



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO HERMÍNIO OMETTO**

**NÚCLEO DE ENGENHARIA**

**ENGENHARIA ELÉTRICA**

**Projetos de Sistemas Elétricos**

**Projeto Final - Instalações Elétricas**

Nome completo	RA
Carlos Henrique de Araújo	109640
Erick Henrique Gonçalves	108968
José Carlos Franchini Junior	109535
Paulo Ijano Motta Junior	109302

Araras

Junho 2025

## **1. INTRODUÇÃO**

Este trabalho tem como objetivo desenvolver o projeto completo de uma subestação elétrica, desde o ponto de alimentação até a entrega final da energia, aplicando os conhecimentos adquiridos tanto nas aulas teóricas quanto nas atividades práticas. Foram considerados aspectos essenciais como: cálculos de curto-circuito (na entrada, na transmissão e na carga), dimensionamento dos cabos condutores nas diferentes áreas (subestação, QGF, área 1, área 2 e área 3), levando em conta fatores de potência, demanda e segurança, além da escolha adequada dos disjuntores de proteção, garantindo assim a confiabilidade e segurança da instalação.

A realização deste estudo contribuiu para uma compreensão mais profunda sobre o funcionamento e os passos necessários na elaboração de um projeto elétrico dessa escala, abordando também os desafios enfrentados, como a queda no fator de potência causada pelo uso de cargas indutivas (motores) e sua compensação através da instalação de bancos de capacitores.

Este documento se mostra relevante para a sociedade atual, especialmente diante do crescimento acelerado do consumo de energia e da evolução tecnológica dos equipamentos. Por isso, torna-se fundamental considerar sistemas de proteção modernos, condutores adequados, disjuntores corretos e, principalmente, a garantia da qualidade da energia fornecida.

Com base nos resultados obtidos, que foram compatíveis com o que se esperava, e validados por meio do uso de softwares especializados, é possível afirmar que o projeto foi bem-sucedido em alcançar os objetivos propostos.

## **2. DESENVOLVIMENTO**

A elaboração deste projeto contou com o apoio de softwares especializados para atender às demandas técnicas da proposta. Foram utilizados: Microsoft Excel, Planilha de Curto Circuito, DCE, AutoCAD Plant 3D e Dialux, além da consulta às normas técnicas em vigor, como a ABNT NBR 5419, que trata da proteção contra descargas atmosféricas, e a catálogos de fabricantes reconhecidos, como motores WEG, cabos Prysmian, bancos de capacitores e disjuntores da Siemens.

O ponto de partida foi a definição dos motores que seriam instalados nas diferentes áreas da planta industrial. Após análise técnica, o modelo mais compatível com a demanda operacional foi o W22 IR3 Premium de 4 polos, conforme especificado no catálogo da WEG, destacando-se pelo elevado rendimento e eficiência energética.

Com os dados dos motores e demais cargas, foram feitos os cálculos de corrente usando o Excel. Esses cálculos consideraram a potência aparente de base (100 MVA) e as tensões do transformador, tanto no primário quanto no secundário. Para refletir melhor a realidade do funcionamento simultâneo dos equipamentos, foi aplicado um fator de demanda de 0,85 sobre a soma das correntes. Esse valor ajudou a obter uma estimativa mais próxima do consumo real do sistema.

Com base nesses resultados, foi possível dimensionar corretamente os bancos de capacitores, especialmente nas áreas com grande presença de cargas indutivas, garantindo a correção do fator de potência e a qualidade da energia distribuída.

### **2.1. LEVANTAMENTO DE DADOS**

Os dados de Fator de Potência (FP) e Rendimento foram encontrados em catálogos da WEG, após as potências dos motores serem disponibilizadas pelo cliente (exercício).

Quadro 1 – Dados das cargas

Área	Carga	Potência Mecânica (CV)	Fator de Potência	Rendimento	Potência Ativa (kW)
1	Motor 1	60	0.85	0.95	45
	Motor 2	150	0.86	0.958	110
	Motor 3	20	0.81	0.93	15
	Motor 4	150	0.86	0.958	110
	Motor 5	20	0.81	0.93	15
2	Motor 6	20	0.81	0.93	15
	Motor 7	30	0.81	0.936	22
3	Auxiliar	-	0.92	-	80
	Auxiliar	-	0.92	-	80
	Aquecimento 1	-	1	-	30
	Aquecimento 2	-	1	-	30
	Aquecimento 3	-	1	-	30
Total	-	-	-	-	582

Fonte: o autor.

## 2.2. DIMENSIONAMENTO DO TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA

### 2.2.1. Dimensionamento

Com os dados obtidos foi possível determinar a potência aparente de cada carga e ao final, a soma de todas as cargas resultou em uma potência total de 643,74 kVA.

Quadro 2 – Cálculo de Potência Total Aparente

Área	Carga	Potência Mecânica (CV)	FP	Rendimento	Potência Ativa (kW)	Ângulo (°)	Potência Reativa (kVar)	Potência Aparente (kVA)
1	Motor 1	60	0.85	0.95	45	31.79	27.89	52.94
	Motor 2	150	0.86	0.958	110	30.68	65.27	127.91
	Motor 3	20	0.81	0.93	15	35.90	10.86	18.52
	Motor 4	150	0.86	0.958	110	30.68	65.27	127.91
2	Motor 5	20	0.81	0.93	15	35.90	10.86	18.52
	Motor 6	20	0.81	0.93	15	35.90	10.86	18.52
	Motor 7	30	0.81	0.936	22	35.90	15.93	27.16
3	Auxiliar	-	0.92	-	80	23.07	34.08	86.96
	Auxiliar	-	0.92	-	80	23.07	34.08	86.96
	Aquecimento 1	-	1	-	30	0.00	0.00	30.00
	Aquecimento 2	-	1	-	30	0.00	0.00	30.00
	Aquecimento 3	-	1	-	30	0.00	0.00	30.00
Total	-	-	-	-	582	-	275.10	643.74

Fonte: o autor.

Considerando um fator de demanda conservador de 0,85, a potência aplicada resultou em 574,21 kVA.

**Quadro 3 – Dimensionamento do Transformador**

<b>Tensão de Entrada TF =</b>	13800	V	
<b>Tensão de Saída TF =</b>	380	V	
<b>Fator de demanda =</b>	0.85	-	* Fator de demanda considerado conservador
<b>Potência Aparente Mínima do TF =</b>	574.21	KVA	
<b>Potência Aparente Corrigida do TF =</b>	746.47	KVA	* Foi dimensionado com 30% a mais da corrente mínima considerando futuras expansões

Fonte: o autor.


Tendo nossa potência de operação definida, consideramos um aumento de 30% em relação a ela para futuras instalações e dimensionamos um transformador. Como o valor calculado foi de 746,47 kVA, o próximo transformador tabelado acima era de 750 kVA.

### **2.2.2. Modelo de Transformador Escolhido**

Transformador Seco 750.0kVA 13.8/0.38kV CST IP-23 NA.

### **2.2.3. Especificações Sumárias**

Figura 1 – Folha de Dados do Transformador

FOLHA DE DADOS						
Transformador Seco						
<b>Identificação</b>						
Código do produto:			14543081			
Tipo :			Transformador abaixador			
Norma / Especificação :			NBR 5356-11			
<b>Características do ambiente</b>						
Instalação :			Abrigado			
Altitude máxima de instalação (m.s.n.m) :			1000.0			
Atmosfera :			Não agressiva			
Temperatura máxima do ambiente (°C) :			40.0			
<b>Características elétricas</b>						
Frequência (Hz): 60.0		Fases: Trifásico		Grupo de ligação: Dyn1		
Enrolamento	Potência (kVA)	Tensão (kV)	Ligação	Comutação		
Alta tensão	750.0	13.8 -4x0.6 kV	Triângulo	CST		
Baixa Tensão		0.38	Estrela			
Elevação de temperatura dos enrolamentos média (°C)				100.0		
Elevação de temperatura dos enrolamentos ponto mais quente (°C)				115.0		
Classe do material isolante				F (155 °C)		
Ensaio dielétrico	Alta tensão		Baixa Tensão			
	Fase	Neutro	Fase	Neutro		
Nível de isolamento (kV)	15.0		1.1	1.1		
Tensão de impulso (pleno) (kV)	95.0		0.0	0.0		
Tensão de impulso (cortado) (kV)	105.0		0.0			
Tensão aplicada (kV)	34.0		3.0	3.0		
Tensão induzida (kV)	2 x Vn		2xVn	2xVn		
Temperatura de Referência @ 120.0 °C - AN				100%		
Perdas a vazio (kW)				2.4		
Perdas em carga (kW)						
Perda Total (kW)				12.0		
Corrente de excitação (%)				1.7		
Alta/Baixa tensão	Base		Impedância @ 120.0 °C - AN (%)			
	Posição (kV)	Potência (kVA)	6.0			
	13.8 / 0.38	750.0				
Refrigeração				AN		
Nível de ruído (dB)				64.0		
Descargas parciais (pC)				10.0		
Corrente de inrush (Apk)						
Fator K				K1		
Fator de Carga [%]	Regulação (100% de carga)					
	AN (Φ = 0.8)	AN (Φ = 0.9)	AN (Φ = 1)			
100	4.62	3.82	1.45			

Fonte: Site da WEG.

