (2.15). (PRYSMIAN, 2020). As fórmulas consideram o fator de potência unitário.

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times I_n \times L \times R}{U} \times 100\% \quad (2.14)$$

Onde:

$\Delta V\%$ – Queda de tensão por fase, em porcentagem (%);

I_n – Corrente nominal no circuito, em amperes (A);

L – Comprimento do circuito, em metros (m);

R – Resistividade do condutor, em ohms por metro (Ω/m);

U – Tensão nominal da instalação, em volts (v).

$$\Delta V\% = \frac{I_n \times 2 \times L \times R}{U} 100\% \quad (2.15)$$

Onde:

$\Delta V\%$ – Queda de tensão no circuito, em porcentagem (%);

I_n – Corrente nominal no circuito, em amperes (A);

L – Comprimento do circuito, em metros (m);

R – Resistividade do condutor, em ohms por metro (Ω/m);

U – Tensão nominal da instalação, em volts (v).

2.2. CORRENTE NOMINAL

Para o dimensionamento elétrico de circuitos um dado importante é a corrente nominal, pois os cabos serão determinados de forma que a sua capacidade de condução de corrente esteja compatível com as proteções e corrente que circulará por ele.

Quando a corrente nominal de um circuito (ou a corrente de projeto que passará pelo circuito) não estiver explícita em amperes (A) ela pode ser calculada desde que se tenha conhecimento da carga a ser alimentada. A corrente é calculada utilizando a potência em volt-ampere (VA) e a tensão nominal do circuito. O cálculo varia conforme o tipo de circuito, sendo dividido em: trifásico, bifásico e monofásico (CAVALIN, 2006).

A corrente nominal em circuitos trifásicos, considerando fator de potência unitário, é calculada conforme (2.16) (CAVALIN, 2006).

$$I_n = \frac{P}{U \times \sqrt{3}} \quad (2.16)$$

Onde:

I_n – Corrente nominal no circuito, em amperes (A);

P – Potência máxima da carga, em volt-ampere (VA);

U – Tensão nominal de linha do circuito, em volts (V).

Para circuitos monofásicos e bifásicos, considerando fator de potência unitário, é calculada conforme (2.17) (CAVALIN, 2006).

$$I_n = \frac{P}{U} \quad (2.17)$$

Onde:

I_n – Corrente nominal no circuito, em amperes (A);

P – Potência máxima da carga, em volt-ampere (VA);

U – Tensão nominal de linha do circuito, em volts (V).

2.3. PROGRAMAÇÃO E FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO

Programação é o processo de escrever instruções que um computador pode seguir para realizar tarefas específicas, essas instruções são expressas em linguagens de programação. O conceito básico de programação consiste na elaboração de algoritmos, que são sequências de passos lógicos e ordenados, destinados a resolver problemas ou automatizar tarefas. Por meio da programação, é possível desenvolver desde simples aplicativos até complexos sistemas operacionais e *softwares* (ASCENSIO, 2012).

Além disso, a programação envolve não apenas a criação de códigos, mas também a habilidade de solucionar problemas de maneira eficiente e criativa. Ela permite a automação de tarefas repetitivas, a integração de sistemas e a análise de grandes volumes de dados, proporcionando uma visão mais precisa e estratégica para a tomada de decisões.

Linguagens de programação são ferramentas usadas para escrever programas. Elas fornecem a sintaxe e as regras que os programadores usam para comunicar suas instruções ao computador. Existem muitas linguagens de programação, cada linguagem de programação foi desenvolvida para solucionar determinado tipo de problema e cumprir uma dada função, como a execução de cálculos matemáticos complexos, ou para processar uma grande quantidade de dados (TUCKER, 2010).

Os diferentes tipos linguagens de programação são utilizados para criar e desenvolver *softwares* e interfaces digitais. Algumas das mais comuns incluem HTML, que estrutura o conteúdo das páginas web; CSS, que estiliza e define a aparência visual dessas páginas; e JavaScript, que adiciona interatividade e dinamismo. Esses tipos de linguagem são amplamente usados no desenvolvimento web e possuem características distintas para atender a diferentes aspectos da programação.

2.3.1. HTML

O HTML (*HyperText Markup Language*) é uma linguagem de Marcação de hipertexto e está presente em diversas páginas da *web* e aplicativos para computadores. É responsável por estruturar o conteúdo de páginas *web* de forma acessível, interativa e permite a criação de uma estrutura hierárquica e interligada. por meio de *tags* e elementos que determinam a disposição e formatos de conteúdo, como textos, imagens, vídeos, links, botões, entre outros.

O HTML fornece a base para aplicação de estilos visuais por meio de CSS e aplicação de funcionalidades por meio da linguagem de programação Javascript (MDN Web Docs, 2023).

2.3.2. CSS

CSS (*Cascading Style Sheets*) ou folha de estilo em cascata, é uma linguagem de estilos utilizada para descrever como um documento escrito (como o HTML) será exibido na tela ou em folhas. Por meio de *tags* e funções escritas, é possível alterar formas, tamanho, cores, localização e diversos parâmetros de estilização dos objetos presente em documentos HTML (MDN Web Docs, 2022).

2.3.3. Node.js e JavaScript

Node.js é um software de código aberto e multiplataforma que atua como um ambiente de execução de JavaScript fora de navegadores *web*. Ele permite o desenvolvimento de servidores, aplicações, ferramentas ou automações utilizando JavaScript. A documentação completa pode ser encontrada no site oficial do Node.js (NODEJS, 2024).

O JavaScript é uma linguagem de programação amplamente utilizada para desenvolvimento *web* e de aplicativos. Por meio dela é possível conectar o usuário a servidores em tempo real, manipular objetos e estilos em um documento HTML, realizar cálculos por meio de *scripts*, executar aplicativos, entre outros. (MDN Web Docs, 2022).

A comunidade ativa de desenvolvedores em JavaScript oferece uma vasta gama de tutoriais, exemplos de código e bibliotecas, facilitando o estudo da linguagem e a busca por resolução de problemas.

2.3.4. Electron JS

Electron é um framework para criar apps desktop com JavaScript, HTML e CSS. Ele embute o Chromium e Node.js, permitindo manter uma base de código em JavaScript e desenvolver apps multiplataforma para Windows, macOS e Linux, sem precisar de experiência em desenvolvimento nativo.

2.3.5. Ambiente de desenvolvimento integrado (IDE)

IDEs (*Integrated Development Environment*) ou ambiente de desenvolvimento integrado, são aplicações que auxiliam programadores a desenvolver códigos para aplicativos e *softwares*, aumentando a produtividade e eficiência. Além de possibilitar a criação e edição de códigos, IDEs possuem funcionalidades extras como: Realce de sintaxes, verificação de erros de escrita e terminais integrados (AMAZON, 2024).

O VS Code (ou Visual Studio Code) é uma IDE desenvolvida pela Microsoft. É capaz de editar códigos-fonte e possui suporte para extensões. Segundo a Microsoft, essa ferramenta é a melhor escolha para desenvolvedores JavaScript e Web e possui suporte para diversos tipos de linguagens de programação, como C, Python, C#, e o JavaScript.

2.3.6. Git e Github

O Git é uma ferramenta gratuita e de código aberto utilizada para o controle de versões. É capaz de registrar o histórico de edições feitas em qualquer tipo de arquivo e é bastante utilizada por desenvolvedores para fazer o controle de versões de projetos de *softwares* em desenvolvimento (GIT, 2024).

O GitHub é uma plataforma baseada em nuvem, capaz de armazenar, compartilhar projetos e permitir o trabalho em conjunto para o desenvolvimento de códigos. O Git e o GitHub trabalham juntos, onde o Git detecta as alterações em arquivos, e o GitHub armazena em nuvem as modificações realizadas (GITHUB, 2024).

2.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo apresentou a forma de dimensionamento de condutores BT conforme NBR 5410 e uma breve descrição das ferramentas utilizadas para o desenvolvimento do DCTB.

O capítulo a seguir apresenta a metodologia utilizada para atingir os resultados propostos pelo objetivo.

3. METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia do trabalho. Demonstra as etapas do processo de desenvolvimento da solução proposta, expõe as linguagens, ferramentas e programas utilizados, e apresenta as lógicas e fórmulas desenvolvidas para os cálculos de dimensionamento elétrico.

3.1. ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO

Para atingir o objetivo proposto, as etapas de desenvolvimento estão divididas conforme apresenta a Figura 3.1.

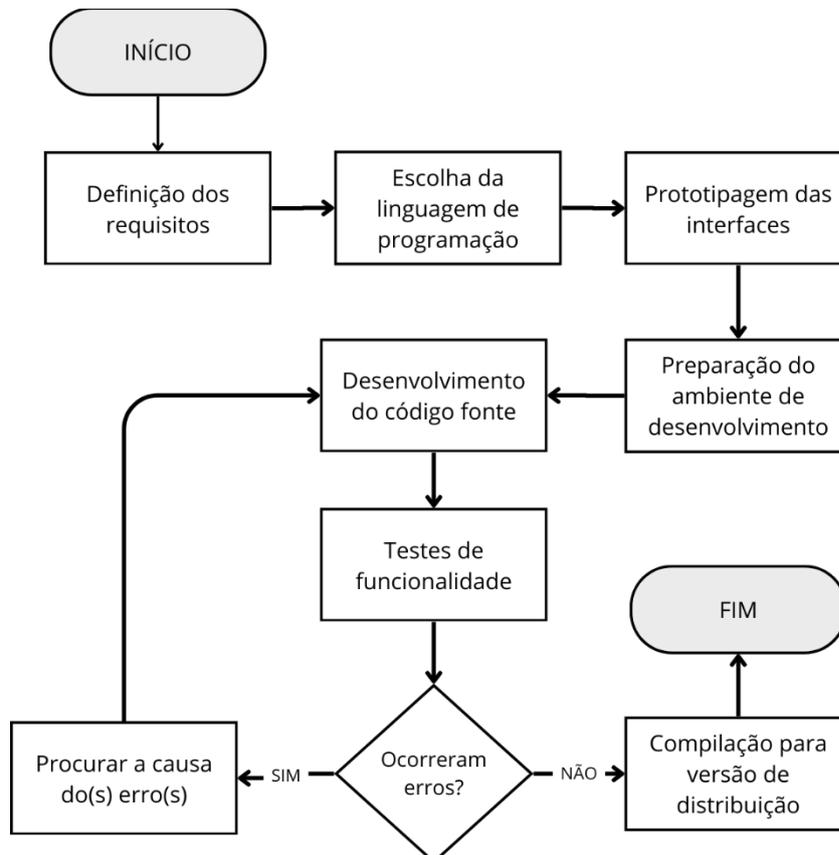


Figura 3.1 – Etapas de desenvolvimento

O primeiro passo consiste na definição dos requisitos para o DCBT. Conforme o objetivo proposto, deve possuir interface gráfica para interação do usuário, ser capaz de dimensionar cabos conforme a NBR 5410, exibir o relatório de cálculos e armazenar os circuitos dimensionados para consultas posteriores.

Após a definição dos requisitos, é escolhida as linguagens de programação para desenvolver o código-fonte.

Em seguida, é feita a prototipagem das interfaces que são exibidas para o usuário. Essa etapa auxilia durante o processo de desenvolvimento do código-fonte, fornecendo uma previsão de quais elementos devem existir em cada parte do DCBT, e como são dispostos.

Logo após, é feita a preparação do ambiente de desenvolvimento. É instalado as linguagens, os programas e bibliotecas necessárias para escrita e execução dos códigos. Também é feita a organização das pastas de desenvolvimento e é preparado os arquivos necessários para a próxima etapa, entre eles: ícones e imagens a serem exibidos na interface, e dados das tabelas da ABNT NBR 5410:2008.

O desenvolvimento do código-fonte é a etapa que se constrói de fato a interface, estrutura e o modo de operação. Nessa etapa é desenvolvida as lógicas e funções propostas, utilizando a lógica de programação conforme a linguagem escolhida.

Em seguida são realizados testes de usabilidade do DCBT, com a validação das funcionalidades implementadas e a comprovação da precisão dos resultados obtidos nos dimensionamentos realizados por ele. Caso seja detectado erros nessa etapa, o código-fonte deve ser revisado, avaliando a causa do problema e retornando para a etapa de desenvolvimento.

Por fim, os arquivos de desenvolvimento e códigos-fonte são compilados em uma versão executável. Sendo essa a versão a ser disponibilizada para o usuário final.

3.2. PROGRAMAS E LINGUAGENS UTILIZADAS

A linguagem de programação utilizada para o desenvolvimento do código-fonte do DCBT é o JavaScript, que realiza todas as funções lógicas e gerência os processos por trás da aplicação. O HTML aliado ao CSS são utilizados para a construção da interface gráfica apresentada ao usuário. O *framework* Electron JS é utilizado para fornecer a base de desenvolvimento. Para escrita dos códigos durante a etapa de desenvolvimento, é utilizado o VS Code.

As interfaces são prototipadas com auxílio da plataforma Figma. Nela, são definidas as imagens, ícones, cores, tamanho e posicionamento dos elementos nas interfaces do DCBT.

Para o controle de versões e *backups* dos códigos desenvolvidos, é utilizada a ferramenta Git em conjunto da plataforma Github.

3.3. ESTRUTURAÇÃO DO DCBT

O programa desenvolvido é estruturado em seis principais partes. Cada uma delas desempenha um papel importante para o funcionamento geral do DCBT.

A Figura 3.2 apresenta o esquemático da estrutura básica, sendo:

- main.js – O processo principal;
- preload.js – Ponte de comunicação entre processos;
- renderer.js – Processo de renderização;
- index.html – Elementos da interface;
- index.css – Estilização;
- resource – Pasta de arquivos e dados.