## 2.3. CÁLCULO DE CURTO-CIRCUITO

### 2.3.1. Valores Iniciais

Para iniciar o cálculo de nível de curto-circuito, é fundamental dispor de alguns valores iniciais que servem como base para todas as etapas subsequentes. No nosso caso, o exercício forneceu os seguintes dados:

- **Tensão Primária ( $V_p$ ):** Esta é a tensão do lado de alta tensão do transformador ou do ponto de alimentação principal do sistema elétrico. Ela é geralmente especificada em kV (quilovolts) e representa o nível de tensão da rede antes da transformação ou do ponto de curto-circuito. No contexto de cálculos de curto-circuito, a tensão primária é crucial para determinar os valores base no lado primário do sistema e, conseqüentemente, as correntes de curto-circuito.
- **Tensão Secundária ( $V_s$ ):** Refere-se à tensão do lado de baixa tensão do transformador ou do ponto onde o curto-circuito está sendo analisado, após a transformação. Também especificada em kV (quilovolts), a tensão secundária é essencial para estabelecer os valores base no lado secundário do sistema e para calcular as correntes de curto-circuito que fluirão nesse nível de tensão.
- **Impedância de Sequência Positiva ( $Z_1$ ):** A impedância de sequência positiva representa a oposição ao fluxo de corrente para correntes balanceadas em um sistema trifásico. É um valor fundamental para o cálculo de curto-circuito trifásico (simétrico), pois define a impedância do sistema para a corrente de curto-circuito que flui de forma equilibrada pelas três fases. É expressa em ohms ( $\Omega$ ) ou em pu (por unidade). Para equipamentos como transformadores, a impedância de sequência positiva é geralmente fornecida pelo fabricante. Para linhas de transmissão, é calculada com base nas características físicas da linha (resistência e reatância).
- **Impedância de Sequência Zero ( $Z_0$ ):** A impedância de sequência zero é utilizada para cálculos de curto-circuito assimétricos, como o curto-

circuito fase-terra. Ela representa a oposição ao fluxo de correntes de sequência zero, que são as correntes que fluem de forma desequilibrada e retornam pela terra ou por outros caminhos de retorno. Assim como a impedância de sequência positiva, é expressa em ohms ( $\Omega$ ) ou em pu. Seu valor é particularmente importante para transformadores e linhas de transmissão, e seu cálculo pode envolver considerações sobre o aterramento do sistema.

- **Potência Base (Sbase):** Uma potência de referência escolhida arbitrariamente para o sistema, utilizada para converter valores de ohms para por unidade (pu) e vice-versa.
- **Corrente Base Primária (Ibase,p):** A corrente de referência no lado primário do sistema, correspondente à potência base e à tensão primária.

$$I_{base,p} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3} \times V_p} \text{ (para sistemas trifásicos, onde } V_p \text{ é a tensão de linha-linha).}$$

- **Corrente Base Secundária (Ibase,s):** A corrente de referência no lado secundário do sistema, correspondente à potência base e à tensão secundária.

$$I_{base,s} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3} \times V_s} \text{ (para sistemas trifásicos, onde } V_s \text{ é a tensão de linha-linha).}$$

- **Impedância Base Primária (Zbase,p):** Representa: A impedância de referência no lado primário do sistema.

$$Z_{base,p} = \frac{V_p^2}{S_{base}} \text{ (onde } V_p \text{ é a tensão de linha-linha).}$$

- **Impedância Base Secundária (Zbase,s):** Representa: A impedância de referência no lado secundário do sistema.

$$Z_{base,s} = \frac{V_s^2}{S_{base}} \text{ (onde } V_s \text{ é a tensão de linha-linha).}$$



Quadro 4 –Resumo de Valores Iniciais para Cálculo de Curto-Circuito

	ETAPAS	VALOR	UNIDADE	OBSERVAÇÃO
VALORES INICIAIS	VALORES BASE			
	Tensão base - MT - VB	13800	V	13,8 kV
	Potência base	100000000	VA	100 MVA
	Impedância base - Zb	1.9044	Ohms	
	Corrente base - Ib	4183.697603	A	4,18 kA
	tensão base - BT - Vbbt	380	V	
	Corrente base - Ibbt	151934.2814	A	151,93kA
	IMPEDÂNCIA			
	Seq positiva - Zps	0.1+0.5j	PU NA BASE DE 100MVA e 13,8kV	
	Rps	0.1		
	Xps	0.5		
	Seq zero - Zps	0.2+0.8j	PU NA BASE DE 100MVA e 13,8kV	
	Rp0	0.2		
	Xp0	0.8		

Fonte: o autor.

### 2.3.2. Tipos de Curto-Circuito

- **Curto-Circuito Trifásico (Simétrico):** O tipo de curto-circuito mais grave e geralmente o que resulta nas maiores correntes. Ocorre quando as três fases de um sistema trifásico são conectadas simultaneamente. É considerado "simétrico" porque as correntes nas três fases mantêm uma relação de magnitude e defasagem de 120 graus, como em condições normais, mas com valores muito elevados.

$$I_{cc3\phi} = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3} \times Z_{1total}}$$

VLL é a tensão de linha-linha nominal no ponto de entrega.

$Z_{1,total}$  é a soma das impedâncias de sequência positiva de todos os componentes (fonte, transformadores, linhas, etc.) desde a fonte até o ponto de entrega, tudo referido à mesma base de tensão (ou impedância base, se estiver em pu).

- **Curto-Circuito Monofásico Assimétrica(fase-terra):** O tipo de curto-circuito mais comum em sistemas elétricos. Ocorre quando uma fase entra em contato com o “terra”. É "assimétrico" porque as correntes nas três fases não são balanceadas.

$$I_{cc1\phi} = \frac{3xV_{LL}}{Z_{1total} + Z_{2total} + Z_{0total}}$$

$V_{LN}$  é a tensão de fase-neutro nominal no ponto de entrega.

$Z_{1,total}$ ,  $Z_{2,total}$ ,  $Z_{0,total}$  são as impedâncias de sequência positiva, negativa e zero totais, respectivamente, de todos os componentes desde a fonte até o ponto de entrega.

- **Curto-Circuito Monofásico Assimétrica(fase-fase):** A corrente de curto-circuito fase-fase assimétrica ocorre quando duas fases de um sistema trifásico entram em contato uma com a outra, sem envolvimento direto com o terra.

$$I_{cc2\phi.pu} = \frac{\sqrt{3}xV_{pre-falta.pu}}{Z_{1total} + Z_{2total}}$$

### 2.3.3. Cálculos de Curto-Circuito realizados em Excel

Quadro 5 –Resumo de Valores Iniciais para Cálculo de Curto-Circuito

PONTO DE ENTREGA	CURTO CIRCUITO			
	TRIFÁSICO			
	Ics	1609.114462624378045.57231312187j	A (cartesiano)	
	Módulo de Ics	8.20	KA	
	Fase de Ics	-78.69	Graus	
	MONOFÁSICO			
	Zeq até este ponto (até lado de alta do trafo)	0.4+1.8j		
	Icft	1476.599153937666644.69619271948j	A (cartesiano)	
	Módulo de Icft	6.81	KA	
	Fase de Icft	-77.47	Graus	
	POTÊNCIA CURTO CIRCUITO			
	Pcc	0.20	MVA	
	ASSIMÉTRICO			
	relação X/R	-5.00		
	Fator de assimetria	2.18	tabelado (aproximado)	*Não tem valor tabelado *Valor utilizado é o mesmo que o calculado

<b>corrente de curto circuito assimétrico - Ics</b>	17.89		
<b>Impulso da corrente de curto circuito</b>	25.30		
<b>Cálculo do fator de assimetria</b>	2.18	Valor real	
<b>Tau</b>	-0.013262912		
<b>Corrente de curto circuito assimétrico - Ica</b>	17.87		
<b>Impulso da corrente de curto circuito - Icim</b>	25.28		

Fonte: o autor

Quadro 6 –Resumo de Valores Iniciais para Cálculo de Curto-Circuito

IMPEDÂNCIA			
Pot nominal do trafo	750	kVA	1000 Kva
Perdas cobre	12000	W	12kW
Res. percentual Rpt	1.6	%	0.12%
Res. pu Rut	0.016	pu	na base de 100 MVA
Res. pu Rut	1.6	pu	na base de 100 MVA
Imp. percentual Zpt	0.06	pu	6% - dado de placa
Imp. p.u. Zut	8	pu	na base de 100 MVA
Reatância pu Xut	7.838367177	pu	na base de 100 MVA
Imp. Dotrafo	1.6+7.83836717690617j	pu	1,6 + j7,84 pu
CURTO CIRCUITO			
TRIFÁSICO			
zeq até o ponto - APENAS SEQ POSITIVA	1.7+8.33836717690617j		
Ics	3566.6128413351117493.9573228946j	A (cartesiano)	
Módulo de Ics	17.85383068	KA	
Fase de Ics	-78.47664407	Graus	
MONOFÁSICO			

SECUNDÁRIO DO TRANSFORMADOR	Zeq até este ponto - Lado de BT	5.2+25.3151015307185j		
	Icft	3548.7270318456-17276.2279069186j	A (cartesiano)	
	Módulo de Icft	17.63693608	KA	
	Fase de Icft	-78.39227745	Graus	
	ASSIMÉTRICO			
	relação X/R	4.90		
	Fator de assimetria	1.43	tabelado (aproximado)	
	corrente de curto circuito assimétrico - Ics	25.53		
	Impulso da corrente de curto circuito	36.11		
	Cálculo do fator de assimetria	1.43	Valor real	
	Tau	0.013010709		
	Corrente de curto circuito assimétrico - Ica	25.59		
	Impulso da corrente de curto circuito - Icim	36.20		

Fonte: o autor.