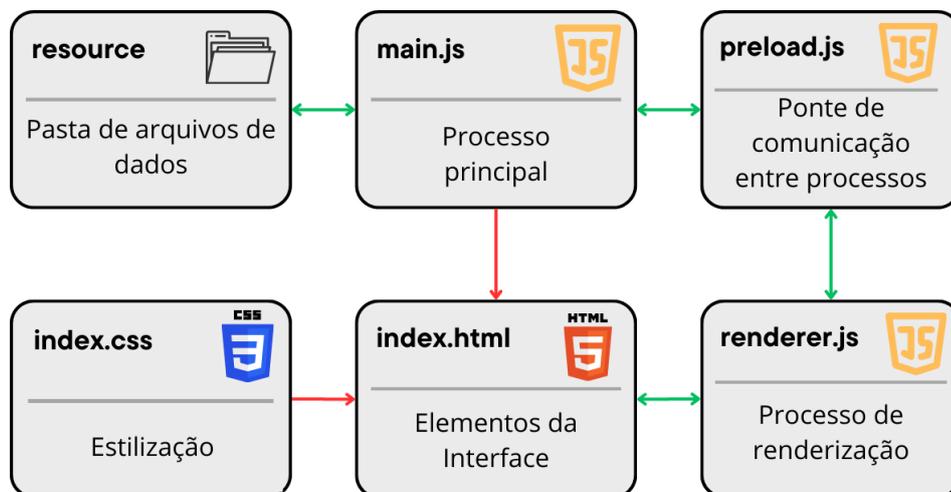


Figura 3.2 – Esquemático do programa

O arquivo main.js é um código em JavaScript e contém o processo principal do DCBT. Lógicas de programação que envolvem leitura e escrita de arquivos, manipulação de janela e de processos do DCBT, são acrescentadas a ele.

O processo de renderização, desenvolvido em JavaScript, está contido no renderer.js. É responsável pela manipulação da interface gráfica, extração de dados de entrada do usuário e contém a lógica para dimensionamento dos cabos conforme objetivo proposto.

Também escrito em JavaScript, o `preload.js` é utilizado para fazer uma ponte de comunicação entre o processo principal e o processo de renderização.

A interface inicial do aplicativo é definida pelo `index.html`, um arquivo escrito em HTML que contém os elementos iniciais para que sejam exibidos na tela inicial do DCBT.

Toda a estilização da interface está contida no `Index.css`, um código em CSS, desenvolvido para definir como os elementos de interface devem aparecer para o usuário.

A pasta “resource” contém os arquivos e serem lidos durante as funções de dimensionamento e os projetos a serem salvos pelo usuário dentro do DCBT.

3.4. LÓGICA PARA DIMENSIONAMENTO DOS CABOS

Após a estruturação do DCBT e a construção da interface, é implementada a função para de fato dimensionar os cabos. A sequência lógica para efetuar o dimensionamento dos cabos ocorre conforme apresentado no fluxograma da Figura 3.3.

A função recebe os dados de entrada vindos de um formulário pré-dimensionamento preenchido pelo usuário. O primeiro passo consiste na verificação do tipo de dado inserido pelo usuário (corrente ou potência). Caso o usuário insira potência, é feito o cálculo de I_n , utilizando as fórmulas apresentadas na seção 2.2, conforme o tipo de circuito a ser dimensionado. Caso a corrente nominal seja diretamente especificada no formulário, o algoritmo define I_n igual ao valor inserido.

Em seguida é obtido os fatores de correção conforme os dados de entrada. O fator de correção por temperatura é definido conforme apresentado na seção 2.1.2.3, utilizando os dados de entrada: temperatura de operação do cabo, temperatura ambiente (ou do solo) e o método de referência. O fator de correção por resistividade térmica é definido conforme apresentado na seção 2.1.2.4 e utiliza o dado de entrada referente a resistividade térmica do solo. O método de referência, circuitos agrupados e linhas enterradas agrupadas são dados de entrada utilizados para determinar o fator de correção por agrupamento de circuitos e linhas enterradas, conforme definido na seção 2.1.2.5.

Um laço de repetição é utilizado para percorrer a lista de cabos que contém a seção nominal do condutor e a capacidade de condução de corrente do cabo. A resistividade elétrica do condutor é calculada conforme apresentado na seção 2.1.3.1.

A capacidade de condução corrigida do cabo é calculada conforme apresentado na seção 2.1.2.6, e em seguida é verificado se atende I_n . A verificação também ocorre para a queda de tensão calculada e é verificado se atende o limite definido pela NBR 5410 (4%). Caso a capacidade de condução de corrente esteja acima da corrente nominal e a queda de tensão esteja abaixo do limite definido pela norma, a função retorna: seção nominal dimensionada, fatores de correção obtidos, corrente nominal calculada, queda de tensão e capacidade de condução final do cabo.

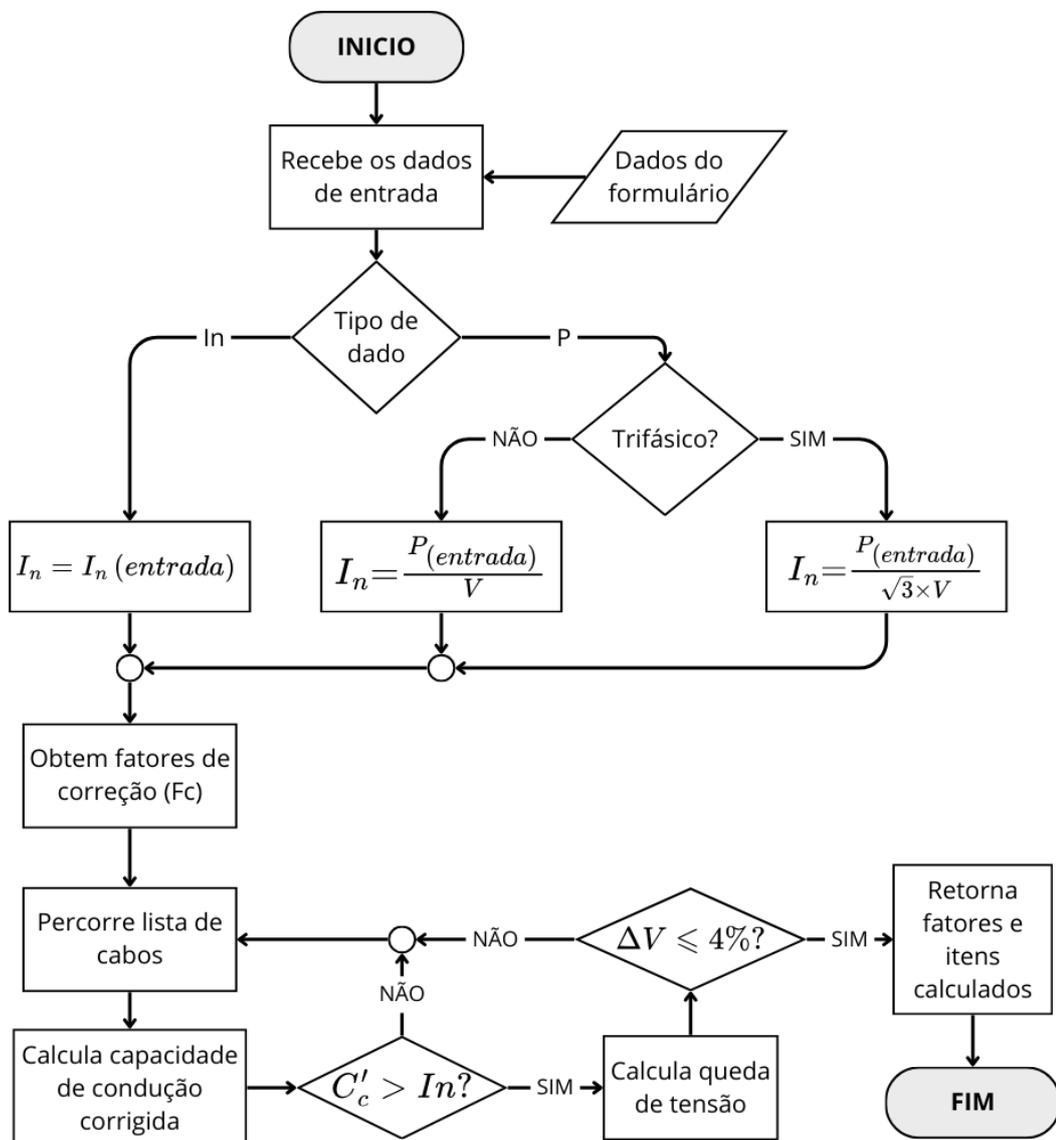


Figura 3.3 – Fluxograma de sequência lógica para dimensionar cabos

3.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O capítulo apresentou a metodologia de desenvolvimento dividida por etapas, desde a definição dos pré-requisitos para o DCBT até a sequência lógica utilizada para efetuar o dimensionamento de cabos, proporcionando uma base para atingir os objetivos propostos no trabalho.

O próximo capítulo apresenta os resultados obtidos com a aplicação dos métodos aqui abordados. São mostrados trechos do código desenvolvido, a organização dos arquivos de dados e a demonstração prática de uso do DCBT.

4. RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados obtidos com a aplicação do método apresentado no capítulo 3.

Primeiro é exposto a organização das pastas e arquivos de dados, seguido da exibição de trechos do código-fonte desenvolvido.

Em seguida, é apresentada a interface do DCBT, expondo a aparência, funcionalidades e o modo de uso.

Por fim, é feita a validação dos circuitos dimensionados pelo DCBT, comparando seus resultados com os dimensionamentos realizados de forma manual. A validação foi realizada utilizando 3 circuitos hipotéticos com variações na forma de instalação.

4.1. APRESENTAÇÃO DAS INTERFACES DO DCBT

Para execução do *software* desenvolvido, foi gerado uma versão de distribuição que consiste em uma pasta com os arquivos e dependências do Electron JS, e o executável “APP DCBT.exe”. A aplicação foi compilada e testada para os sistemas operacionais Windows 10 e Windows 11, e pode ser iniciada a partir desse executável.

4.1.1. Tela de início

Ao iniciar o aplicativo, o primeiro conteúdo a aparecer é a tela de início do DCBT, fornecendo três opções para o usuário: “Novo projeto”, “Abrir projeto” e “Tabelas”.

A janela do aplicativo possui um botão com ícone de casa no canto superior esquerdo, que é sempre exibido durante a sua execução. Clicar nesse ícone faz com que a aplicação retorne para a tela inicial.

A opção “Tabelas” apresentada na tela inicial fornece a possibilidade de consultar todas as tabelas utilizadas no DCBT, contendo dados extraídos da ABNT NBR 5410.

A Figura 4.1 apresenta a tela de início do DCBT. O campo “Projetos recentes” é apresentado vazio pois nesta etapa ainda não foi criado nenhum projeto.

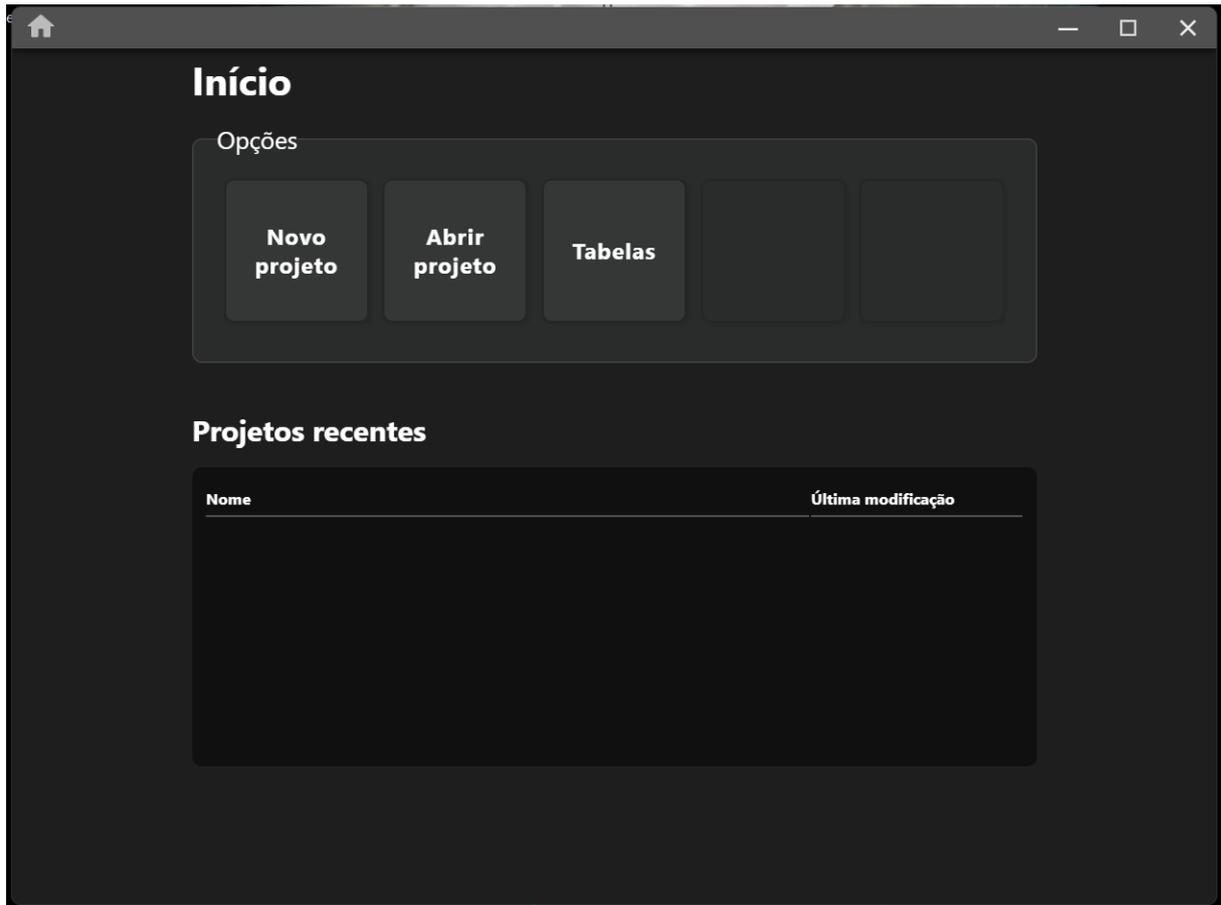


Figura 4.1 – Tela inicial do aplicativo

4.1.2. Tela de visualização de projeto

Para dimensionar um circuito com o DCBT é necessário criar um projeto ou abrir um já existente. Um novo projeto pode ser criado por meio da opção “Novo projeto”, que conduz o usuário para a tela de visualização, exemplificada na Figura 4.2.

A tela de visualização de projeto foi desenvolvida com o intuito de apresentar um resumo dos circuitos dimensionados. Por meio dela é possível nomear e renomear o arquivo, abrir o relatório de dimensionamento dos circuitos criados, apagar circuitos e salvar o conteúdo modificado. O botão “Salvar” fica verde quando existe conteúdo a ser salvo.