Quadro 7 – Curto-Circuito no QGF

QGF	IMPEDÂNCIA			
	Lc	10	M	Comprimento dos cabos
	Nc	2		Condutores por fase
	Sc	240	mm²	Seção dos condutores
	Sequência positiva			
	R_Cabo	0.0801	mOhms/m	Tabelado
	R_CaboPos_ohm	0.0004005	Ohms	
	R_CaboPos_pu	0.277354571	pu	
	X_Cabo	0.1099	mOhms/m	Tabelado
	X_CaboPos_ohm	0.0005495	Ohms	
	X_CaboPos_pu	0.380540166	pu	
	Z_CaboPos_pu	0.277354570637119+0.3805 40166204986j	pu	
	Sequência zero			
	R_Cabo	0.0801	mOhms/m	Tabelado
	R_CaboPos_ohm	0.0004005	Ohms	
	R_CaboPos_pu	0.277354571	pu	
	X_Cabo	0.1099	mOhms/m	Tabelado
	X_CaboPos_ohm	0.0005495	Ohms	
	X_CaboPos_pu	0.380540166	pu	
	Z_CaboPos_pu	0.277354570637119+0.3805 40166204986j	pu	
	CURTO CIRCUITO			
	TRIFÁSICO			
	zeq até o ponto - APENAS SEQ POSITIVA	1.97735457063712+8.71890 734311116j		
	Ics	3758.6721585926216573.4131705784j	A (cartesiano)	
	Módulo de Ics	16.99	KA	

	<b>Fase de Ics</b>	-77.22	Graus	
	<b>MONOFÁSICO</b>			
	<b>Zeq até este ponto - Lado de BT</b>	5.75470914127424+26.0761818631285j		
	<b>Icft</b>	3678.4067825415116667.8804911553j	A (cartesiano)	
	<b>Módulo de Icft</b>	17.07	A	
	<b>Fase de Icft</b>	-77.55	Graus	
	<b>ASSIMÉTRICO</b>			
	<b>relação X/R</b>	4.41		
	<b>Fator de assimetria</b>	1.4	tabelado	
	<b>corrente de curto circuito assimétrico - Ics</b>	23.79	(aproximado)	
	<b>Impulso da corrente de curto circuito</b>	33.65		
	<b>Cálculo do fator de assimetria</b>	1.41	Valor real	
	<b>Tau</b>	0.011696243		
	<b>Corrente de curto circuito assimétrico - Ica</b>	23.92		
	<b>Impulso da corrente de curto circuito - Icim</b>	33.84		

Fonte: o autor.

Quadro 8 – Curto-Circuito no QGF

<b>BARRAMENTO 1</b>	<b>IMPEDÂNCIA</b>			
	<b>Lc</b>	25	m	Comprimento dos cabos
	<b>Nc</b>	1		Condutores por fase
	<b>Sc</b>	185	mm²	Seção dos condutores
	<b>Sequência positiva</b>			
	<b>R_Cabo</b>	0.106	mOhms/m	Tabelado
	<b>R_CaboPos_ohm</b>	0.00265	Ohms	
	<b>R_CaboPos_pu</b>	1.835180055	pu	
	<b>X_Cabo</b>	0.141	mOhms/m	Tabelado
	<b>X_CaboPos_ohm</b>	0.003525	Ohms	
	<b>X_CaboPos_pu</b>	2.441135734	pu	
	<b>Z_CaboPos_pu</b>	1.83518005540166+2.44113 573407202j	pu	
	<b>Sequência zero</b>			
	<b>R_Cabo</b>	0.106	mOhms/m	Tabelado
	<b>R_CaboPos_ohm</b>	0.00265	Ohms	
	<b>R_CaboPos_pu</b>	1.835180055	pu	
	<b>X_Cabo</b>	0.141	mOhms/m	Tabelado
	<b>X_CaboPos_ohm</b>	0.003525	Ohms	
	<b>X_CaboPos_pu</b>	2.441135734	pu	
	<b>Z_CaboPos_pu</b>	1.83518005540166+2.44113 573407202j	pu	
	<b>CURTO CIRCUITO</b>			
	<b>TRIFÁSICO</b>			
	<b>zeq até o ponto - APENAS SEQ POSITIVA</b>	3.81253462603878+11.1600 430771832j		



<b>Ics</b>	4164.8436502103612191.3212875847j	A (cartesiano)	
<b>Módulo de Ics</b>	12.88	KA	
<b>Fase de Ics</b>	-71.14	Graus	
<b>MONOFÁSICO</b>			
<b>Zeq até este ponto - CCM</b>	7.86724376731302+28.8978 577634055j		
<b>Icft</b>	3997.7627733719614684.5303658612j	A (cartesiano)	
<b>Módulo de Icft</b>	15.22	KA	
<b>Fase de Icft</b>	-74.77	Graus	
<b>ASSIMÉTRICO</b>			
<b>relação X/R</b>	2.93		
<b>Fator de assimetria</b>	1.3	tabelado (aproximado)	
<b>corrente de curto circuito assimétrico - Ics</b>	16.75		
<b>Impulso da corrente de curto circuito</b>	23.69		
<b>Cálculo do fator de assimetria</b>	1.36	Valor real	
<b>Tau</b>	0.009743431		
<b>Corrente de curto circuito assimétrico - Ica</b>	17.53		
<b>Impulso da corrente de curto circuito - Icim</b>	24.79		

Fonte: o autor.

Quadro 9 – Curto-Circuito no QGF

<b>BARRAMENTO 2</b>	<b>IMPEDÂNCIA</b>			
	<b>Lc</b>	35	m	Comprimento dos cabos
	<b>Nc</b>	1		Condutores por fase
	<b>Sc</b>	25	mm <sup>2</sup>	Seção dos condutores
	<b>Sequência positiva</b>			
	<b>R_Cabo</b>	0.554	mOhms/m	Tabelado
	<b>R_CaboPos_ohm</b>	0.01939	Ohms	
	<b>R_CaboPos_pu</b>	13.42797784	pu	
	<b>X_Cabo</b>	0.707	mOhms/m	Tabelado
	<b>X_CaboPos_ohm</b>	0.024745	Ohms	
	<b>X_CaboPos_pu</b>	17.13642659	pu	
	<b>Z_CaboPos_pu</b>	13.4279778393352+17.1364 265927978j	pu	
	<b>Sequência zero</b>			
	<b>R_Cabo</b>	0.554	mOhms/m	Tabelado
	<b>R_CaboPos_ohm</b>	0.01939	Ohms	
	<b>R_CaboPos_pu</b>	13.42797784	pu	
	<b>X_Cabo</b>	0.707	mOhms/m	Tabelado
	<b>X_CaboPos_ohm</b>	0.024745	Ohms	
	<b>X_CaboPos_pu</b>	17.13642659	pu	
	<b>Z_CaboPos_pu</b>	13.4279778393352+17.1364 265927978j	pu	
	<b>CURTO CIRCUITO</b>			
	<b>TRIFÁSICO</b>			
	<b>zeq até o ponto - APENAS SEQ POSITIVA</b>	15.4053324099723+25.8553 33935909j		

	<b>Ics</b>	2583.947688324974336.7340980786j	A (cartesiano)	
	<b>Módulo de Ics</b>	5.05	A	
	<b>Fase de Ics</b>	-59.21	Graus	
	<b>MONOFÁSICO</b>			
	<b>Zeq até este ponto - CCM</b>	19.4600415512466+43.5931486221313j		
	<b>Icft</b>	3891.937262802228718.47056844951j	A (cartesiano)	
	<b>Módulo de Icft</b>	9.55	A	
	<b>Fase de Icft</b>	-65.94395	Graus	
	<b>ASSIMÉTRICO</b>			
	<b>relação X/R CCM</b>	1.68		
	<b>Fator de assimetria</b>	1.13	Tabelado	
	<b>corrente de curto circuito assimétrico - Ics</b>	5.70	(aproximado)	
	<b>Impulso da corrente de curto circuito</b>	8.07		
	<b>Cálculo do fator de assimetria</b>	1.14	Valor real	
	<b>Tau</b>	0.004451926225		
	<b>Corrente de curto circuito assimétrico - Ica</b>	5.77		
	<b>Impulso da corrente de curto circuito- Icim</b>	8.17		

Fonte: o autor.