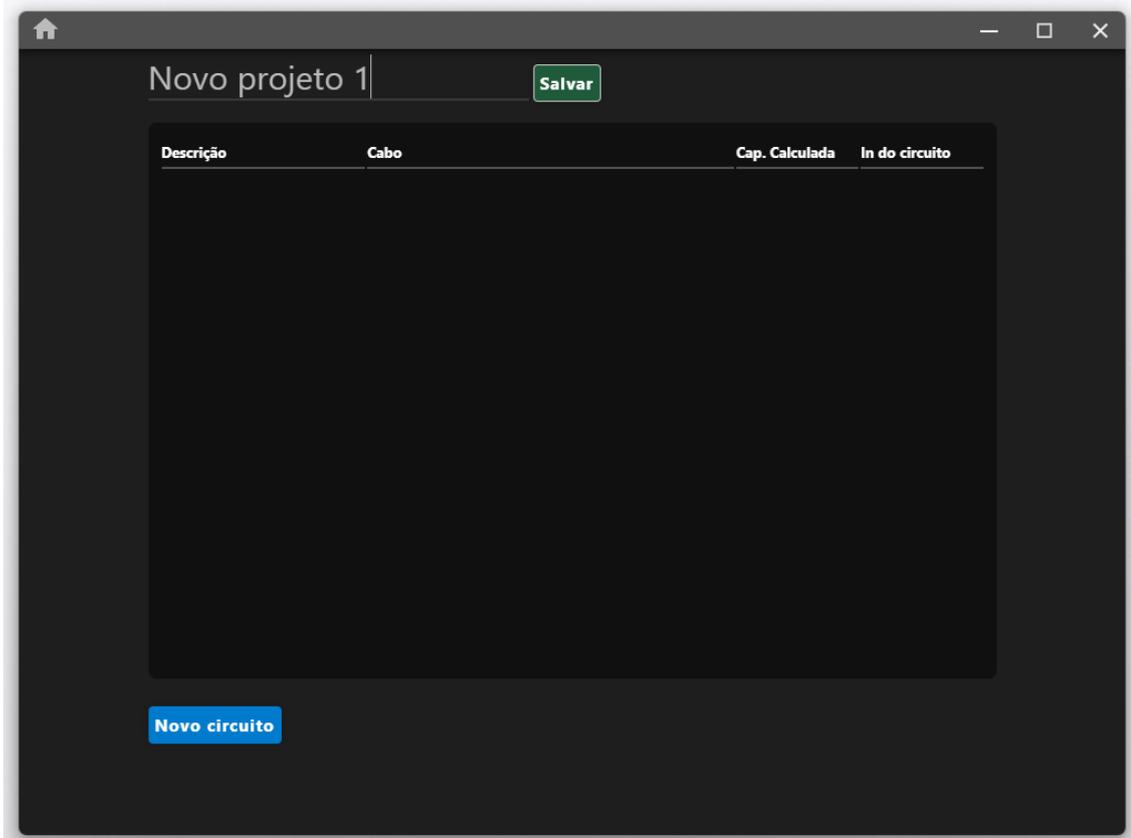


Figura 4.2 – Tela de visualização de projeto.

Para dimensionar um circuito, basta clicar na opção “Novo circuito”. Um formulário é exibido para inserir os dados de entrada necessários para o dimensionamento.

4.1.3. Formulário de entrada de dados para o dimensionamento de circuito

O formulário foi dividido em duas partes: “Dados principais” e “Detalhes de instalação”.

Os “Dados principais” consistem em dados de preenchimento obrigatório descritos a seguir:

- **P – Potência aparente (VA) / In – Corrente nominal (A):** Consiste em um campo que recebe valores numéricos. Pode receber o valor de potência nominal aparente do circuito (em VA) ou a corrente nominal (em A). Para mudar o tipo de dado inserido, basta clicar na seta exibida ao lado do rótulo do campo;

- **V – Tensão nominal (V):** Recebe valores numéricos e é destinado ao valor de tensão nominal do circuito (em Volts);
- **I – Comprimento do circuito (m):** Nesse campo deve ser inserido, em metros, o comprimento total do circuito a ser dimensionado.
- **Tipo de circuito:** Trata de um campo de seleção. É fornecido as opções “Trifásico”, “Bifásico”, “Bifásico + N” e “Monofásico”;
- **Método de referência:** Neste campo de seleção é fornecido os métodos de referência citados no tópico 2.1.2.1.

Os dados coletados em “Detalhes de instalação” são subdivididos em 3 partes, sendo: “Características do cabo”, “Fatores de correção” e “Tipo de instalação”.

Os dados coletados em características do cabo são:

- **Material:** Fornece as opções “cobre” ou “alumínio”, referente ao tipo de material condutor do cabo a ser dimensionado. A opção é pré-selecionada em “cobre”;
- **Isolação:** Fornece as opções “PVC” ou “EPR ou XLPE”. Essa informação define o tipo de isolação do cabo a ser dimensionado, e consequentemente, a temperatura máxima de operação do condutor. A opção é pré-selecionada em “PVC”;
- **Tipo:** Define se o condutor a ser instalado é unipolar ou multipolar, sendo “unipolar” a opção pré-selecionada;
- **Seção mínima:** Este campo define a seção nominal mínima do condutor a ser dimensionado, sendo “1,5 mm²” a opção pré-selecionada.

Os dados coletados em fatores de correção são:

- **Temp. do solo/ambiente:** Entrada de dados referente a temperatura ambiente (ou do solo para o método de referência “D”). O valor é pré-definido em 30 °C;
- **Resist. Térmica do solo:** Este campo é exibido apenas quando o método de referência “D” é selecionado. Coleta dado referente a resistividade térmica do solo e é pré-definido em 2,5 K.m/W;
- **Circuitos agrupados:** Define a quantidade de circuitos que estarão agrupados. O valor é pré-definido em 1 (sem agrupamento);

- **Linhas agrupadas:** Campo exibido apenas para o método de referência “D”, referente a quantidade de linhas enterradas agrupadas com espaçamento menor ou igual a 1 metro. O valor é pré-definido em 1 (sem agrupamento”);
- **Espaçamento entre linhas:** O valor é pré-definido em “Nulo” e define o espaçamento entre as linhas enterradas quando o agrupamento é existente;
- **Instalado:** Campo auxiliar para o método de referência “D”. Define a forma de instalação das linhas enterradas e é predefinido em “diretamente enterrado”;

O campo “Tipo de instalação” atua como auxiliar, fornecendo detalhes da forma de instalação para os métodos de referência diferentes de “D”. É utilizado para determinar a forma de agrupamento dos circuitos (quando aplicável).

A Figura 4.3 apresenta o formulário de pré-dimensionamento exibido.

The image shows a software window titled "Projeto Exemplo" with a "Salvar" button. A modal dialog box titled "Novo circuito 1" is open, containing the following fields:

- Dados principais:**
 - In - Corrente nominal (A) [input field]
 - V - Tensão nominal (V) [input field]
 - l - Comprimento do circuito (m) [input field]
 - Tipo de circuito: [dropdown menu with "Selecione"]
 - Método de referência: [dropdown menu with "Selecione"]
- Detalhes da instalação:**
 - Características do cabo:**
 - Material: Cobre Alumínio
 - Isolação: PVC EPR ou XLPE
 - Tipo: Unipolar Multipolar
 - Seção mínima: 1,5 [dropdown] mm²
 - Fatores de correção:**
 - Temp. do solo/ambiente: 30 [dropdown] °C
 - Circuitos agrupados: 1
 - Tipo de instalação: [dropdown menu with "Em feixe: ao ar livre ou sobre superfície; embutidos; em conduto fechado"]

A "Dimensionar" button is located at the bottom right of the dialog box.

Figura 4.3 – Formulário pré-dimensionamento.

4.1.4. Relatório de dimensionamento

Após o preenchimento dos dados no formulário, basta clicar na opção “Dimensionar” e será calculada a seção nominal mínima necessária para os cabos do circuito. O relatório de dimensionamento do condutor é exibido, apresentando os cálculos efetuados junto das informações extraídas das tabelas da NBR 5410 citadas na seção 2.1.2.

A tela de exibição do relatório é apresentada na Figura 4.4. O relatório completo pode ser conferido no APÊNDICE A.



Figura 4.4 – Tela de apresentação do relatório de dimensionamento

Caso seja necessário alterar algum dado do formulário, basta clicar no botão “Voltar”. A tela de formulário é exibida novamente, possibilitando fazer as alterações necessárias.

O botão “Salvar” adiciona o circuito dimensionado no projeto criado ou aberto anteriormente. Quando salvo, o circuito é exibido na lista da tela de visualização de projeto, conforme exemplifica a Figura 4.5.

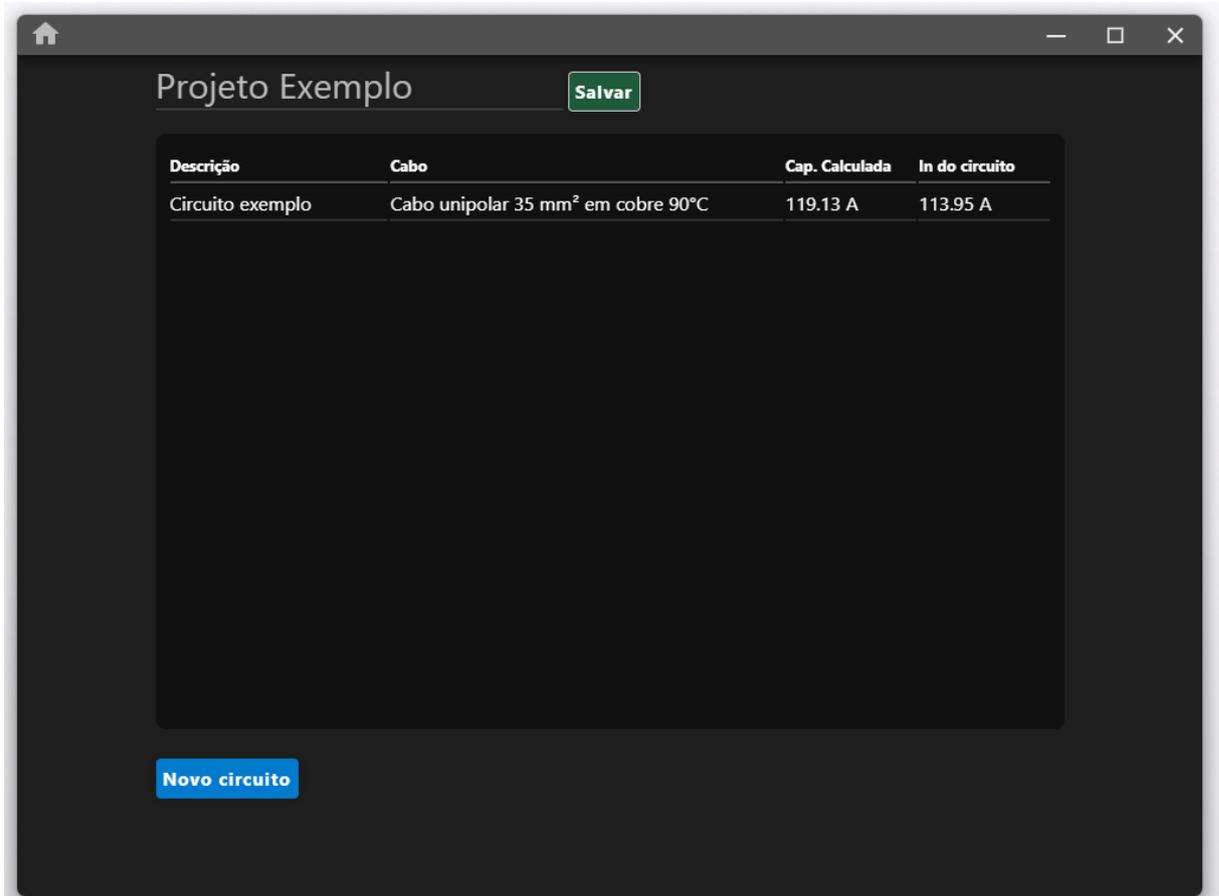


Figura 4.5 – Tela de visualização de projeto (com circuito adicionado).

O relatório de dimensionamento do circuito pode ser consultado novamente, bastando clicar sobre o circuito desejado.

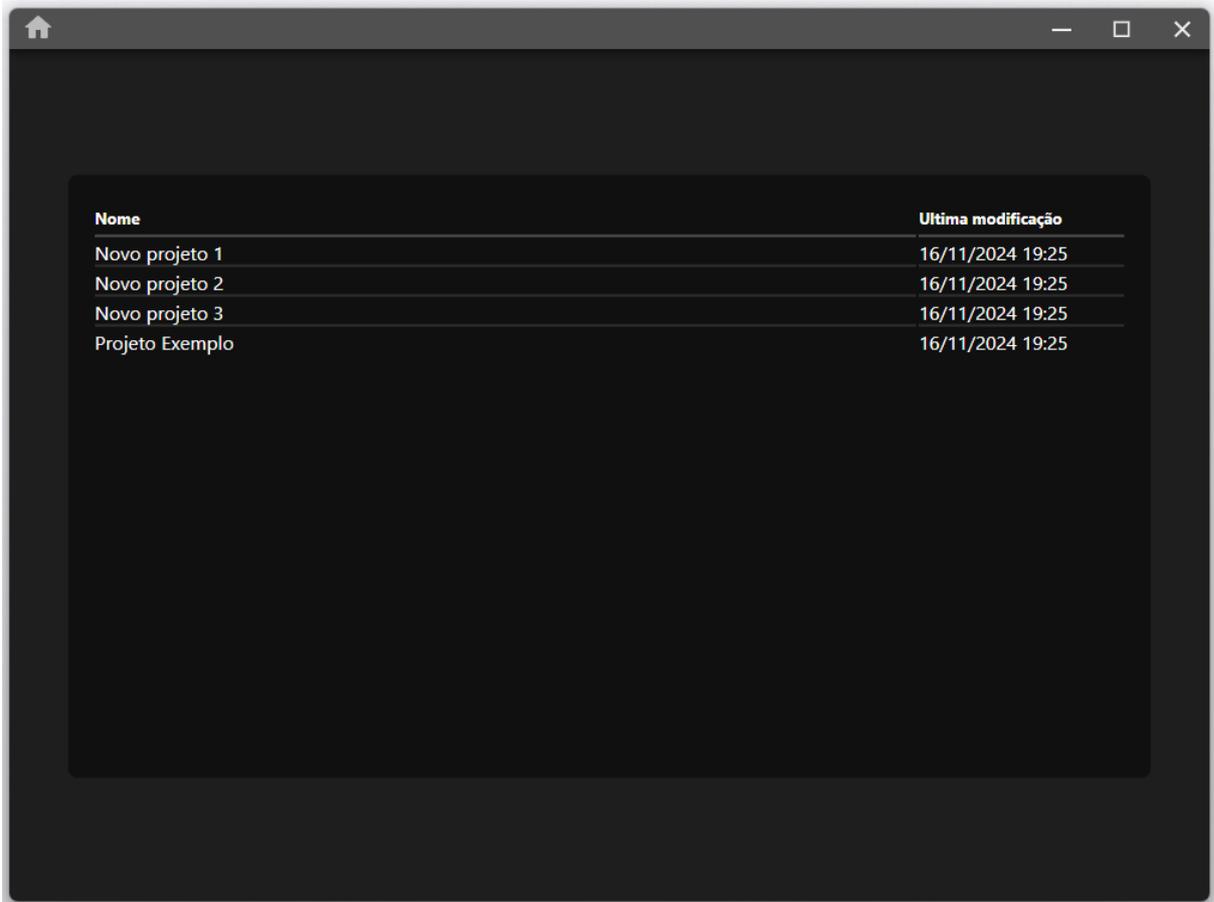
Caso seja necessário apagar um circuito, deve-se clicar sobre ele com o botão direito do mouse e selecionar a opção “apagar”.

O botão “Salvar” deve ser clicado para salvar os circuitos acrescentados ou excluídos do projeto.

4.1.5. Lista de projetos

Projetos salvos podem ser abertos por meio da lista de projetos recentes exibida na tela inicial, ou por meio da lista exibida na tela ao utilizar a opção “Abrir

projeto”. Nessa tela, os projetos ficam listados por ordem alfabética e apresentam a informação da última modificação realizada, conforme mostra a Figura 4.6.



Nome	Última modificação
Novo projeto 1	16/11/2024 19:25
Novo projeto 2	16/11/2024 19:25
Novo projeto 3	16/11/2024 19:25
Projeto Exemplo	16/11/2024 19:25

Figura 4.6 – Tela de listagem dos projetos

Nessa lista, os projetos podem ser apagados. Para isso, basta clicar com o botão direito do mouse sobre o projeto, e em seguida “Apagar”.

4.2. VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS DE DIMENSIONAMENTO

Para a validação dos resultados obtidos pelo DCBT, foi realizado o cálculo manual de 3 circuitos hipotéticos e comparado com os resultados obtidos pelo *software*. Variou-se o método de instalação, os fatores de correções aplicados e as características do cabo utilizado.

4.2.1. Validação de resultados: Circuito 1

Foram estipuladas as seguintes características para a validação do Circuito 1:

- Potência nominal: 300 kW;
- Tensão nominal: 800 V;
- Tipo de circuito: Trifásico;
- Tipo de instalação: Eletrodutos enterrados (método de referência “D”);
- Comprimento do circuito: 163 metros;
- Temperatura do solo: 35 °C;
- Resistividade térmica do solo: 2,0 K.m/W;
- Agrupamento: 2 linhas enterradas e espaçadas a 25 cm;
- Material condutor: Alumínio;
- Material de isolamento: EPR ou XLPE.

4.2.1.1. Dimensionamento pelo DCBT

No formulário de pré-dimensionamento do DCBT foram inseridos os dados conforme apresenta a Figura 4.7.

The image shows a software window titled 'Projeto Exemplo' with a 'Salvar' button. A modal window titled 'Circuito de validação 1' is open, containing two columns of input fields. The left column, 'Dados principais', has: P - Potência aparente (VA) = 300000, V - Tensão nominal (V) = 800, l - Comprimento do circuito (m) = 163, Tipo de circuito = Trifásico, and Método de referência = D. The right column, 'Detalhes da instalação', has: Características do cabo (Material: Alumínio, Isolação: EPR ou XLPE, Tipo: Unipolar, Seção mínima: 1,5 mm²) and Fatores de correção (Temp. do solo/ambiente: 35 °C, Resist. térmica do solo: 2 k.m/W, Circuitos agrupados: 1, Linhas agrupadas (método D): 2, Espaçamento entre linhas: 0,25 m, Instalado: Circuito em duto). A blue 'Dimensionar' button is at the bottom right.

Figura 4.7 – Formulário – Circuito de validação 1

Após o dimensionamento, o DCBT fornece a tabela de resumo conforme apresentado na Figura 4.8.

5. RESUMO	
Circuito de validação 1 - Resumo de dimensionamento	
In - Corrente nominal:	216,51 A
V - Tensão nominal:	800 V
Tipo de circuito:	Trifásico
Material condutor:	aluminio
Temperatura de operação:	90 °C
Seção nominal do condutor:	240 mm ²
CC' - Capacidade de condução calculada:	228,77 A
ΔV% - Queda de tensão calculada:	1,22 %

Figura 4.8 – Tabela resumo gerada pelo DCBT para o circuito de validação 1

O cabo dimensionado possui a seção nominal de 240 mm², a capacidade de condução de corrente final do cabo foi de 228,77 A, e a queda de tensão do circuito foi de 1,22%. O relatório completo é apresentado no APÊNDICE A.

4.2.1.2. Dimensionamento para validação

Primeiro é necessário calcular a corrente nominal do circuito, conforme (4.1). Para isso, e por se tratar de um circuito trifásico, foi utilizado (2.16) apresentada na seção 2.2.

$$I_n = \frac{300.000 \text{ VA}}{800 \text{ V} \times \sqrt{3}} \approx 216,506 \text{ A} \quad (4.1)$$

A partir do cálculo realizado, tem-se que a corrente nominal do circuito é de, aproximadamente, 216,506 A. O valor calculado pelo DCBT foi de 216,51 A, conforme apresentado na Figura 4.8.

A pequena diferença ocorre devido ao arredondamento de duas casas decimais aplicado na configuração do relatório do *software*. Portanto, verifica-se que o valor de corrente nominal obtido pelo DCBT é válido.

4.2.1.2.1. Fatores de correção

O circuito 1 foi dimensionado para uma temperatura de solo de 35 °C, portanto faz-se necessário aplicar o fator de correção por temperatura, conforme apresentado no tópico 2.1.2.3. Utilizando a tabela 40 da NBR 5410, apresentada na Figura D.1 (ANEXO D), foi obtido o fator de correção de 0,89.

Para obtenção do fator de correção por resistividade térmica, foi utilizado o método apresentado no tópico 2.1.2.4. Por meio da tabela 41 da NBR 5410, apresentada na Figura D.2, ANEXO D, obtém-se o fator de correção de 1,05.

Como não há o agrupamento de circuitos, o fator de agrupamento de circuitos é unitário. No entanto, é necessário aplicar o fator de correção por agrupamento de linhas enterradas, conforme apresentado no tópico 2.1.2.5. Por se tratar de um circuito em eletroduto diretamente enterrado, foi utilizada a tabela 45 da NBR 5410, apresentada na Figura E.3, ANEXO E. O fator de correção resultante para duas linhas agrupadas e espaçadas a 25 cm é de 0,9.

4.2.1.2.2. Capacidade de condução

Para obtenção da capacidade de condução inicial do cabo, será utilizado a tabela 37 da NBR 5410, Figura C.2 (ANEXO C). Para a seção nominal de 240 mm² em alumínio, método de referência "D" e três condutores carregados, a capacidade de condução de corrente inicial é de 272 A.

Aplicando os fatores de correção obtidos na seção 4.2.1.2.1, utilizando (2.4), em (4.2) é calculado a capacidade de condução corrigida do cabo.

$$CC = 272 \times 0,89 \times 1,05 \times 1 \times 0,9 = 228,765 \text{ A} \quad (4.2)$$

A partir do cálculo realizado, tem-se que a capacidade de condução corrigida para o cabo dimensionado é de 228,765 A. O valor calculado pelo DCBT foi de 228,77 A, conforme apresentado na Figura 4.8. Portanto, verifica-se que o resultado é válido.

4.2.1.2.3. Queda tensão

A resistividade do condutor de alumínio de 240 mm² em corrente alternada é de aproximadamente 0,16 Ω/km a uma temperatura de operação de 90 °C (PRYSMIAN, 2020). Utilizando (2.14), tem-se em (4.3) a queda de tensão calculada para o circuito 1.

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times 216,506 \times 161 \times 0,00016}{800} \times 100\% \approx 1,22\% \quad (4.3)$$

O valor calculado para a queda de tensão foi de aproximadamente 1,22%, condizendo com o valor obtido pelo DCBT. Portanto, o cálculo efetuado pelo DCBT é válido.

4.2.1.3. Conclusão: Trecho de validação 1

Os valores para capacidade de condução corrigida, corrente nominal e queda de tensão do circuito 1 foram calculados e se aproximaram dos resultados obtidos pelo DCBT. Portanto, conclui-se que o dimensionamento do circuito 1 foi validado.

4.2.2. Validação de resultados: Circuito 2

Foram estipuladas as seguintes características para a validação do Circuito 2:

- Corrente nominal: 70 A;
- Tensão nominal: 220 V;
- Tipo de circuito: Monofásico;
- Tipo de instalação: Cabos unipolares justapostos (método de referência “F”);
- Comprimento do circuito: 20 metros;
- Temperatura ambiente: 25 °C;
- Agrupamento: 2 linhas justapostas;
- Material condutor: Cobre;
- Material de isolamento: PVC.

4.2.2.1. Dimensionamento pelo DCBT

No formulário de pré-dimensionamento do DCBT foram inseridos os dados conforme apresenta a Figura 4.9.

The image shows a software window titled 'Projeto Exemplo' with a 'Salvar' button. A modal window titled 'Circuito de validação 2' is open, containing the following data:

Dados principais	
In - Corrente nominal (A)	70
V - Tensão nominal (V)	220
l - Comprimento do circuito (m)	20
Tipo de circuito	Monofásico
Método de referência	F (justapostos)

Detalhes da instalação	
Características do cabo	
Material:	<input checked="" type="radio"/> Cobre <input type="radio"/> Alumínio
Isolação:	<input checked="" type="radio"/> PVC <input type="radio"/> EPR ou XLPE
Tipo:	<input checked="" type="radio"/> Unipolar <input type="radio"/> Multipolar
Seção mínima:	1,5 mm ²
Fatores de correção	
Temp. do solo/ambiente:	25 °C
Circuitos agrupados:	2
Tipo de instalação	
Em feixe: ao ar livre ou sobre superfície; embutidos; em conduto fechado	

Figura 4.9 – Formulário – Circuito de validação 2

Após o dimensionamento, o DCBT fornece a tabela de resumo conforme apresentado na Figura 4.10.

5. RESUMO	
Circuito de validação 2 - Resumo de dimensionamento	
In - Corrente nominal:	70 A
V - Tensão nominal:	220 V
Tipo de circuito:	Monofásico
Material condutor:	cobre
Temperatura de operação:	70 °C
Seção nominal do condutor:	16 mm ²
CC' - Capacidade de condução calculada:	83,95 A
$\Delta V\%$ - Queda de tensão calculada:	1,77 %

Figura 4.10 – Tabela resumo gerada pelo DCBT para o circuito de validação 2

O cabo dimensionado possui a seção nominal de 16 mm², e capacidade de condução de corrente final de 83,95 A, e a queda de tensão do circuito foi de 1,77%. O relatório completo é apresentado no APÊNDICE B.

4.2.2.2. Dimensionamento para validação

Como a corrente nominal já foi estipulada, não é preciso calcular. O valor estipulado foi $I_n = 70 A$.

O valor da corrente nominal calculada no DCBT é a própria corrente nominal informada, portanto os valores entre o cálculo manual e o DCBT coincidem.

4.2.2.2.1. Fatores de correção

O circuito 2 foi dimensionado para uma temperatura ambiente de 25 °C, portanto faz-se necessário aplicar o fator de correção por temperatura, conforme apresentado no tópico 2.1.2.3. Utilizando a tabela 40 da NBR 5410, apresentada na Figura D.1 (ANEXO D) e levando em consideração o material de isolamento PVC, foi obtido o fator de correção de 1,06.

Como há o agrupamento de dois circuitos ao ar livre, é preciso aplicar o fator de correção por agrupamento. Utilizando a tabela 42 da NBR 5410, apresentada na Figura E.1 (ANEXO E), o fator de agrupamento de circuitos é de 0,80.

4.2.2.2.2. Capacidade de condução

Para obtenção da capacidade de condução inicial do cabo, será utilizado a tabela 38 da NBR 5410, Figura C.3 (ANEXO C). Para a seção nominal de 16 mm² em cobre, método de referência “F” e dois condutores carregados justapostos, a capacidade de condução de corrente inicial é de 99 A.

Aplicando os fatores de correção obtidos na seção 4.2.2.2.1, utilizando (2.4) , em (4.4) é calculado a capacidade de condução corrigida do cabo.

$$CC = 99 \times 1,06 \times 1 \times 0,80 = 83,952 A \quad (4.4)$$

A partir do cálculo realizado, tem-se que a capacidade de condução corrigida para o cabo dimensionado é de 83,952 A. O valor calculado pelo DCBT foi de 83,95 A, conforme apresentado na Figura 4.10. Portanto, verifica-se que o resultado é válido.

4.2.2.2.3. Queda tensão

A resistividade do condutor de cobre de 16 mm² em corrente alternada é de aproximadamente 1,38 Ω/km a uma temperatura de operação de 70 °C (PRYSMIAN, 2020). Utilizando (2.15), tem-se em (4.5) a queda de tensão calculada para o circuito 2.

$$\Delta V\% = \frac{70 \times 2 \times 20 \times 0,00138}{220} \times 100\% \approx 1,76\% \quad (4.5)$$

O valor calculado para a queda de tensão foi de aproximadamente 1,76%, condizendo com o valor obtido pelo DCBT que foi de aproximadamente 1,77%. Portanto, o cálculo efetuado pelo DCBT é válido.