Quadro 10 – Resumo do Cálculo de Corrente de Curto-Circuito

<b>BARRAMENTO 3</b>	<b>IMPEDÂNCIA</b>			
	<b>Lc</b>	30	m	Comprimento dos cabos
	<b>Nc</b>	1		Condutores por fase
	<b>Sc</b>	150	mm <sup>2</sup>	Seção dos condutores
	<b>Sequência positiva</b>			
	<b>R_Cabo</b>	0.129	mOhms/m	Tabelado
	<b>R_CaboPos_ohm</b>	0.00387	Ohms	
	<b>R_CaboPos_pu</b>	2.680055402	pu	
	<b>X_Cabo</b>	0.169	mOhms/m	Tabelado
	<b>X_CaboPos_ohm</b>	0.00507	Ohms	
	<b>X_CaboPos_pu</b>	3.511080332	pu	
	<b>Z_CaboPos_pu</b>	2.68005540166205+3.51108 033240997j	pu	
	<b>Sequência zero</b>			
	<b>R_Cabo</b>	0.129	mOhms/m	Tabelado
	<b>R_CaboPos_ohm</b>	0.00387	Ohms	
	<b>R_CaboPos_pu</b>	2.680055402	pu	
	<b>X_Cabo</b>	0.169	mOhms/m	Tabelado
	<b>X_CaboPos_ohm</b>	0.00507	Ohms	
	<b>X_CaboPos_pu</b>	3.511080332	pu	
	<b>Z_CaboPos_pu</b>	2.68005540166205+3.51108 033240997j	pu	
	<b>CURTO CIRCUITO</b>			
	<b>TRIFÁSICO</b>			
	<b>zeq até o ponto - APENAS SEQ POSITIVA</b>	4.65740997229917+12.2299 876755211j		

<b>Ics</b>	4131.7496010360310849.6454036802j	A (cartesiano)	
<b>Módulo de Ics</b>	11.61	KA	
<b>Fase de Ics</b>	-69.15	Graus	
<b>MONOFÁSICO</b>			
<b>Zeq até este ponto - CCM</b>	8.71211911357341+29.9678023617434j		
<b>Icft</b>	4077.1357058761214024.4635596571j	A (cartesiano)	
<b>Módulo de Icft</b>	14.61	KA	
<b>Fase de Icft</b>	-73.79	Graus	
<b>ASSIMÉTRICO</b>			
<b>relação X/R CCM</b>	2.63		
<b>Fator de assimetria</b>	1.26	Tabelado (aproximado)	
<b>corrente de curto circuito assimétrico - Ics</b>	14.63		
<b>Impulso da corrente de curto circuito</b>	20.69		
<b>Cálculo do fator de assimetria</b>	1.27	Valor real	
<b>Tau</b>	0.00696547009350		
<b>Corrente de curto circuito assimétrico - Ica</b>	14.71		
<b>Impulso da corrente de curto circuito - Icim</b>	20.81		

Fonte: o autor.

### 2.3.4. Resumo dos Cálculos de Curto-Circuito

Quadro 11 – Resumo do Cálculo de Corrente de Curto-Circuito

Setor	Corrente de curto-circuito
-------	----------------------------

	Trifásico (Ics) - kA	Monofásico franco (Icft) - kA	Fator de assimetria	Corrente de curto assimétrica (Ica) - kA
Ponto de entrega	8.20	6.81	2.18	17.87
Secundário do transformador	17.85	17.64	1.43	25.59
QGF	16.99	17.07	1.41	23.92
Barramento área 1	12.88	15.22	1.36	17.53
Barramento área 2	5.05	9.55	1.14	5.77
Barramento área 3	11.61	14.61	1.27	14.71

Fonte: o autor.

## 2.4. DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES E DISJUNTORES DE BT

Os dados levantados referem-se especificamente aos níveis de curto-circuito no transformador, tanto no lado primário (rede de média tensão) quanto no lado secundário (rede de baixa tensão). Esses valores foram inicialmente calculados com o auxílio do Excel, onde se consideraram as características do sistema e os parâmetros de base do projeto.

A partir desses resultados, foi possível iniciar o dimensionamento dos condutores elétricos. Para essa etapa, utilizou-se o DCE, software desenvolvido pela Prysmian, reconhecido no setor elétrico pela precisão e confiabilidade, além de ser uma ferramenta gratuita amplamente adotada em projetos profissionais. O programa permitiu simular a instalação dos cabos conforme as configurações específicas da rede de média e baixa tensão do projeto.

Vale destacar que, por medida de segurança, o valor de corrente de curto-circuito inserido no DCE foi ligeiramente superior ao calculado no Excel. Enquanto o cálculo realizado para o QGF indicava uma corrente de 17,85kA, no DCE foi adotado um valor de 18 kA, incorporando assim um fator de segurança ao projeto.

Para o projeto de distribuição elétrica, foi adotado um critério de limite máximo de queda de tensão conforme estabelece a norma ABNT NBR 5410, que recomenda uma queda total não superior a 7% entre a origem da instalação e os pontos de consumo final em instalações alimentadas por rede pública.

O projeto foi dividido em trechos distintos, sendo atribuída uma margem de queda específica para cada um:

- 2% de queda de tensão do transformador até o QDF (Quadro de Distribuição Final);
- 2% de queda entre o QDF e as áreas internas da planta industrial (Áreas 1, 2 e 3);
- 3% de queda de tensão até o campo externo, onde estão instalados os motores e aquecedores.

A soma desses valores totaliza **7% de queda de tensão admissível**, atendendo integralmente os limites estabelecidos pela norma e garantindo o funcionamento adequado dos equipamentos, com eficiência energética e segurança operacional.

Figura 2 – Dados do circuito DCE

The screenshot shows a software window titled "Dados do circuito" (Circuit Data). It contains the following fields and values:

- Circuito: TR\_QGF
- Maneira de instalar: Leito
- Sistema: Trifásico+Terra(3F+N+T)(Equil)
- Cabo: Cabo GSETTE IRISTECH 0,6/1kV unipolar
- Comprimento: 10.0 m
- Temperatura ambiente: 35 °C
- Tensão fase-fase: 380 V
- Tensão fase-neutro: 219.39 V
- Seção mínima: 2.50 mm²
- Circuito de força: (dropdown menu)
- Fator de demanda: 1.00
- Fator de agrupamento: Autom.
- Corrente curto circuito: 18.0 kA
- Possui Harmônicos?: Não sei
- Nº de condutores por fase: Autom.
- Conteúdo de harmônicas: 0 %
- Seção nominal do condutor: 240 mm²
- Queda de tensão máxima admitida (%):
  - Do circuito: 2.0
  - Desde a origem: 2.0
  - Do circuito na partida: 0.0
  - Desde a origem na partida: 0.0
- ☒ Dispensar sobrecarga
- ☒ Dispensar contatos indiretos
- Buttons: OK, Cancelar

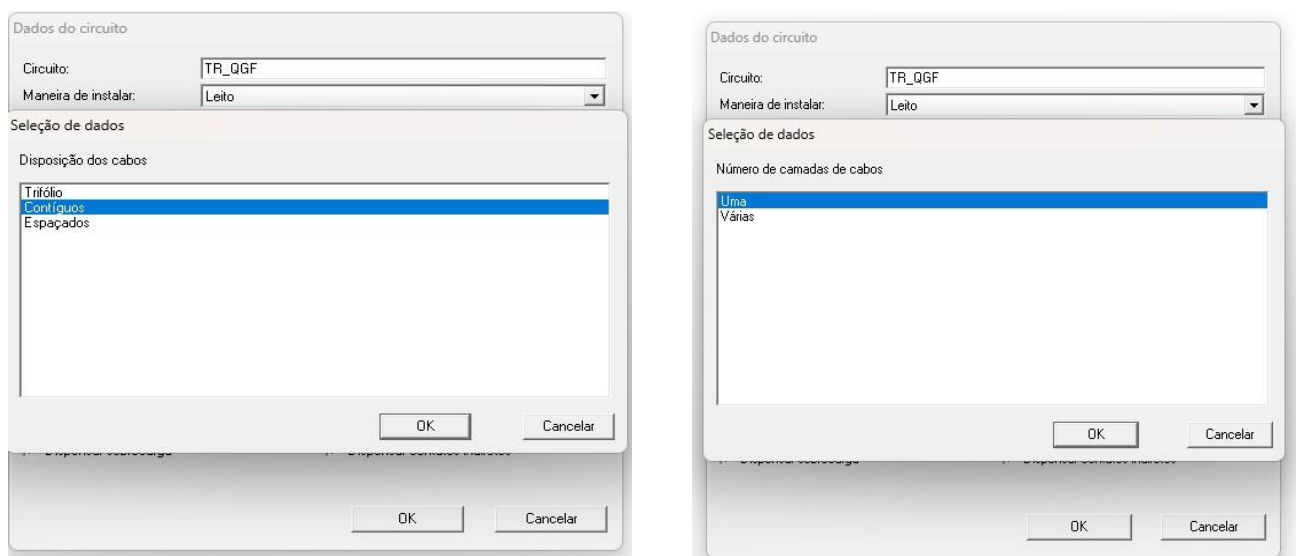


Fonte: o autor.

No projeto dos circuitos, escolhemos **dispor os cabos de forma contígua e em apenas uma camada** sobre os leitos. Essa escolha foi feita pensando numa **melhor organização dos condutores**, facilitando tanto a instalação quanto futuras manutenções.

Além de deixar o layout mais limpo e bem distribuído, essa configuração também ajuda na **dissipação do calor** gerado pelos cabos durante o funcionamento, o que contribui para a segurança e o bom desempenho do sistema. Essa prática segue as recomendações técnicas e ainda garante mais eficiência na hora de distribuir a fiação pelos caminhos definidos no projeto.

Figura 3 – Dados do circuito DCE



Fonte: o autor.

Todos os cálculos realizados levaram em consideração o fator de agrupamento, garantindo que o dimensionamento dos circuitos fosse feito de forma correta e segura. Essa prática é fundamental para assegurar que os condutores suportem as condições reais de instalação, evitando sobreaquecimento e possíveis falhas, especialmente quando vários cabos estão instalados juntos em leitos ou eletrocalhas.



Figura 4 – Dados do circuito DCE

Dados do circuito

Circuito: QGF\_AREA2

Maneira de instalar: Leito

Seleção de dados

Número de circuitos ou de cabos multipolares

1
2
3
4
5
6
7
8
>=9

OK Cancelar

Fonte: o autor.

A seguir, são apresentados os cálculos de dimensionamento dos condutores aplicados aos principais circuitos do projeto elétrico, abrangendo o Quadro de Distribuição Final (QDF), os motores, os circuitos auxiliares e os aquecedores. Todos os cálculos foram realizados considerando os parâmetros definidos em projeto e seguindo as exigências das normas técnicas vigentes, em especial a ABNT NBR 5410.

Figura 5 – Dados do circuito DCE

DIMENSIONAMENTO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS 4.0

Página: 1  
03/06/2025

Projeto : CABOS ALIMENTADORES DOS BARRAMENTOS

Circuito : TR\_QGF

Dados de entrada

Maneira de instalar :	Leito
Sistema:	Trifásico+Terra(3F+N+T)(Equil)
Cabo:	Cabo GSETTE IRISTECH 0,6/1kV unipolar
Número de condutores por fase :	Automático
Seção nominal do condutor imposta :	240 mm2
Seção mínima de cada condutor:	2.5 mm2
Temperatura ambiente:	35 oC
Conteúdo de harmônicas:	0 %
Dispensada verificação contra contatos indiretos	
Dispensada verificação contra sobrecarga	
Comprimento do circuito	10.0 m
Queda de tensão máxima admitida :	2.00 %
Tensão fase/fase :	380 V
Tensão fase/neutro :	219.39 V
Fator de correção de agrupamento :	Automático
Corrente c.c. presumida (Ikmax):	18.0 kA
Número de camadas de cabos	Uma
Número de circuitos ou de cabos multipolares	1
Disposição dos cabos	Contíguos
Corrente do circuito :	872.5 A
Fator de potência do circuito :	0.91
Fator de demanda :	1.00

Valores calculados

Seção nominal dos condutores :	2 x 240 mm2
Critério de dimensionamento:	Capacidade de corrente
Capacidade de condução de corrente :	2 x 529.5 A
Fator de correção de agrupamento :	0.87
Fator de correção de temperatura :	0.96
Resistência em CA de cada condutor :	0.0978 ohm/km
Reatância indutiva de cada condutor :	0.1673 ohm/km
Queda de tensão efetiva :	0.31 %
Icc presumida mínima ponto extremo (Ikmin) :	6.24e+004 A
I2t de cada condutor para Ikmax :	1.24e+009 A
I2t de cada condutor para Ikmin :	1.19e+009 A
Tempo máximo para atuação da proteção para Ikmax :	3.82e+000 s
Seção nominal do condutor neutro :	2 x 120 mm2


Fonte: o autor.

Figura 7 – Dimensionamento de Cabos QGF-AREA 1

	<b>DIMENSIONAMENTO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS 4.0</b>	Página:1 03/06/2025
<b>Projeto : CABOS ALIMENTADORES DOS BARRAMENTOS</b>		
<b>Circuito : QGF_AREA1</b>		
<b>Dados de entrada</b>		
Maneira de instalar:	Leito	
Sistema:	Trifásico+Terra(3F+N+T)(Equil)	
Cabo:	Cabo GSETTE IRISTECH 0,6/1kV unipolar	
Número de condutores por fase :	Automático	
Seção nominal do condutor :	Automática	
Seção mínima de cada condutor:	2.5 mm <sup>2</sup>	
Temperatura ambiente:	35 oC	
Conteúdo de harmônicas:	0 %	
Dispensada verificação contra contatos indiretos		
Dispensada verificação contra sobrecarga		
Comprimento do circuito	25.0 m	
Queda de tensão máxima admitida :	2.00 %	
Tensão fase/fase :	380 V	
Tensão fase/neutro :	219.39 V	
Fator de correção de agrupamento :	Automático	
Corrente c.c. presumida (Ikmax):	17.0 kA	
Número de camadas de cabos	Uma	
Número de circuitos ou de cabos multipolares	1	
Disposição dos cabos	Contíguos	
Corrente do circuito :	520.9 A	
Fator de potência do circuito :	0.86	
Fator de demanda :	1.00	
<b>Valores calculados</b>		
Seção nominal dos condutores :	1 x 240 mm <sup>2</sup>	
Critério de dimensionamento:	Capacidade de corrente	
Capacidade de condução de corrente :	1 x 608.6 A	
Fator de correção de agrupamento :	1.00	
Fator de correção de temperatura :	0.96	
Resistência em CA de cada condutor :	0.0978 ohm/km	
Reatância indutiva de cada condutor :	0.1673 ohm/km	
Queda de tensão efetiva :	1.01 %	
Icc presumida mínima ponto extremo (Ikmin) :	2.50e+004 A	
I2t de cada condutor para Ikmax :	1.24e+009 A	
I2t de cada condutor para Ikmin :	1.22e+009 A	
Tempo máximo para atuação da proteção para Ikmax :	4.29e+000 s	
Seção nominal do condutor neutro :	1 x 120 mm <sup>2</sup>	

Fonte: o autor.

Figura 8 – Dimensionamento de Cabos QGF-AREA 2



DIMENSIONAMENTO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS 4.0

Página:1

03/06/2025

Projeto : CABOS ALIMENTADORES DOS BARRAMENTOS

Circuito : QGF\_AREA2

Dados de entrada


Maneira de instalar:	Leito
Sistema:	Trifásico+Terra(3F+N+T)(Equil)
Cabo:	Cabo GSETTE IRISTECH 0,6/1kV unipolar
Número de condutores por fase :	Automático
Seção nominal do condutor :	Automática
Seção mínima de cada condutor:	2.5 mm2
Temperatura ambiente:	35 oC
Conteúdo de harmônicas:	0 %
Dispensada verificação contra contatos indiretos	
Dispensada verificação contra sobrecarga	
Comprimento do circuito	35.0 m
Queda de tensão máxima admitida :	2.00 %
Tensão fase/fase :	380 V
Tensão fase/neutro :	219.39 V
Fator de correção de agrupamento :	Automático
Corrente c.c. presumida (Ikmax):	17.0 kA
Número de camadas de cabos	Uma
Número de circuitos ou de cabos multipolares	1
Disposição dos cabos	Contíguos
Corrente do circuito :	104.5 A
Fator de potência do circuito :	0.81
Fator de demanda :	1.00

Valores calculados

Seção nominal dos condutores :	1 x 25 mm2
Critério de dimensionamento:	Capacidade de corrente
Capacidade de condução de corrente :	1 x 135.4 A
Fator de correção de agrupamento :	1.00
Fator de correção de temperatura :	0.96
Resistência em CA de cada condutor :	0.9272 ohm/km
Reatância indutiva de cada condutor :	0.1854 ohm/km
Queda de tensão efetiva :	1.43 %
Icc presumida mínima ponto extremo (Ikmin) :	2.32e+003 A
I2t de cada condutor para Ikmax :	1.30e+007 A
I2t de cada condutor para Ikmin :	1.45e+007 A
Tempo máximo para atuação da proteção para Ikmax :	4.49e-002 s
Seção nominal do condutor neutro :	1 x 25 mm2

Fonte: o autor.

Figura 9 – Dimensionamento de Cabos QFG-AREA 3



DIMENSIONAMENTO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS 4.0

Página:1  
03/06/2025

Projeto : CABOS ALIMENTADORES DOS BARRAMENTOS

Circuito : QGF\_AREA3

Dados de entrada


Maneira de instalar:	Leito
Sistema:	Trifásico+Terra(3F+N+T)(Equil)
Cabo:	Cabo GSETTE IRISTECH 0,6/1kV unipolar
Número de condutores por fase :	Automático
Seção nominal do condutor :	Automática
Seção mínima de cada condutor:	2.5 mm2
Temperatura ambiente:	35 °C
Conteúdo de harmônicas:	0 %
Dispensada verificação contra contatos indiretos	
Dispensada verificação contra sobrecarga	
Comprimento do circuito	30.0 m
Queda de tensão máxima admitida :	2.00 %
Tensão fase/fase :	380 V
Tensão fase/neutro :	219.39 V
Fator de correção de agrupamento :	Automático
Corrente c.c. presumida (Ikmax):	17.0 kA
Número de camadas de cabos	Uma
Número de circuitos ou de cabos multipolares	1
Disposição dos cabos	Contíguos
Corrente do circuito :	401.0 A
Fator de potência do circuito :	0.95
Fator de demanda :	1.00

Valores calculados

Seção nominal dos condutores :	1 x 150 mm2
Critério de dimensionamento:	Capacidade de corrente
Capacidade de condução de corrente :	1 x 445.4 A
Fator de correção de agrupamento :	1.00
Fator de correção de temperatura :	0.96
Resistência em CA de cada condutor :	0.1591 ohm/km
Reatância indutiva de cada condutor :	0.1694 ohm/km
Queda de tensão efetiva :	1.12 %
Icc presumida mínima ponto extremo (Ikmin) :	1.41e+004 A
I2t de cada condutor para Ikmax :	4.79e+008 A
I2t de cada condutor para Ikmin :	4.83e+008 A
Tempo máximo para atuação da proteção para Ikmax :	1.66e+000 s
Seção nominal do condutor neutro :	1 x 70 mm2

Fonte: o autor.