4.2.2.3. Conclusão: Trecho de validação 2

Os valores para capacidade de condução corrigida, corrente nominal e queda de tensão do circuito 2 foram calculados e se aproximaram dos resultados obtidos pelo DCBT. Portanto, conclui-se que o dimensionamento do circuito 2 foi validado.

4.2.3. Validação de resultados: Circuito 3

Foram estipuladas as seguintes características para a validação do Circuito 3:

- Potência aparente: 5500 VA;
- Tensão nominal: 380 V;
- Tipo de circuito: Bifásico + Neutro;
- Tipo de instalação: Cabos unipolares justapostos (método de referência “F”);
- Comprimento do circuito: 20 metros;
- Temperatura ambiente: 45 °C;

- Agrupamento: 3 linhas justapostas;
- Material condutor: Cobre;
- Material de isolamento: PVC.

4.2.3.1. Dimensionamento pelo DCBT

No formulário de pré-dimensionamento do DCBT foram inseridos os dados conforme apresenta a Figura 4..

The image shows a software window titled 'Novo projeto 1' with a 'Salvar' button. A modal window titled 'Circuito de validação 3' is open, containing two columns of input fields. The left column, 'Dados principais', has: P - Potência aparente (VA) = 5500; V - Tensão nominal (V) = 380; l - Comprimento do circuito (m) = 20; Tipo de circuito = Bifásico + Neutro; Método de referência = F (justapostos). The right column, 'Detalhes da instalação', has: Características do cabo: Material = Cobre, Isolação = PVC, Tipo = Unipolar, Seção mínima = 1,5 mm²; Fatores de correção: Temp. do solo/ambiente = 45 °C, Circuitos agrupados = 3, Camadas de circuitos = 2; Tipo de instalação = Múltiplas camadas de condutores. A 'Dimensionar' button is at the bottom right.

Figura 4.11 – Formulário – Circuito de validação 3.

Após o dimensionamento, o DCBT fornece a tabela de resumo conforme apresentado na Figura 4.12.

5. RESUMO

Circuito de validação 3 - Resumo de dimensionamento	
In - Corrente nominal:	14,47 A
V - Tensão nominal:	380 V
Tipo de circuito:	Bifásico com neutro
Material condutor:	cobre
Temperatura de operação:	70 °C
Seção nominal do condutor:	4 mm ²
CC' - Capacidade de condução calculada:	16,65 A
ΔV% - Queda de tensão calculada:	0,85 %

Figura 4.12 – Tabela resumo gerada pelo DCBT para o circuito de validação 3

O cabo dimensionado possui a seção nominal de 4 mm², e capacidade de condução de corrente final de 16,65 A, e a queda de tensão do circuito foi de 0,85%. O relatório completo é apresentado no APÊNDICE C.

4.2.3.2. Dimensionamento para validação

Primeiro é necessário calcular a corrente nominal do circuito, conforme (4.6). Para isso, e por se tratar de um circuito trifásico, foi utilizado (2.17) apresentada na seção 2.2.

$$I_n = \frac{5500}{380} \approx 14,47 \text{ A} \quad (4.6)$$

A partir do cálculo realizado, tem-se que a corrente nominal do circuito é de, aproximadamente, 14,47 A. O valor calculado pelo DCBT foi de 14,47 A, conforme apresentado na Figura 4.12. Portanto, verifica-se que o valor de corrente nominal obtido pelo DCBT é válido.

4.2.3.2.1. Fatores de correção

O circuito 3 foi dimensionado para uma temperatura ambiente de 45°C, portanto faz-se necessário aplicar o fator de correção por temperatura, conforme apresentado no tópico 2.1.2.3. Utilizando a tabela 40 da NBR 5410, apresentada na

Figura D.1 (ANEXO D) e levando em consideração o material de isolamento PVC, foi obtido o fator de correção de 0,79.

Como há o agrupamento de 2 camadas circuitos, com 3 circuitos cada, é preciso aplicar o fator de correção por agrupamento. É utilizado a tabela 43 da NBR 5410, apresentada na Figura E.2 (ANEXO E), o fator de agrupamento de circuitos é de 0,62.

4.2.3.2.2. Capacidade de condução

Para obtenção da capacidade de condução inicial do cabo, será utilizado a tabela 38 da NBR 5410, Figura C.3 (ANEXO C). Para a seção nominal de 4 mm² em cobre, método de referência “F” e três condutores carregados justapostos, a capacidade de condução de corrente inicial é de 34 A.

Aplicando os fatores de correção obtidos na seção 4.2.2.2.1, utilizando (2.4) , em (4.7) é calculado a capacidade de condução corrigida do cabo.

$$CC = 34 \times 0,79 \times 0,62 = 16,653 \text{ A} \quad (4.7)$$

A partir do cálculo realizado, tem-se que a capacidade de condução corrigida para o cabo dimensionado é de 16,653 A. O valor calculado pelo DCBT foi de 16,653 A, conforme apresentado na Figura 4.12. Portanto, verifica-se que o resultado é válido.

4.2.3.2.3. Queda tensão

A resistividade do condutor de cobre de 4,0 mm² em corrente alternada é de aproximadamente 5,52 Ω/km a uma temperatura de operação de 70 °C (PRYSMIAN, 2020). Utilizando (2.14), tem-se em (4.8) a queda de tensão calculada para o circuito 1.

$$\Delta V\% = \frac{14,47 \times 2 \times 20 \times 0,00552}{380} \times 100\% \approx 0,84\% \quad (4.8)$$

O valor calculado para a queda de tensão foi de aproximadamente 0,84%, enquanto o valor obtido pelo DCB foi de 0,85%, ocorrendo a diferença devido a arredondamentos. Portanto, o cálculo efetuado pelo DCBT é válido.

4.2.3.3. Conclusão: Trecho de validação 3

Os valores para capacidade de condução corrigida, corrente nominal e queda de tensão do circuito 3 foram calculados e se aproximaram dos resultados obtidos pelo DCBT. Portanto, conclui-se que o dimensionamento do circuito 3 foi validado.

4.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o objetivo de apresentar o DCBT, este capítulo expôs, por meio de imagens, as interfaces construídas, apresentou a forma de uso e as funcionalidades da ferramenta desenvolvida.

Para a validação dos dimensionamentos feitos com o DCBT, foi realizado cálculos de forma manual para a comparação de resultados, indicando os fatores de correções utilizados em cada dimensionamento e os resultados obtidos para corrente nominal, seção nominal dimensionada do cabo, capacidade de condução calculada e a queda de tensão calculada.

5. CONCLUSÃO

A proposta do trabalho consiste no desenvolvimento de um *software* com interface gráfica, capaz de dimensionar cabos de acordo com ABNT NBR 5410. Como resultado, foi obtido o DCBT, um *software* desenvolvido com o *framework* Electron JS, capaz de ser executado em computadores com o sistema operacional Windows 10 ou Windows 11.

O DCBT mostrou-se capaz de dimensionar precisamente os circuitos propostos para a validação dos resultados. A partir de dados de entrada em um formulário de pré-dimensionamento, sendo estes referentes ao tipo de instalação do circuito a ser dimensionado, é possível dimensionar a seção nominal dos condutores de forma prática e rápida a partir da interface gráfica do DCBT. Por meio da interface, ainda é possível visualizar o relatório de dimensionamento realizado, apresentando o passo a passo de cálculos e as tabelas da norma utilizada. Também se mostrou capaz de salvar os dados dos circuitos e separá-los por projetos, possibilitando a organização, visualização e consulta dos circuitos já dimensionados.

A interface do aplicativo foi desenvolvida de forma que torne possível o implemento de novas funcionalidades. Portanto, abre possibilidades para a implementação de melhorias, como:

- Análise de curto-circuito;
- Dimensionamento de elementos de proteção;
- Dimensionamento de eletrodutos e eletrocalhas;
- Dimensionamento de cabos para Média Tensão.

Nesse sentido, é possível afirmar que o *software* desenvolvido foi capaz de atingir os objetivos propostos inicialmente. Capaz de ser executado em computadores, independente de *softwares* de terceiros (como o Excel), capaz de auxiliar no dimensionamento de cabos de baixa tensão e abrindo espaço para novos tipos de funcionalidades.

REFERÊNCIAS

ABNT, Norma Brasileira. **NBR 11301 - Cálculo da capacidade de condução de corrente de cabos isolados em regime permanente (fator de carga 100%) – Procedimento**, 1990.

ABNT, Norma Brasileira. **NBR 5410:2004 - Instalações Elétricas de Baixa Tensão** versão corrigida, 2008.

AMAZON AWS. **O que é IDE (Ambiente de desenvolvimento integrado)?**. Informações sobre o que é IDEs. Disponível em: <https://aws.amazon.com/pt/what-is/ide>. Acesso em 22 nov. 2024.

ASCENCIO, Ana Fernanda Gomes et al. **Fundamentos da Programação de Computadores**. 3ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2012.

BRUNA, Breno Pereira Dela; RAMPINELLI, Giuliano Arns. **Desenvolvimento de Software de Dimensionamento e Simulação de Sistemas Fotovoltaicos e Análise de Compensação de Energia Elétrica – PVGRID 2.0**, VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Fortaleza, 2020.

CAVALIN, Geraldo e CERVELIN, Severino. **Instalações elétricas prediais**, conforme norma NBR 5410:2004. 14ª ed. São Paulo: Érica, 2006.

CRESPO, C. C.; RUSHEL, R. C.. **Ferramentas BIM: um desafio para a melhoria no ciclo de vida do projeto**. III Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção Civil, 2007.

COSTA, Mardey. **13 aplicativos para eletricitistas e engenheiros que você precisa conhecer**. Viver de elétrica, 2022.

ELECTRON. **Home**. Documentação do Electron.js. Disponível em: <https://www.electronjs.org/>. Acesso em 20 set. 2024.

GIT. **Home**. Documentação do Git. Disponível em: <https://git-scm.com/>. Acesso em 24 nov. 2024.

GITHUB. **Sobre o GitHub e o Git**. Documentação do GitHub. Disponível em: <https://docs.github.com/pt/get-started/start-your-journey/about-github-and-git>. Acesso em 24 nov. 2024.

LIMA FILHO, Domingos Leite. **Projeto de Instalações Elétricas Prediais**. 12ª ed. São Paulo: Érica, 2011.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais**. 9ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

MARTINHO, Edson. **Baixa qualificação aumenta riscos e reduz oportunidades**. Revista Abreme Potência, São Paulo, v.118, out. 2015. p. 34-36.

MDN Web Docs. **CSS**, 2022. Documentação do CSS. Disponível em: <https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/CSS>. Acesso em 06 out. 2023.

MDN Web Docs. **HTML: Linguagem de Marcação de Hipertexto**, 2023. Documentação do HTML. Disponível em: <https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/HTML>. Acesso em 06 out. 2023.

MDN Web Docs. **JavaScript**, 2023. Documentação do JavaScript. Disponível em: <https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/JavaScript>. Acesso em 06 out. 2023.

MENDONÇA, Márcio et al. **Diagnóstico e atenuação de riscos de instalações elétricas em moradias de baixa renda**. Brazilian Journal of Development, 2019.

MERCADO LIVRE DE ENERGIA ELÉTRICA. **O impacto da energia no desenvolvimento socioeconômico do Brasil**, 2022. Matéria a respeito da importância da energia para o desenvolvimento. Disponível em: <https://www.mercadolivredeenergia.com.br/noticias/o-impacto-da-energia-no-desenvolvimento-socioeconomico-do-brasil/>. Acesso em 17 nov. 2024.

MICROSOFT. **Visual Studio**, 2024. Conheça a Visual Studio família. Disponível em: <https://visualstudio.microsoft.com/pt-br/>. Acesso em 23 nov. 2024.

MORAIS, Vinicius Oliveira et al. **A importância do projeto elétrico residencial na segurança e eficiência energética**. Revista Foco, Curitiba-PR, 2023.

NODEJS. **Home**. Documentação do Node.js. Disponível em: <https://nodejs.org/pt>. Acesso em 20 set. 2024.

PINHEIRO, Ana Paula Zanoli. **Energia e Sustentabilidade**. 2009.

PRYSMIAN GROUP. **Guia de dimensionamento de cabos para baixa tensão**, De acordo com a NBR 5410. Versão 09. 2020.

RCM CABOS ELÉTRICOS. **Downloads**. Informações sobre o aplicativo de dimensionamento da RCM. Disponível em: <https://www.rcmcaboseletricos.com.br/downloads>. Acesso em 15 nov. 2024.

SILVA, Rosimaria. **A importância do projeto elétrico residencial**. 2021.

SIEVERS, Carlos Alberto. **Desenvolvimento de Software Aplicável à Orçamentos de Obras Elétricas**. UTFPR, 2017.

TUCKER, Allen B. et al. **Linguagens de programação - princípios e paradigmas**. 2ª ed. São Paulo: AMGH, 2010.

VIEIRA, Bianca Alencar; NOGUEIRA, Lauro. **Construção civil: crescimento versus custos de produção civil**. Revista eletrônica Sistemas e Gestão, vol.13, 2018.

APÊNDICE A – RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO DO CIRCUITO 1

Circuito de validação 1

1. Corrente Calculada

P - Potência do Circuito: 300000 W

V - Tensão do Circuito: 800 V

Tipo de circuito: Trifásico

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \times V} = \frac{300000}{\sqrt{3} \times 800} = 216,51 \text{ A}$$

2. Fatores de correção

2.1 Fator de correção por temperatura

Temperatura °C	Isolação	
	PVC	EPR OU XLPE
Ambiente		
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
30	1	1
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,5	0,71
65	-	0,65
70	-	0,58
75	-	0,5
80	-	0,41
Solo		
10	1,1	1,07
15	1,05	1,04
20	1	1
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,8
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65
65	-	0,6
70	-	0,53
75	-	0,46
80	-	0,38

Temperatura do solo: 35 °C

Fator de correção resultante: 0,89

2.2 Fator de correção por resistividade térmica

Fatores de correção para resistividade térmica do solo					
Resistividade térmica K.m/W	Resistividade térmica do solo				
	1	1,5	2	2,5	3
Fator de correção	1,18	1,1	1,05	1	0,96

Resistividade térmica do solo: 2

Fator de correção resultante: 1,05

2.3 Fator de correção por agrupamento de circuitos

Fatores de correção por agrupamento de circuitos													
Ref.	Forma de agrupamento dos condutores	Número de circuitos ou de cabos multipolares											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9 a 11	12 a 15	16 a 19	≥20
1	Em feixe: ao ar livre ou sobre superfície; embutidos; em conduto fechado	1	0,8	0,7	0,65	0,6	0,57	0,54	0,52	0,5	0,45	0,41	0,38
2	Camada única sobre parede, piso, ou em bandeja não perfurada ou prateleira	1	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,7	0,7	0,7	0,7
3	Camada única no teto	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61	0,61	0,61
4	Camada única em bandeja perfurada	1	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
5	Camada única sobre leito, suporte etc.	1	0,87	0,82	0,8	0,8	0,79	0,79	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78

Referência para forma de agrupamento: 1

Quantidade circuitos agrupados: 1

Fator de agrupamento resultante: 1

2.4 Fator de correção por agrupamento de linhas enterradas

Fatores de correção por agrupamento para linhas em eletrodutos enterrados (um cabo por duto)				
Número de circuitos	Distâncias entre eletrodutos			
	Nulo	0,25 m	0,5 m	1,0 m
2	0,8	0,9	0,9	0,95
3	0,7	0,8	0,85	0,9
4	0,65	0,75	0,8	0,9
5	0,6	0,7	0,8	0,9
6	0,6	0,7	0,8	0,9

Quantidade de linhas agrupadas: 2

Distância entre linhas enterradas: 0,25 m

Fator de agrupamento resultante: 0,9

3. Capacidade de condução do cabo

Capacidade de condução de corrente: alumínio 90°C												
Seção nominal (mm ²)	Métodos de referência											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
16	64	58	60	55	79	71	72	64	84	76	73	61
25	84	76	78	71	105	93	94	84	101	90	93	78
35	103	94	96	87	130	116	115	103	126	112	112	94
50	125	113	115	104	157	140	138	124	154	136	132	112
70	158	142	145	131	200	179	175	156	198	174	163	138
95	191	171	175	157	242	217	210	188	241	211	193	164
120	220	197	201	180	281	251	242	216	280	245	220	186
150	253	226	230	206	323	289	277	248	324	283	249	210
185	288	256	262	233	368	330	314	281	371	323	279	236
240	338	300	307	273	433	389	368	329	439	382	322	272
300	387	344	352	313	499	447	421	377	508	440	364	308

Seção nominal (mm ²)	Métodos de referência											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
400	462	409	421	372	597	536	500	448	612	529	426	361
500	530	468	483	426	687	617	573	513	707	610	482	408
630	611	538	556	490	794	714	658	590	821	707	547	464
800	708	622	644	566	922	830	760	682	958	824	624	529
1.000	812	712	739	648	1.061	955	870	780	1.100	950	706	598

CC - Capacidade de condução inicial do cabo: 272 A

F_t - Fator de correção por temperatura: 0,89

F_{rst} - Fator de correção por resistividade térmica do solo: 1,05

F_{agc} - Fator de correção por agrupamento de circuitos: 1

F_{agl} - Fator de correção por agrupamento de linhas enterradas: 0,9

$$CC' = CC \times F_t \times F_{rst} \times F_{agc} \times F_{agl} = 272 \times 0,89 \times 1,05 \times 1 \times 0,9 = 228,77 \text{ A}$$

4. Queda de tensão

V - Tensão nominal: 800 V

I_n - Corrente nominal: 216,51 A

R - Resistividade do cabo: 0,00016 Ω/m

L - Comprimento do circuito: 163 m

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times I_n \times R \times L}{V} = \frac{\sqrt{3} \times 216,51 \times 0,00016 \times 163}{800} = 1,22 \%$$

5. RESUMO

Circuito de validação 1 - Resumo de dimensionamento	
In - Corrente nominal:	216,51 A
V - Tensão nominal:	800 V
Tipo de circuito:	Trifásico
Material condutor:	alumínio
Temperatura de operação:	90 °C
Seção nominal do condutor:	240 mm ²
CC' - Capacidade de condução calculada:	228,77 A
ΔV% - Queda de tensão calculada:	1,22 %

APÊNDICE B – RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO DO CIRCUITO 2

Circuito de validação 2

1. Corrente nominal informada

In - Corrente nominal: 70 A

2. Fatores de correção

2.1 Fator de correção por temperatura

Temperatura °C	Isolação	
	PVC	EPR OU XLPE
Ambiente		
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
30	1	1
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,5	0,71
65	-	0,65
70	-	0,58
75	-	0,5
80	-	0,41
Solo		
10	1,1	1,07
15	1,05	1,04
20	1	1
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,8
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65
65	-	0,6
70	-	0,53
75	-	0,46
80	-	0,38

Temperatura ambiente: 25 °C

Fator de correção resultante: 1,06

2.2 Fator de correção por agrupamento de circuitos

Fatores de correção por agrupamento de circuitos													
Ref.	Forma de agrupamento dos condutores	Número de circuitos ou de cabos multipolares											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9 a 11	12 a 15	16 a 19	≥20
1	Em feixe: ao ar livre ou sobre superfície; embutidos; em conduto fechado	1	0,8	0,7	0,65	0,6	0,57	0,54	0,52	0,5	0,45	0,41	0,38
2	Camada única sobre parede,	1	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,7	0,7	0,7	0,7

Fatores de correção por agrupamento de circuitos														
Ref.	Forma de agrupamento dos condutores	Número de circuitos ou de cabos multipolares												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9 a 11	12 a 15	16 a 19	≥20	
	piso, ou em bandeja não perfurada ou prateleira													
3	Camada única no teto	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61	0,61	0,61	
4	Camada única em bandeja perfurada	1	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	
5	Camada única sobre leito, suporte etc.	1	0,87	0,82	0,8	0,8	0,79	0,79	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	

Referência para forma de agrupamento: 2

Quantidade circuitos agrupados: 1

Fator de agrupamento resultante: 0,8

3. Capacidade de condução do cabo

Capacidade de condução de corrente: cobre 70°C							
Seção nominal (mm ²)	Métodos de referência						
	Cabos multipolares		Cabos unipolares				
	Dois condutores carregados	Três condutores carregados	Dois condutores carregados, justapostos	Três condutores carregados, em trifólio	Três condutores carregados, no mesmo plano		
					Justapostos	Espaçados	
E	E	F	F	F	G	G	
0,5	11	9	11	8	9	12	10
0,75	14	12	14	11	11	16	13
1	17	14	17	13	14	19	16
1,5	22	18	22	17	18	24	21
2,5	30	5	31	24	25	34	29
4	40	25	41	33	34	45	39
6	51	34	53	43	45	59	51
10	70	43	73	60	63	81	71
16	94	60	99	82	85	110	97
25	119	80	131	110	114	146	130
35	148	101	162	137	143	181	162
50	180	126	196	167	174	219	197
70	232	153	251	216	225	281	254
95	282	196	304	264	275	341	311
120	328	238	352	308	321	396	362
150	379	276	406	356	372	456	419
185	434	319	463	409	427	521	480
240	514	364	546	485	507	615	569
300	593	430	629	561	587	709	659
400	715	497	754	656	689	852	795
500	826	597	868	749	789	982	920
630	958	689	1.005	855	905	1.138	1.070
800	1.118	798	1.169	971	1.119	1.325	1.251
1.000	1.292	930	1.346	1.079	1.296	1.528	1.448

CC - Capacidade de condução inicial do cabo: 99 A

Ft - Fator de correção por temperatura: 1,06

Fagc - Fator de correção por agrupamento de circuitos: 0,8

$$CC' = CC \times F_t \times F_{agc} = 99 \times 1,06 \times 0,8 = 83,95 \text{ A}$$

4. Queda de tensão

V - Tensão nominal: 220 V

In - Corrente nominal: 70 A

R - Resistividade do cabo: 0,001389 Ω /m

L - Comprimento do circuito: 20 m

$$\Delta V\% = \frac{2 \times L \times R \times A}{V} = \frac{2 \times 20 \times 0,001389 \times 70,00}{220} = 1,77 \%$$

5. RESUMO

Circuito de validação 2 - Resumo de dimensionamento	
In - Corrente nominal:	70 A
V - Tensão nominal:	220 V
Tipo de circuito:	Monofásico
Material condutor:	cobre
Temperatura de operação:	70 °C
Seção nominal do condutor:	16 mm ²
CC' - Capacidade de condução calculada:	83,95 A
$\Delta V\%$ - Queda de tensão calculada:	1,77 %

APÊNDICE C – RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO DO CIRCUITO 3

Circuito de validação 3

1. Corrente Calculada

P - Potência do Circuito: 5500 W

V - Tensão do Circuito: 380 V

Tipo de circuito: Bifásico com neutro

$$I_n = \frac{P}{V} = \frac{5500}{380} = 14,47 \text{ A}$$

2. Fatores de correção

2.1 Fator de correção por temperatura

Temperatura °C	Isolação	
	PVC	EPR OU XLPE
Ambiente		
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
30	1	1
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,5	0,71
65	-	0,65
70	-	0,58
75	-	0,5
80	-	0,41
Solo		
10	1,1	1,07
15	1,05	1,04
20	1	1
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,8
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65
65	-	0,6
70	-	0,53
75	-	0,46
80	-	0,38

Temperatura ambiente: 45 °C

Fator de correção resultante: 0,79

2.2 Fator de correção por agrupamento de circuitos

Fatores de correção por agrupamento (Consistindo em mais de uma camada de condutores)						
Quantidade de camadas	Quantidade de circuitos trifásicos ou de cabos multipolares por camada					
	2	3	4 ou 5	6 a 8	9 ou mais	
2	0,68	0,62	0,6	0,58	0,56	

Fatores de correção por agrupamento (Consistindo em mais de uma camada de condutores)						
		Quantidade de circuitos trifásicos ou de cabos multipolares por camada				
		2	3	4 ou 5	6 a 8	9 ou mais
	3	0,62	0,57	0,55	0,53	0,51
	4 ou 5	0,6	0,55	0,53	0,51	0,49
	6 a 8	0,58	0,53	0,51	0,49	0,48
	9 ou mais	0,56	0,51	0,49	0,48	0,46

Número de circuitos por camada: 3

Quantidade de camadas: 2

Fator de agrupamento resultante: 0,62

3. Capacidade de condução do cabo

Capacidade de condução de corrente: cobre 70°C							
Seção nominal (mm ²)	Métodos de referência						
	Cabos multipolares		Cabos unipolares				
	Dois condutores carregados	Três condutores carregados	Dois condutores carregados, justapostos	Três condutores carregados, em trifólio	Três condutores carregados, no mesmo plano		
					Justapostos	Espaçados	
E	E	F	F	F	G	G	
0,5	11	9	11	8	9	12	10
0,75	14	12	14	11	11	16	13
1	17	14	17	13	14	19	16
1,5	22	18	22	17	18	24	21
2,5	30	5	31	24	25	34	29
4	40	25	41	33	34	45	39
6	51	34	53	43	45	59	51
10	70	43	73	60	63	81	71
16	94	60	99	82	85	110	97
25	119	80	131	110	114	146	130
35	148	101	162	137	143	181	162
50	180	126	196	167	174	219	197
70	232	153	251	216	225	281	254
95	282	196	304	264	275	341	311
120	328	238	352	308	321	396	362
150	379	276	406	356	372	456	419
185	434	319	463	409	427	521	480
240	514	364	546	485	507	615	569
300	593	430	629	561	587	709	659
400	715	497	754	656	689	852	795
500	826	597	868	749	789	982	920
630	958	689	1.005	855	905	1.138	1.070
800	1.118	798	1.169	971	1.119	1.325	1.251
1.000	1.292	930	1.346	1.079	1.296	1.528	1.448

CC - Capacidade de condução inicial do cabo: 34 A

Ft - Fator de correção por temperatura: 0,79

Fagc - Fator de correção por agrupamento de circuitos: 0,62

$$CC' = CC \times F_t \times F_{agc} = 34 \times 0,79 \times 0,62 = 16,65 \text{ A}$$

4. Queda de tensão

V - Tensão nominal: 380 V

In - Corrente nominal: 14,47 A

R - Resistividade do cabo: 0,005557 Ω/m

L - Comprimento do circuito: 20 m

$$\Delta V\% = \frac{2 \times L \times R \times I_n}{V} = \frac{2 \times 20 \times 0,005557 \times 14,47}{380} = 0,85 \%$$

5. RESUMO

Circuito de validação 3 - Resumo de dimensionamento	
In - Corrente nominal:	14,47 A
V - Tensão nominal:	380 V
Tipo de circuito:	Bifásico com neutro
Material condutor:	cobre
Temperatura de operação:	70 °C
Seção nominal do condutor:	4 mm ²
CC' - Capacidade de condução calculada:	16,65 A
$\Delta V\%$ - Queda de tensão calculada:	0,85 %

ANEXO A – SEÇÃO NOMINAL MÍNIMA DO CONDUTOR

Tabela 47 — Seção mínima dos condutores¹⁾

Tipo de linha		Utilização do circuito	Seção mínima do condutor mm ² - material
Instalações fixas em geral	Condutores e cabos isolados	Circuitos de iluminação	1,5 Cu 16 Al
		Circuitos de força ²⁾	2,5 Cu 16 Al
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	0,5 Cu ³⁾
	Condutores nus	Circuitos de força	10Cu 16 Al
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	4 Cu
Linhas flexíveis com cabos isolados		Para um equipamento específico	Como especificado na norma do equipamento
		Para qualquer outra aplicação	0,75 Cu ⁴⁾
		Circuitos a extra baixa tensão para aplicações especiais	0,75 Cu

¹⁾ Seções mínimas ditadas por razões mecânicas
²⁾ Os circuitos de tomadas de corrente são considerados circuitos de força.
³⁾ Em circuitos de sinalização e controle destinados a equipamentos eletrônicos é admitida uma seção mínima de 0,1 mm².
⁴⁾ Em cabos multipolares flexíveis contendo sete ou mais veias é admitida uma seção mínima de 0,1 mm².

Figura A.1 – Tabela 47 da NBR 5410

Fonte: ABNT NBR 5410/2008, p. 113.