Figura 10 – Dimensionamento de Cabos - ÁREA 1 - MOTOR 1



**DIMENSIONAMENTO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS 4.0**

Página: 1  
 03/06/2025

---

**Projeto :** CABOS ALIMENTADORES DAS CARGAS

**Circuito :** AREA1\_MOTOR 1

---

**Dados de entrada**

Maneira de instalar:	Leito
Sistema:	Trifásico+Terra (3F+T)
Cabo:	Cabo GSETTE IRISTECH 0,6/1kV tetrapolar
Número de condutores por fase :	Automático
Seção nominal do condutor :	Automática
Seção mínima de cada condutor:	2.5 mm <sup>2</sup>
Temperatura ambiente:	35 °C
Dispensada verificação contra contatos indiretos	
Dispensada verificação contra sobrecarga	
Comprimento do circuito	5.0 m
Queda de tensão máxima admitida em regime :	3.00 %
Queda de tensão máxima admitida na partida :	10.00 %
Tensão fase/fase :	380 V
Fator de correção de agrupamento :	Automático
Corrente c.c. presumida (Ikmax):	17.0 kA
Número de camadas de cabos	Uma
Número de circuitos ou de cabos multipolares	4

**Motores considerados**

Quantidade de motores iguais	corrente nominal (A)	Fator de potência em regime	Considera na partida ?	Potência (cv)	Corrente na partida (A)	Fator de potência na partida
1	84,70	0,85	SIM	60,00	635,00	0,30

Corrente do circuito em regime:	84.7 A
Fator de potência do circuito em regime:	0.85
Corrente do circuito na partida:	635.0 A
Fator de potência do circuito na partida:	0.30
Fator de demanda :	1.00

**Valores calculados**

Seção nominal dos condutores :	1 x 25 mm <sup>2</sup>
Critério de dimensionamento:	Capacidade de corrente
Capacidade de condução de corrente :	1 x 97.5 A
Fator de correção de agrupamento :	0.80
Fator de correção de temperatura :	0.96
Resistência em CA de cada condutor :	0.9274 ohm/km
Reatância indutiva de cada condutor :	0.0978 ohm/km

Fonte: o autor.



Figura 11 – Dimensionamento de Cabos - ÁREA 1 - MOTOR 2



Projeto : CABOS ALIMENTADORES DAS CARGAS

Circuito : AREA1\_MOTOR 2

#### Dados de entrada

Maneira de instalar: Leito  
 Sistema: Trifásico+Terra (3F+T)  
 Cabo: Cabo GSETTE IRISTECH 0,6/1kV tetrapolar  
 Número de condutores por fase : Automático  
 Seção nominal do condutor : Automática  
 Seção mínima de cada condutor: 2.5 mm2  
 Temperatura ambiente: 35 oC  
 Dispensada verificação contra contatos indiretos  
 Dispensada verificação contra sobrecarga  
 Comprimento do circuito 5.0 m  
 Queda de tensão máxima admitida em regime : 3.00 %  
 Queda de tensão máxima admitida na partida : 10.00 %  
 Tensão fase/fase : 380 V  
 Fator de correção de agrupamento : Automático  
 Corrente c.c. presumida (Ikmax): 17.0 kA  
 Número de camadas de cabos Uma  
 Número de circuitos ou de cabos multipolares 4

#### Motores considerados

Quantidade de motores iguais	corrente nominal (A)	Fator de potência em regime	Considera na partida ?	Potência (cv)	Corrente na partida (A)	Fator de potência na partida
1	203,00	0,86	SIM	150,00	1.603,00	0,30


Corrente do circuito em regime: 203.0 A  
 Fator de potência do circuito em regime: 0.86  
 Corrente do circuito na partida: 1603.0 A  
 Fator de potência do circuito na partida: 0.30  
 Fator de demanda : 1.00

#### Valores calculados

Seção nominal dos condutores : 1 x 95 mm2  
 Critério de dimensionamento: Capacidade de corrente  
 Capacidade de condução de corrente : 1 x 228.9 A  
 Fator de correção de agrupamento : 0.80  
 Fator de correção de temperatura : 0.96  
 Resistência em CA de cada condutor : 0.2479 ohm/km  
 Reatância indutiva de cada condutor : 0.0903 ohm/km

Fonte: o autor.

Figura 12 – Dimensionamento de Cabos - ÁREA 1 - MOTOR 3



**DIMENSIONAMENTO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS 4.0**

Página: 1  
 03/06/2025

---

**Projeto :** CABOS ALIMENTADORES DAS CARGAS

**Circuito :** AREA1\_MOTOR 3

---

**Dados de entrada**

Maneira de instalar:	Leito
Sistema:	Trifásico+Terra (3F+T)
Cabo:	Cabo GSETTE IRISTECH 0,6/1kV tetrapolar
Número de condutores por fase :	Automático
Seção nominal do condutor :	Automática
Seção mínima de cada condutor:	2.5 mm2
Temperatura ambiente:	35 oC
Dispensada verificação contra contatos indiretos	
Dispensada verificação contra sobrecarga	
Comprimento do circuito	5.0 m
Queda de tensão máxima admitida em regime :	3.00 %
Queda de tensão máxima admitida na partida :	10.00 %
Tensão fase/fase :	380 V
Fator de correção de agrupamento :	Automático
Corrente c.c. presumida (Ikmax):	17.0 kA
Número de camadas de cabos	Uma
Número de circuitos ou de cabos multipolares	4

**Motores considerados**

Quantidade de motores iguais	corrente nominal (A)	Fator de potência em regime	Considera na partida ?	Potência (cv)	Corrente na partida (A)	Fator de potência na partida
1	30,20	0,81	SIM	20,00	257,00	0,30

Corrente do circuito em regime:	30.2 A
Fator de potência do circuito em regime:	0.81
Corrente do circuito na partida:	257.0 A
Fator de potência do circuito na partida:	0.30
Fator de demanda :	1.00


**Valores calculados**

Seção nominal dos condutores :	1 x 4 mm2
Critério de dimensionamento:	Capacidade de corrente
Capacidade de condução de corrente :	1 x 32.3 A
Fator de correção de agrupamento :	0.80
Fator de correção de temperatura :	0.96
Resistência em CA de cada condutor :	5.8782 ohm/km
Reatância indutiva de cada condutor :	0.1153 ohm/km

Fonte: o autor.



Figura 13 – Dimensionamento de Cabos - ÁREA 1 - MOTOR 4



**DIMENSIONAMENTO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS 4.0**

Página:1  
 03/06/2025

---

**Projeto :** CABOS ALIMENTADORES DAS CARGAS

**Circuito :** AREA1\_MOTOR 4

---

**Dados de entrada**

Maneira de instalar:	Leito
Sistema:	Trifásico+ Terra (3F+T)
Cabo:	Cabo GSETTE IRISTECH 0,6/1kV tetrapolar
Número de condutores por fase :	Automático
Seção nominal do condutor :	Automática
Seção mínima de cada condutor:	2.5 mm <sup>2</sup>
Temperatura ambiente:	35 °C
Dispensada verificação contra contatos indiretos	
Dispensada verificação contra sobrecarga	
Comprimento do circuito	5.0 m
Queda de tensão máxima admitida em regime :	3.00 %
Queda de tensão máxima admitida na partida :	10.00 %
Tensão fase/fase :	380 V
Fator de correção de agrupamento :	Automático
Corrente c.c. presumida (Ikmax):	17.0 kA
Número de camadas de cabos	Uma
Número de circuitos ou de cabos multipolares	4

**Motores considerados**

Quantidade de motores iguais	corrente nominal (A)	Fator de potência em regime	Considera na partida ?	Potência (cv)	Corrente na partida (A)	Fator de potência na partida
1	203,00	0,86	SIM	150,00	1.603,00	0,30


Corrente do circuito em regime:	203.0 A
Fator de potência do circuito em regime:	0.86
Corrente do circuito na partida:	1603.0 A
Fator de potência do circuito na partida:	0.30
Fator de demanda :	1.00

**Valores calculados**

Seção nominal dos condutores :	1 x 95 mm <sup>2</sup>
Critério de dimensionamento:	Capacidade de corrente
Capacidade de condução de corrente :	1 x 228.9 A
Fator de correção de agrupamento :	0.80
Fator de correção de temperatura :	0.96
Resistência em CA de cada condutor :	0.2479 ohm/km
Reatância indutiva de cada condutor :	0.0903 ohm/km

Fonte: o autor.

Figura 14 – Dimensionamento de Cabos - ÁREA 2 - MOTOR 5



**DIMENSIONAMENTO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS 4.0**

Página: 1  
 03/06/2025

---

**Projeto :** CABOS ALIMENTADORES DAS CARGAS  
**Circuito :** AREA2\_MOTOR 5

---

**Dados de entrada**

Maneira de instalar:	Leito
Sistema:	Trifásico+Terra (3F+T)
Cabo:	Cabo GSETTE IRISTECH 0,6/1kV tetrapolar
Número de condutores por fase :	Automático
Seção nominal do condutor :	Automática
Seção mínima de cada condutor:	2.5 mm <sup>2</sup>
Temperatura ambiente:	35 °C
Dispensada verificação contra contatos indiretos	
Dispensada verificação contra sobrecarga	
Comprimento do circuito	5.0 m
Queda de tensão máxima admitida em regime :	3.00 %
Queda de tensão máxima admitida na partida :	10.00 %
Tensão fase/fase :	380 V
Fator de correção de agrupamento :	Automático
Corrente c.c. presumida (Ikmax):	17.0 kA
Número de camadas de cabos	Uma
Número de circuitos ou de cabos multipolares	3

**Motores considerados**

Quantidade de motores iguais	corrente nominal (A)	Fator de potência em regime	Considera na partida ?	Potência (cv)	Corrente na partida (A)	Fator de potência na partida
1	30,20	0,81	SIM	20,00	257,00	0,30


Corrente do circuito em regime:	30.2 A
Fator de potência do circuito em regime:	0.81
Corrente do circuito na partida:	257.0 A
Fator de potência do circuito na partida:	0.30
Fator de demanda :	1.00

**Valores calculados**

Seção nominal dos condutores :	1 x 4 mm <sup>2</sup>
Critério de dimensionamento:	Capacidade de corrente
Capacidade de condução de corrente :	1 x 33.1 A
Fator de correção de agrupamento :	0.82
Fator de correção de temperatura :	0.96
Resistência em CA de cada condutor :	5.8782 ohm/km
Reatância indutiva de cada condutor :	0.1153 ohm/km


Fonte: o autor.

Figura 15 – Dimensionamento de Cabos - ÁREA 2 - MOTOR 6

 <b>DIMENSIONAMENTO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS 4.0</b>		Página:1 03/06/2025
<b>Projeto :</b> CABOS ALIMENTADORES DAS CARGAS		
<b>Circuito :</b> AREA2_MOTOR 6		
<b>Dados de entrada</b>		
Maneira de instalar:	Leito	
Sistema:	Trifásico+Terra (3F+T)	
Cabo:	Cabo GSETTE IRISTECH 0,6/1kV tetrapolar	
Número de condutores por fase :	Automático	
Seção nominal do condutor :	Automática	
Seção mínima de cada condutor:	2.5 mm2	
Temperatura ambiente:	35 oC	
Dispensada verificação contra contatos indiretos		
Dispensada verificação contra sobrecarga		
Comprimento do circuito	5.0 m	
Queda de tensão máxima admitida em regime :	3.00 %	
Queda de tensão máxima admitida na partida :	10.00 %	
Tensão fase/fase :	380 V	
Fator de correção de agrupamento :	Automático	
Corrente c.c. presumida (Ikmax):	17.0 kA	
Número de camadas de cabos	Uma	
Número de circuitos ou de cabos multipolares	3	
<b>Motores considerados</b>		
Quantidade de motores iguais	corrente nominal (A)	Fator de potência em regime
1	30,20	0,81
Considera na partida ?	Potência (cv)	Corrente na partida (A)
SIM	20,00	257,00
		Fator de potência na partida
		0,30
<b>Valores calculados</b>		
Seção nominal dos condutores :	1 x 4 mm2	
Critério de dimensionamento:	Capacidade de corrente	
Capacidade de condução de corrente :	1 x 33.1 A	
Fator de correção de agrupamento :	0.82	
Fator de correção de temperatura :	0.96	
Resistência em CA de cada condutor :	5.8782 ohm/km	
Reatância indutiva de cada condutor :	0.1153 ohm/km	

Fonte: o autor.

Figura 16 – Dimensionamento de Cabos - ÁREA 2 - MOTOR 7



**DIMENSIONAMENTO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS 4.0**

Página:1  
 03/06/2025

---

**Projeto :** CABOS ALIMENTADORES DAS CARGAS

**Circuito :** AREA2\_MOTOR 7

---

**Dados de entrada**

Maneira de instalar:	Leito
Sistema:	Trifásico+Terra (3F+T)
Cabo:	Cabo GSETTE IRISTECH 0,6/1kV tetrapolar
Número de condutores por fase :	Automático
Seção nominal do condutor :	Automática
Seção mínima de cada condutor:	2.5 mm <sup>2</sup>
Temperatura ambiente:	35 °C
Dispensada verificação contra contatos indiretos	
Dispensada verificação contra sobrecarga	
Comprimento do circuito	5.0 m
Queda de tensão máxima admitida em regime :	3.00 %
Queda de tensão máxima admitida na partida :	10.00 %
Tensão fase/fase :	380 V
Fator de correção de agrupamento :	Automático
Corrente c.c. presumida (Ikmax):	17.0 kA
Número de camadas de cabos	Uma
Número de circuitos ou de cabos multipolares	3

Motores considerados

Quantidade de motores iguais	corrente nominal (A)	Fator de potência em regime	Considera na partida ?	Potência (cv)	Corrente na partida (A)	Fator de potência na partida
1	44,10	0,81	SIM	30,00	353,00	0,30

Corrente do circuito em regime:	44.1 A
Fator de potência do circuito em regime:	0.81
Corrente do circuito na partida:	353.0 A
Fator de potência do circuito na partida:	0.30
Fator de demanda :	1.00

**Valores calculados**

Seção nominal dos condutores :	1 x 10 mm <sup>2</sup>
Critério de dimensionamento:	Capacidade de corrente
Capacidade de condução de corrente :	1 x 59.0 A
Fator de correção de agrupamento :	0.82
Fator de correção de temperatura :	0.96
Resistência em CA de cada condutor :	2.3336 ohm/km
Reatância indutiva de cada condutor :	0.1041 ohm/km

Fonte: o autor.

Figura 17 – Dimensionamento de Cabos - ÁREA 3 - AUXILIAR 1

DIMENSIONAMENTO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS 4.0

Página:1

23/06/2025

**Projeto : CABOS ALIMENTADORES DAS CARGAS**

**Circuito : AREA3\_AUXILIAR 1**

**Dados de entrada**

Maneira de instalar:	Leito
Sistema:	Trifásico (3F+N)(Equilibrado)
Cabo:	Cabo GSETTE IRISTECH 0,6/1kV tetrapolar
Número de condutores por fase :	Automático
Seção nominal do condutor :	Automática
Seção mínima de cada condutor:	2.5 mm2
Temperatura ambiente:	35 oC
Conteúdo de harmônicas:	0 %
Dispensada verificação contra contatos indiretos	
Dispensada verificação contra sobrecarga	
Comprimento do circuito	5.0 m
Queda de tensão máxima admitida :	3.00 %
Tensão fase/fase :	380 V
Tensão fase/neutro :	219.39 V
Fator de correção de agrupamento :	Automático
Corrente c.c. presumida (Ikmax):	17.0 kA
Número de camadas de cabos	Uma
Número de circuitos ou de cabos multipolares	2
Corrente do circuito :	132.2 A
Fator de potência do circuito :	0.92
Fator de demanda :	1.00

**Valores calculados**

Seção nominal dos condutores :	1 x 50 mm2
Critério de dimensionamento:	Capacidade de corrente
Capacidade de condução de corrente :	1 x 160.4 A
Fator de correção de agrupamento :	0.87
Fator de correção de temperatura :	0.96
Resistência em CA de cada condutor :	0.4983 ohm/km
Reatância indutiva de cada condutor :	0.0943 ohm/km
Queda de tensão efetiva :	0.15 %
Icc presumida mínima ponto extremo (Ikmin) :	3.25e+004 A
I2t de cada condutor para Ikmax :	5.23e+007 A
I2t de cada condutor para Ikmin :	5.17e+007 A
Tempo máximo para atuação da proteção para Ikmax :	1.81e-001 s
Seção nominal do condutor neutro :	1 x 50 mm2

Ver condições para redução do condutor neutro

Fonte: o autor.



Figura 18 – Dimensionamento de Cabos - ÁREA 3 - AUXILIAR 2

DIMENSIONAMENTO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS 4.0

Página:1  
03/06/2025

Projeto : CABOS ALIMENTADORES DAS CARGAS

Circuito : AREA3\_AUXILIAR 2

Dados de entrada

Maneira de instalar:	Leito
Sistema:	Trifásico (3F+N)(Equilibrado)
Cabo:	Cabo GSETTE IRISTECH 0,6/1kV tetrapolar
Número de condutores por fase :	Automático
Seção nominal do condutor :	Automática
Seção mínima de cada condutor:	2.5 mm2
Temperatura ambiente:	30 oC
Conteúdo de harmônicas:	0 %
Dispensada verificação contra contatos indiretos	
Dispensada verificação contra sobrecarga	
Comprimento do circuito	5.0 m
Queda de tensão máxima admitida :	3.00 %
Tensão fase/fase :	380 V
Tensão fase/neutro :	219.39 V
Fator de correção de agrupamento :	Automático
Corrente c.c. presumida (Ikmax):	17.0 kA
Número de camadas de cabos	Uma
Número de circuitos ou de cabos multipolares	2
Corrente do circuito :	132.2 A
Fator de potência do circuito :	0.92
Fator de demanda :	1.00

Valores calculados

Seção nominal dos condutores :	1 x 35 mm2
Critério de dimensionamento:	Capacidade de corrente
Capacidade de condução de corrente :	1 x 137.5 A
Fator de correção de agrupamento :	0.87
Fator de correção de temperatura :	1.00
Resistência em CA de cada condutor :	0.6688 ohm/km
Reatância indutiva de cada condutor :	0.0943 ohm/km
Queda de tensão efetiva :	0.20 %
Icc presumida mínima ponto extremo (Ikmin) :	2.28e+004 A
I2t de cada condutor para Ikmax :	2.55e+007 A
I2t de cada condutor para Ikmin :	2.54e+007 A
Tempo máximo para atuação da proteção para Ikmax :	8.84e-002 s
Seção nominal do condutor neutro :	1 x 35 mm2
Ver condições para redução do condutor neutro	

Fonte: o autor.