ANEXO B – MÉTODOS DE INSTALAÇÃO

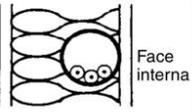
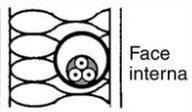
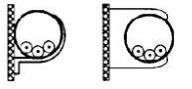
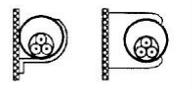
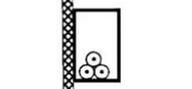
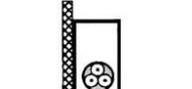
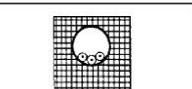
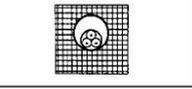
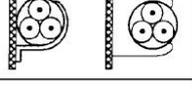
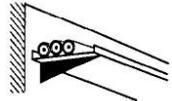
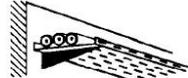
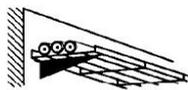
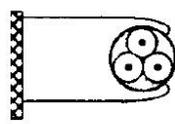
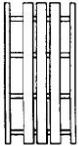
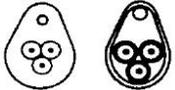
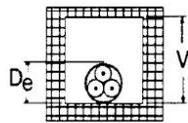
Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência ¹⁾
1	 Face interna	Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante ²⁾	A1
2	 Face interna	Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante ²⁾	A2
3		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto	B1
4		Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto	B2
5		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção não-circular sobre parede	B1
6		Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção não-circular sobre parede	B2
7		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em alvenaria	B1
8		Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em alvenaria	B2
11		Cabos unipolares ou cabo multipolar sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do cabo	C
11A		Cabos unipolares ou cabo multipolar fixado diretamente no teto	C

Figura B.1 – Tabela 33 da norma ABNT NBR 5410:2008
Fonte: ABNT NBR 5410/2008, p. 90 a 95.

Tabela 33 (continuação)

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência ¹⁾
11B		Cabos unipolares ou cabo multipolar afastado do teto mais de 0,3 vez o diâmetro do cabo	C
12		Cabos unipolares ou cabo multipolar em bandeja não-perfurada, perfilado ou prateleira ³⁾	C
13		Cabos unipolares ou cabo multipolar em bandeja perfurada, horizontal ou vertical ⁴⁾	E (multipolar) F (unipolares)
14		Cabos unipolares ou cabo multipolar sobre suportes horizontais, eletrocalha aramada ou tela	E (multipolar) F (unipolares)
15		Cabos unipolares ou cabo multipolar afastado(s) da parede mais de 0,3 vez o diâmetro do cabo	E (multipolar) F (unipolares)
16		Cabos unipolares ou cabo multipolar em leito	E (multipolar) F (unipolares)
17		Cabos unipolares ou cabo multipolar suspenso(s) por cabo de suporte, incorporado ou não	E (multipolar) F (unipolares)
18		Condutores nus ou isolados sobre isoladores	G
21		Cabos unipolares ou cabos multipolares em espaço de construção ⁵⁾ , sejam eles lançados diretamente sobre a superfície do espaço de construção, sejam instalados em suportes ou condutos abertos (bandeja, prateleira, tela ou leito) dispostos no espaço de construção ^{5) 6)}	$1,5 D_e \leq V < 5 D_e$ B2 $5 D_e \leq V < 50 D_e$ B1

ABNT NBR 5410:2004

Tabela 33 (continuação)

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência ¹⁾
22		Condutores isolados em eletroduto de seção circular em espaço de construção ^{5) 7)}	$1,5 D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
23		Cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroduto de seção circular em espaço de construção ^{5) 7)}	B2
24		Condutores isolados em eletroduto de seção não-circular ou eletrocalha em espaço de construção ⁵⁾	$1,5 D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
25		Cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroduto de seção não-circular ou eletrocalha em espaço de construção ⁵⁾	B2
26		Condutores isolados em eletroduto de seção não-circular embutido em alvenaria ⁶⁾	$1,5 \leq V < 5 D_e$ B2 $5 D_e \leq V < 50 D_e$ B1
27		Cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroduto de seção não-circular embutido em alvenaria	B2
31 32		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletrocalha sobre parede em percurso horizontal ou vertical	B1
31 ^a 32 ^a		Cabo multipolar em eletrocalha sobre parede em percurso horizontal ou vertical	B2

ABNT NBR 5410:2004

Tabela 33 (continuação)

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência ¹⁾
33		Condutores isolados ou cabos unipolares em canaleta fechada embutida no piso	B1
34		Cabo multipolar em canaleta fechada embutida no piso	B2
35		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletrocalha ou perfilado suspensa(o)	B1
36		Cabo multipolar em eletrocalha ou perfilado suspensa(o)	B2
41		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular contido em canaleta fechada com percurso horizontal ou vertical ⁷⁾	$1,5 D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
42		Condutores isolados em eletroduto de seção circular contido em canaleta ventilada embutida no piso	B1
43		Cabos unipolares ou cabo multipolar em canaleta ventilada embutida no piso	B1
51		Cabo multipolar embutido diretamente em parede termicamente isolante ²⁾	A1

Figura B.4– Continuação da tabela 33 da norma ABNT NBR 5410:2008

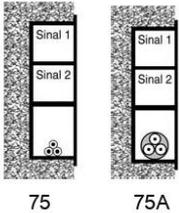
Fonte: ABNT NBR 5410/2008, p. 90 a 95.

ABNT NBR 5410:2004

Tabela 33 (continuação)

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência ¹⁾
52		Cabos unipolares ou cabo multipolar embutido(s) diretamente em alvenaria sem proteção mecânica adicional	C
53		Cabos unipolares ou cabo multipolar embutido(s) diretamente em alvenaria com proteção mecânica adicional	C
61		Cabo multipolar em eletroduto (de seção circular ou não) ou em canaleta não-ventilada enterrado(a)	D
61A		Cabos unipolares em eletroduto (de seção não-circular ou não) ou em canaleta não-ventilada enterrado(a) ⁸⁾	D
63		Cabos unipolares ou cabo multipolar diretamente enterrado(s), com proteção mecânica adicional ⁹⁾	D
71		Condutores isolados ou cabos unipolares em moldura	A1
72 72A		72 - Condutores isolados ou cabos unipolares em canaleta provida de separações sobre parede 72A - Cabo multipolar em canaleta provida de separações sobre parede	B1 B2
73		Condutores isolados em eletroduto, cabos unipolares ou cabo multipolar embutido(s) em caixilho de porta	A1

Tabela 33 (continuação)

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência ¹⁾
74		Condutores isolados em eletroduto, cabos unipolares ou cabo multipolar embutido(s) em caixilho de janela	A1
75 75A		75 - Condutores isolados ou cabos unipolares em canaleta embutida em parede 75A - Cabo multipolar em canaleta embutida em parede	B1 B2

1) Método de referência a ser utilizado na determinação da capacidade de condução de corrente. Ver 6.2.5.1.2.

2) Assume-se que a face interna da parede apresenta uma condutância térmica não inferior a 10 W/m².K.

3) Admitem-se também condutores isolados em perfilado, desde que nas condições definidas na nota de 6.2.11.4.1.

4) A capacidade de condução de corrente para bandeja perfurada foi determinada considerando-se que os furos ocupassem no mínimo 30% da área da bandeja. Se os furos ocuparem menos de 30% da área da bandeja, ela deve ser considerada como "não-perfurada".

5) Conforme a ABNT NBR IEC 60050 (826), os poços, as galerias, os pisos técnicos, os condutos formados por blocos alveolados, os forros falsos, os pisos elevados e os espaços internos existentes em certos tipos de divisórias (como, por exemplo, as paredes de gesso acartonado) são considerados espaços de construção.

6) De é o diâmetro externo do cabo, no caso de cabo multipolar. No caso de cabos unipolares ou condutores isolados, distinguem-se duas situações:

- três cabos unipolares (ou condutores isolados) dispostos em trifólio: De deve ser tomado igual a 2,2 vezes o diâmetro do cabo unipolar ou condutor isolado;
- três cabos unipolares (ou condutores isolados) agrupados num mesmo plano: De deve ser tomado igual a 3 vezes o diâmetro do cabo unipolar ou condutor isolado.

7) De é o diâmetro externo do eletroduto, quando de seção circular, ou altura/profundidade do eletroduto de seção não-circular ou da eletrocalha.

8) Admite-se também o uso de condutores isolados, desde que nas condições definidas na nota de 6.2.11.6.1.

9) Admitem-se cabos diretamente enterrados sem proteção mecânica adicional, desde que esses cabos sejam providos de armação (ver 6.2.11.6). Deve-se notar, porém, que esta Norma não fornece valores de capacidade de condução de corrente para cabos armados. Tais capacidades devem ser determinadas como indicado na ABNT NBR 11301.

NOTA Em linhas ou trechos verticais, quando a ventilação for restrita, deve-se atentar para risco de aumento considerável da temperatura ambiente no topo do trecho vertical.

6.2.4 Seleção e instalação em função das influências externas

NOTA As prescrições relativas à seleção e instalação das linhas, sob o ponto de vista das influências externas indicadas em 4.2.6, são apresentadas na tabela 34.

ANEXO C – CAPACIDADE DE CONDUÇÃO DE CORRENTE

ABNT NBR 5410:2004

Tabela 36 — Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D

Condutores: cobre e alumínio

Isolação: PVC

Temperatura no condutor: 70°C

Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo)

Seções nominais mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	63	52
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76	81	67
25	80	73	75	68	101	89	90	80	112	96	104	86
35	99	89	92	83	125	110	111	99	138	119	125	103
50	119	108	110	99	151	134	133	118	168	144	148	122
70	151	136	139	125	192	171	168	149	213	184	183	151
95	182	164	167	150	232	207	201	179	258	223	216	179
120	210	188	192	172	269	239	232	206	299	259	246	203
150	240	216	219	196	309	275	265	236	344	299	278	230
185	273	245	248	223	353	314	300	268	392	341	312	258
240	321	286	291	261	415	370	351	313	461	403	361	297
300	367	328	334	298	477	426	401	358	530	464	408	336
400	438	390	398	355	571	510	477	425	634	557	478	394
500	502	447	456	406	656	587	545	486	729	642	540	445
630	578	514	526	467	758	678	626	559	843	743	614	506
800	669	593	609	540	881	788	723	645	978	865	700	577
1 000	767	679	698	618	1 012	906	827	738	1 125	996	792	652
Alumínio												
16	48	43	44	41	60	53	54	48	66	59	62	52
25	63	57	58	53	79	70	71	62	83	73	80	66
35	77	70	71	65	97	86	86	77	103	90	96	80
50	93	84	86	78	118	104	104	92	125	110	113	94
70	118	107	108	98	150	133	131	116	160	140	140	117
95	142	129	130	118	181	161	157	139	195	170	166	138
120	164	149	150	135	210	186	181	160	226	197	189	157
150	189	170	172	155	241	214	206	183	261	227	213	178
185	215	194	195	176	275	245	234	208	298	259	240	200
240	252	227	229	207	324	288	274	243	352	305	277	230
300	289	261	263	237	372	331	313	278	406	351	313	260
400	345	311	314	283	446	397	372	331	488	422	366	305
500	396	356	360	324	512	456	425	378	563	486	414	345
630	456	410	416	373	592	527	488	435	653	562	471	391
800	529	475	482	432	687	612	563	502	761	654	537	446
1 000	607	544	552	495	790	704	643	574	878	753	607	505

Figura C.1 – Tabela 36 da norma ABNT NBR 5410:2008

Fonte: ABNT NBR 5410/2008, p. 101.

ABNT NBR 5410:2004

Tabela 37 — Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D

Condutores: cobre e alumínio

Isolação: EPR ou XLPE

Temperatura no condutor: 90°C

Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo)

Seções nominais mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	10	9	10	9	12	10	11	10	12	11	14	12
0,75	12	11	12	11	15	13	15	13	16	14	18	15
1	15	13	14	13	18	16	17	15	19	17	21	17
1,5	19	17	18,5	16,5	23	20	22	19,5	24	22	26	22
2,5	26	23	25	22	31	28	30	26	33	30	34	29
4	35	31	33	30	42	37	40	35	45	40	44	37
6	45	40	42	38	54	48	51	44	58	52	56	46
10	61	54	57	51	75	66	69	60	80	71	73	61
16	81	73	76	68	100	88	91	80	107	96	95	79
25	106	95	99	89	133	117	119	105	138	119	121	101
35	131	117	121	109	164	144	146	128	171	147	146	122
50	158	141	145	130	198	175	175	154	209	179	173	144
70	200	179	183	164	253	222	221	194	269	229	213	178
95	241	216	220	197	306	269	265	233	328	278	252	211
120	278	249	253	227	354	312	305	268	382	322	287	240
150	318	285	290	259	407	358	349	307	441	371	324	271
185	362	324	329	295	464	408	395	348	506	424	363	304
240	424	380	386	346	546	481	462	407	599	500	419	351
300	486	435	442	396	628	553	529	465	693	576	474	396
400	579	519	527	472	751	661	628	552	835	692	555	464
500	664	595	604	541	864	760	718	631	966	797	627	525
630	765	685	696	623	998	879	825	725	1 122	923	711	596
800	885	792	805	721	1 158	1 020	952	837	1 311	1 074	811	679
1 000	1 014	908	923	826	1 332	1 173	1 088	957	1 515	1 237	916	767
Alumínio												
16	64	58	60	55	79	71	72	64	84	76	73	61
25	84	76	78	71	105	93	94	84	101	90	93	78
35	103	94	96	87	130	116	115	103	126	112	112	94
50	125	113	115	104	157	140	138	124	154	136	132	112
70	158	142	145	131	200	179	175	156	198	174	163	138
95	191	171	175	157	242	217	210	188	241	211	193	164
120	220	197	201	180	281	251	242	216	280	245	220	186
150	253	226	230	206	323	289	277	248	324	283	249	210
185	288	256	262	233	368	330	314	281	371	323	279	236
240	338	300	307	273	433	389	368	329	439	382	322	272
300	387	344	352	313	499	447	421	377	508	440	364	308
400	462	409	421	372	597	536	500	448	612	529	426	361
500	530	468	483	426	687	617	573	513	707	610	482	408
630	611	538	556	490	794	714	658	590	821	707	547	464
800	708	622	644	566	922	830	760	682	958	824	624	529
1 000	812	712	739	648	1 061	955	870	780	1 108	950	706	598

Figura C.2 – Tabela 37 da norma ABNT NBR 5410:2008
Fonte: ABNT NBR 5410/2008, p. 102.

Tabela 38 — Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência E, F e G
Condutores: cobre e alumínio
Isolação: PVC
Temperatura no condutor: 70°C
Temperatura ambiente de referência: 30°C

Seções nominais dos condutores mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33						
	Cabos multipolares			Cabos unipolares ¹⁾			
	Dois condutores carregados	Três condutores carregados	Dois condutores carregados, justapostos	Três condutores carregados, em trifólio	Três condutores carregados, no mesmo plano	Espaçados	
						Justapostos	Horizontal
Método E	Método E	Método F	Método F	Método F	Método G	Método G	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Cobre							
0,5	11	9	11	8	9	12	10
0,75	14	12	14	11	11	16	13
1	17	14	17	13	14	19	16
1,5	22	18,5	22	17	18	24	21
2,5	30	25	31	24	25	34	29
4	40	34	41	33	34	45	39
6	51	43	53	43	45	59	51
10	70	60	73	60	63	81	71
16	94	80	99	82	85	110	97
25	119	101	131	110	114	146	130
35	148	126	162	137	143	181	162
50	180	153	196	167	174	219	197
70	232	196	251	216	225	281	254
95	282	238	304	264	275	341	311
120	328	276	352	308	321	396	362
150	379	319	406	356	372	456	419
185	434	364	463	409	427	521	480
240	514	430	546	485	507	615	569
300	593	497	629	561	587	709	659
400	715	597	754	656	689	852	795
500	826	689	868	749	789	982	920
630	958	798	1005	855	905	1138	1070
800	1118	930	1169	971	1119	1325	1251
1 000	1 292	1 073	1 346	1 079	1 296	1 528	1 448
Alumínio							
16	73	61	73	62	65	84	73
25	89	78	98	84	87	112	99
35	111	96	122	105	109	139	124
50	135	117	149	128	133	169	152
70	173	150	192	166	173	217	196
95	210	183	235	203	212	265	241
120	244	212	273	237	247	308	282
150	282	245	316	274	287	356	327
185	322	280	363	315	330	407	376
240	380	330	430	375	392	482	447

Tabela 38 (conclusão)

Seções nominais dos condutores mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33						
	Cabos multipolares		Cabos unipolares ¹⁾				
	Dois condutores carregados	Três condutores carregados	Dois condutores carregados, justapostos	Três condutores carregados, em trifólio	Três condutores carregados, no mesmo plano		
					Justapostos	Espaçados	
	Método E	Método E	Método F	Método F		Método F	Horizontal Método G
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Alumínio							
300	439	381	497	434	455	557	519
400	528	458	600	526	552	671	629
500	608	528	694	610	640	775	730
630	705	613	808	711	640	775	730
800	822	714	944	832	875	1050	1000
1 000	948	823	1 092	965	1 015	1 213	1 161

¹⁾ Ou, ainda, condutores isolados, quando o método de instalação permitir.

Tabela 39 — Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência E, F e G

Condutores: cobre e alumínio

Isolação: EPR ou XLPE

Temperatura no condutor: 90°C

Temperatura ambiente de referência: 30°C

Seções nominais dos condutores mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33						
	Cabos multipolares		Cabos unipolares ¹⁾				
	Dois condutores carregados	Três condutores carregados	Dois condutores carregados, justapostos	Três condutores carregados, em trifólio	Três condutores carregados, no mesmo plano		
					Justapostos	Espaçados	
	Método E	Método E	Método F	Método F		Método F	Horizontal Método G
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Cobre							
0,5	13	12	13	10	10	15	12
0,75	17	15	17	13	14	19	16
1	21	18	21	16	17	23	19
1,5	26	23	27	21	22	30	25
2,5	36	32	37	29	30	41	35
4	49	42	50	40	42	56	48
6	63	54	65	53	55	73	63
10	86	75	90	74	77	101	88
16	115	100	121	101	105	137	120
25	149	127	161	135	141	182	161

Figura C.4 – Tabela 38 e 39 da norma ABNT NBR 5410:2008
Fonte: ABNT NBR 5410/2008, p. 104.

Tabela 39 (conclusão)

Seções nominais dos condutores mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33						
	Cabos multipolares			Cabos unipolares ¹⁾			
	Dois condutores carregados	Três condutores carregados	Dois condutores carregados, justapostos	Três condutores carregados, em trifólio	Três condutores carregados, no mesmo plano		
					Justapostos	Espaçados	
	Método E	Método E	Método F	Método F		Método F	Horizontal Método G
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Cobre							
35	185	158	200	169	176	226	201
50	225	192	242	207	216	275	246
70	289	246	310	268	279	353	318
95	352	298	377	328	342	430	389
120	410	346	437	383	400	500	454
150	473	399	504	444	464	577	527
185	542	456	575	510	533	661	605
240	641	538	679	607	634	781	719
300	741	621	783	703	736	902	833
400	892	745	940	823	868	1 085	1 008
500	1 030	859	1 083	946	998	1 253	1 169
630	1 196	995	1 254	1 088	1 151	1 454	1 362
800	1 396	1 159	1 460	1 252	1 328	1 696	1 595
1 000	1 613	1 336	1 683	1 420	1 511	1 958	1 849
Alumínio							
16	91	77	90	76	79	103	90
25	108	97	121	103	107	138	122
35	135	120	150	129	135	172	153
50	164	146	184	159	165	210	188
70	211	187	237	206	215	271	244
95	257	227	289	253	264	332	300
120	300	263	337	296	308	387	351
150	346	304	389	343	358	448	408
185	397	347	447	395	413	515	470
240	470	409	530	471	492	611	561
300	543	471	613	547	571	708	652
400	654	566	740	663	694	856	792
500	756	652	856	770	806	991	921
630	879	755	996	899	942	1 154	1 077
800	1 026	879	1 164	1 056	1 106	1 351	1 266
1 000	1 186	1 012	1 347	1 226	1 285	1 565	1 472

¹⁾ Ou, ainda, condutores isolados, quando o método de instalação permitir.

ANEXO D – TEMPERATURA E RESISTIVIDADE TÉRMICA DO SOLO

NOTA Os fatores de correção da tabela 40 não consideram o aumento de temperatura devido à radiação solar ou a outras radiações infravermelhas. Quando os condutores forem submetidos a tais radiações, as capacidades de condução de corrente devem ser calculadas pelos métodos especificados na ABNT NBR 11301.

Tabela 40 — Fatores de correção para temperaturas ambientes diferentes de 30°C para linhas não-subterrâneas e de 20°C (temperatura do solo) para linhas subterrâneas

Temperatura °C	Isolação	
	PVC	EPR ou XLPE
Ambiente		
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,50	0,71
65	–	0,65
70	–	0,58
75	–	0,50
80	–	0,41
Do solo		
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,80
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65
65	–	0,60
70	–	0,53
75	–	0,46
80	–	0,38

Figura D.1 – Tabela 40 da norma ABNT NBR 5410:2008

Fonte: ABNT NBR 5410/2008, p. 106.

Tabela 41— Fatores de correção para linhas subterrâneas em solo com resistividade térmica diferente de 2,5 K.m/W

Resistividade térmica K.m/W	1	1,5	2	3
Fator de correção	1,18	1,1	1,05	0,96
NOTAS				
1 Os fatores de correção dados são valores médios para as seções nominais abrangidas nas tabelas 36 e 37, com uma dispersão geralmente inferior a 5%.				
2 Os fatores de correção são aplicáveis a cabos em eletrodutos enterrados a uma profundidade de até 0,8 m.				
3 Os fatores de correção para cabos diretamente enterrados são mais elevados para resistividades térmicas inferiores a 2,5 K.m/W e podem ser calculados pelos métodos indicados na ABNT NBR 11301.				

Figura D.2 – Tabela 41 da norma ABNT NBR 5410:2008

Fonte: ABNT NBR 5410/2008, p. 107.

ANEXO E – AGRUPAMENTO DE CONDUTORES

Tabela 42 — Fatores de correção aplicáveis a condutores agrupados em feixe (em linhas abertas ou fechadas) e a condutores agrupados num mesmo plano, em camada única

Ref.	Forma de agrupamento dos condutores	Número de circuitos ou de cabos multipolares												Tabelas dos métodos de referência
		1	2	3	4	5	6	7	8	9 a 11	12 a 15	16 a 19	≥20	
1	Em feixe: ao ar livre ou sobre superfície; embutidos; em conduto fechado	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38	36 a 39 (métodos A a F)
2	Camada única sobre parede, piso, ou em bandeja não perfurada ou prateleira	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70				36 e 37 (método C)
3	Camada única no teto	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61				
4	Camada única em bandeja perfurada	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72				38 e 39 (métodos E e F)
5	Camada única sobre leito, suporte etc.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78				

NOTAS

- 1 Esses fatores são aplicáveis a grupos homogêneos de cabos, uniformemente carregados.
- 2 Quando a distância horizontal entre cabos adjacentes for superior ao dobro de seu diâmetro externo, não é necessário aplicar nenhum fator de redução.
- 3 O número de circuitos ou de cabos com o qual se consulta a tabela refere-se
 - à quantidade de grupos de dois ou três condutores isolados ou cabos unipolares, cada grupo constituindo um circuito (supondo-se um só condutor por fase, isto é, sem condutores em paralelo), e/ou
 - à quantidade de cabos multipolares que compõe o agrupamento, qualquer que seja essa composição (só condutores isolados, só cabos unipolares, só cabos multipolares ou qualquer combinação).
- 4 Se o agrupamento for constituído, ao mesmo tempo, de cabos bipolares e tripolares, deve-se considerar o número total de cabos como sendo o número de circuitos e, de posse do fator de agrupamento resultante, a determinação das capacidades de condução de corrente, nas tabelas 36 a 39, deve ser então efetuada:
 - na coluna de dois condutores carregados, para os cabos bipolares; e
 - na coluna de três condutores carregados, para os cabos tripolares.
- 5 Um agrupamento com N condutores isolados, ou N cabos unipolares, pode ser considerado composto tanto de N/2 circuitos com dois condutores carregados quanto de N/3 circuitos com três condutores carregados.
- 6 Os valores indicados são médios para a faixa usual de seções nominais, com dispersão geralmente inferior a 5%.

Figura E.1 – Tabela 42 da norma ABNT NBR 5410:2008

Fonte: ABNT NBR 5410/2008, p. 108.

ABNT NBR 5410:2004

Tabela 43 — Fatores de correção aplicáveis a agrupamentos consistindo em mais de uma camada de condutores – Métodos de referência C (tabelas 36 e 37), E e F (tabelas 38 e 39)

		Quantidade de circuitos trifásicos ou de cabos multipolares por camada				
		2	3	4 ou 5	6 a 8	9 e mais
Quantidade de camadas	2	0,68	0,62	0,60	0,58	0,56
	3	0,62	0,57	0,55	0,53	0,51
	4 ou 5	0,60	0,55	0,52	0,51	0,49
	6 a 8	0,58	0,53	0,51	0,49	0,48
	9 e mais	0,56	0,51	0,49	0,48	0,46

NOTAS

1 Os fatores são válidos independentemente da disposição da camada, se horizontal ou vertical.

2 Sobre condutores agrupados em uma única camada, ver tabela 42 (linhas 2 a 5 da tabela).

3 Se forem necessários valores mais precisos, deve-se recorrer à ABNT NBR 11301.

Tabela 44 — Fatores de agrupamento para linhas com cabos diretamente enterrados

Número de circuitos	Distâncias entre cabos ¹⁾ (a)				
	Nula	Um diâmetro de cabo	0,125 m	0,25 m	0,5 m
2	0,75	0,80	0,85	0,90	0,90
3	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
4	0,60	0,60	0,70	0,75	0,80
5	0,55	0,55	0,65	0,70	0,80
6	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80

¹⁾

Cabos multipolares



Cabos unipolares



NOTA Os valores indicados são aplicáveis para uma profundidade de 0,7 m e uma resistividade térmica do solo de 2,5 K.m/W. São valores médios para as dimensões de cabos abrangidas nas tabelas 36 e 37. Os valores médios arredondados podem apresentar erros de até ± 10% em certos casos. Se forem necessários valores mais precisos, deve-se recorrer à ABNT NBR 11301.

Figura E.2 – Tabela 43 e 44 da norma ABNT NBR 5410:2008

Fonte: ABNT NBR 5410/2008, p. 109.

ABNT NBR 5410:2004

Tabela 45 — Fatores de agrupamento para linhas em eletrodutos enterrados¹⁾

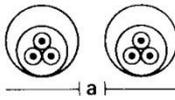
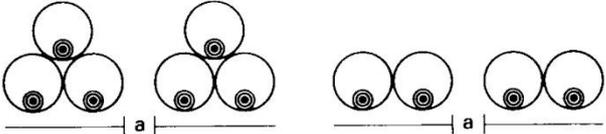
Cabos multipolares em eletrodutos – Um cabo por eletroduto				
Número de circuitos	Espaçamento entre eletrodutos (a)			
	Nulo	0,25 m	0,5 m	1,0 m
2	0,85	0,90	0,95	0,95
3	0,75	0,85	0,90	0,95
4	0,70	0,80	0,85	0,90
5	0,65	0,80	0,85	0,90
6	0,60	0,80	0,80	0,80
Condutores isolados ou cabos unipolares em eletrodutos ²⁾ – Um condutor por eletroduto				
Número de circuitos (grupos de dois ou três condutores)	Espaçamento entre eletrodutos (a)			
	Nulo	0,25 m	0,5 m	1,0 m
2	0,80	0,90	0,90	0,95
3	0,70	0,80	0,85	0,90
4	0,65	0,75	0,80	0,90
5	0,60	0,70	0,80	0,90
6	0,60	0,70	0,80	0,90
(a)				
Cabos multipolares		Cabos unipolares		
				
¹⁾ Os valores indicados são aplicáveis para uma profundidade de 0,7 m e uma resistividade térmica do solo de 2,5 K.m/W. São valores médios para as seções de condutores constantes nas tabelas 36 e 37. Os valores médios arredondados podem apresentar erros de até ±10% em certos casos. Se forem necessários valores mais precisos, deve-se recorrer à ABNT NBR 11301.				
²⁾ Deve-se atentar para as restrições e problemas que envolvem o uso de condutores isolados ou cabos unipolares em eletrodutos metálicos quando se tem um único condutor por eletroduto.				

Figura E.3 – Tabela 45 da norma ABNT NBR 5410:2008

Fonte: ABNT NBR 5410/2008, p. 110.