Figura 19 – Dimensionamento de Cabos - ÁREA 3 – AQUECIMENTO 1

DIMENSIONAMENTO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS 4.0

Página:1  
03/06/2025

Projeto : CABOS ALIMENTADORES DAS CARGAS

Circuito : AREA3\_AQUECIMENTO 1

Dados de entrada


Maneira de instalar:	Leito
Sistema:	Trifásico (3F+N)(Equilibrado)
Cabo:	Cabo GSETTE IRISTECH 0,6/1kV tetrapolar
Número de condutores por fase :	Automático
Seção nominal do condutor :	Automática
Seção mínima de cada condutor:	2.5 mm2
Temperatura ambiente:	30 oC
Conteúdo de harmônicas:	0 %
Dispensada verificação contra contatos indiretos	
Dispensada verificação contra sobrecarga	
Comprimento do circuito	5.0 m
Queda de tensão máxima admitida :	3.00 %
Tensão fase/fase :	380 V
Tensão fase/neutro :	219.39 V
Fator de correção de agrupamento :	Automático
Corrente c.c. presumida (Ikmax):	17.0 kA
Número de camadas de cabos	Uma
Número de circuitos ou de cabos multipolares	3
Corrente do circuito :	45.6 A
Fator de potência do circuito :	1.00
Fator de demanda :	1.00

Valores calculados

Seção nominal dos condutores :	1 x 10 mm2
Critério de dimensionamento:	Capacidade de corrente
Capacidade de condução de corrente :	1 x 61.5 A
Fator de correção de agrupamento :	0.82
Fator de correção de temperatura :	1.00
Resistência em CA de cada condutor :	2.3336 ohm/km
Reatância indutiva de cada condutor :	0.1041 ohm/km
Queda de tensão efetiva :	0.24 %
Icc presumida mínima ponto extremo (Ikmin) :	6.50e+003 A
I2t de cada condutor para Ikmax :	2.07e+006 A
I2t de cada condutor para Ikmin :	2.10e+006 A
Tempo máximo para atuação da proteção para Ikmax :	7.15e-003 s
Seção nominal do condutor neutro :	1 x 10 mm2
Ver condições para redução do condutor neutro	

Fonte: o autor.

Figura 20 – Dimensionamento de Cabos - ÁREA 3 – AQUECIMENTO 2



DIMENSIONAMENTO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS 4.0

Página:1  
03/06/2025

Projeto : CABOS ALIMENTADORES DAS CARGAS

Circuito : AREA3\_AQUECIMENTO 2

Dados de entrada

Maneira de instalar:	Leito
Sistema:	Trifásico (3F+N)(Equilibrado)
Cabo:	Cabo GSETTE IRISTECH 0,6/1kV tetrapolar
Número de condutores por fase :	Automático
Seção nominal do condutor :	Automática
Seção mínima de cada condutor:	2.5 mm2
Temperatura ambiente:	30 °C
Conteúdo de harmônicas:	0 %
Dispensada verificação contra contatos indiretos	
Dispensada verificação contra sobrecarga	
Comprimento do circuito	5.0 m
Queda de tensão máxima admitida :	3.00 %
Tensão fase/fase :	380 V
Tensão fase/neutro :	219.39 V
Fator de correção de agrupamento :	Automático
Corrente c.c. presumida (Ikmax):	17.0 kA
Número de camadas de cabos	Uma
Número de circuitos ou de cabos multipolares	3
Corrente do circuito :	45.6 A
Fator de potência do circuito :	1.00
Fator de demanda :	1.00

Valores calculados

Seção nominal dos condutores :	1 x 10 mm2
Critério de dimensionamento:	Capacidade de corrente
Capacidade de condução de corrente :	1 x 61.5 A
Fator de correção de agrupamento :	0.82
Fator de correção de temperatura :	1.00
Resistência em CA de cada condutor :	2.3336 ohm/km
Reatância indutiva de cada condutor :	0.1041 ohm/km
Queda de tensão efetiva :	0.24 %
Icc presumida mínima ponto extremo (Ikmin) :	6.50e+003 A
I2t de cada condutor para Ikmax :	2.07e+006 A
I2t de cada condutor para Ikmin :	2.10e+006 A
Tempo máximo para atuação da proteção para Ikmax :	7.15e-003 s
Seção nominal do condutor neutro :	1 x 10 mm2
Ver condições para redução do condutor neutro	

Fonte: o autor.



Figura 20 – Dimensionamento de Cabos - ÁREA 3 – AQUECIMENTO 3



**Projeto :** CABOS ALIMENTADORES DAS CARGAS

**Circuito :** AREA3\_AQUECIMENTO 2

**Dados de entrada**

Maneira de instalar:	Leito
Sistema:	Trifásico (3F+N)(Equilibrado)
Cabo:	Cabo GSETTE IRISTECH 0,6/1kV tetrapolar
Número de condutores por fase :	Automático
Seção nominal do condutor :	Automática
Seção mínima de cada condutor:	2.5 mm <sup>2</sup>
Temperatura ambiente:	30 °C
Conteúdo de harmônicas:	0 %
Dispensada verificação contra contatos indiretos	
Dispensada verificação contra sobrecarga	
Comprimento do circuito	5.0 m
Queda de tensão máxima admitida :	3.00 %
Tensão fase/fase :	380 V
Tensão fase/neutro :	219.39 V
Fator de correção de agrupamento :	Automático
Corrente c.c. presumida (Ikmax):	17.0 kA
Número de camadas de cabos	Uma
Número de circuitos ou de cabos multipolares	3
Corrente do circuito :	45.6 A
Fator de potência do circuito :	1.00
Fator de demanda :	1.00

**Valores calculados**

Seção nominal dos condutores :	1 x 10 mm <sup>2</sup>
Critério de dimensionamento:	Capacidade de corrente
Capacidade de condução de corrente :	1 x 61.5 A
Fator de correção de agrupamento :	0.82
Fator de correção de temperatura :	1.00
Resistência em CA de cada condutor :	2.3336 ohm/km
Reatância indutiva de cada condutor :	0.1041 ohm/km
Queda de tensão efetiva :	0.24 %
Icc presumida mínima ponto extremo (Ikmin) :	6.50e+003 A
I2t de cada condutor para Ikmax :	2.07e+006 A
I2t de cada condutor para Ikmin :	2.10e+006 A
Tempo máximo para atuação da proteção para Ikmax :	7.15e-003 s
Seção nominal do condutor neutro :	1 x 10 mm <sup>2</sup>
Ver condições para redução do condutor neutro	

Fonte: o autor.

Figura 21 – Resumo do Dimensionamento de Cabos

Área	Carga	Cabo (mm <sup>2</sup> )			Corrente(A)	Capacidade de Corrente do cabo (A)	Modelo de disjuntor Sugerido (Siemens)	Disjuntor (A)
		3F+N	PE	Cabo Gsette VFD (Inversor)				
1	Motor 1	-	-	1x(3x25+16)	84,70	97,5	3VM1116-3ED32-0AA0	80 – 160
	Motor 2	-	-	1x(3x95+50)	203,00	228,9	3VM1216-3ED32-0AA0	160 – 250
	Motor 3	-	-	1x(3x4+4)	30,20	32,3	3VM1016-3ED32-0AA0	16 – 63
	Motor 4	-	-	1x(3x95+50)	203,00	228,9	3VM1216-3ED32-0AA0	160 – 250
2	Motor 5	-	-	1x(3x4+4)	30,20	32,3	3VM1016-3ED32-0AA0	16 – 63
	Motor 6	-	-	1x(3x4+4)	30,20	32,3	3VM1016-3ED32-0AA0	16 – 63
	Motor 7	-	-	1x(3x6+6)	44,10	59	3VM1016-3ED32-0AA0	16 – 63
3	Auxiliar	1x(4x35,0mm <sup>2</sup> )	1x16,0mm <sup>2</sup>	-	132,12	137,5	3VM1116-3ED32-0AA0	80 – 160
	Auxiliar	1x(4x35,0mm <sup>2</sup> )	1x16,0mm <sup>2</sup>	-	132,12	137,5	3VM1116-3ED32-0AA0	80 – 160
	Aquecimento 1	1x(4x10,0mm <sup>2</sup> )	1x10,0mm <sup>2</sup>	-	45,58	61,5	3VM1016-3ED32-0AA0	16 – 63
	Aquecimento 2	1x(4x10,0mm <sup>2</sup> )	1x10,0mm <sup>2</sup>	-	45,58	61,5	3VM1016-3ED32-0AA0	16 – 63
	Aquecimento 3	1x(4x10,0mm <sup>2</sup> )	1x10,0mm <sup>2</sup>	-	45,58	61,5	3VM1016-3ED32-0AA0	16 – 63
Total	-	-	-	-	1026,37	-	-	-

Área	Carga	Cabo (mm <sup>2</sup> )			Corrente(A)	Capacidade de Corrente do cabo (A)	Modelo de disjuntor Sugerido (Siemens)	Disjuntor (A)
		3F+N	PE	Cabo Gsette VFD (Inversor)				
-	TRAFO_QGF	8x(1x240,0mm <sup>2</sup> )	2x(1x120,0mm <sup>2</sup> )	-	872,42	2 x 529,5	3VA2612-6HN32-0AA0	500 - 1250
1	QGF_Area1	4x(1x240,0mm <sup>2</sup> )	1x120,0mm <sup>2</sup>	-	520,90	608,6	3VM1463-5EE32-0AA0	441 – 630
2	QGF_Area2	1x(4x25,0mm <sup>2</sup> )	1x16,0mm <sup>2</sup>	-	104,50	135,4	3VM1112-3EE32-0AA0	88 – 125
3	QGF_Area2	1x(4x150,0mm <sup>2</sup> )	1x95,0mm <sup>2</sup>	-	400,97	445,4	3VM1450-4EE32-0AA0	350 – 500

Fonte: o autor.

## 2.5. METODO DE PARTIDA DOS MOTORES

No projeto, foi adotado o inversor de frequência como método de partida dos motores por oferecer maior controle, segurança e eficiência. Diferente da partida direta, o inversor realiza a aceleração de forma suave, evitando picos de corrente e reduzindo o desgaste mecânico.

Comparando com o soft starter, ambos oferecem partida suave, mas o inversor se destaca por controlar a velocidade durante toda a operação, enquanto o soft starter atua apenas na partida e parada. Além disso, o inversor permite ajustes finos de velocidade conforme a demanda, gerando economia de energia e mais flexibilidade no processo.

O inversor também possui mais funções de proteção integradas, garantindo maior segurança ao sistema. Por isso, sua escolha representa uma solução mais completa e eficiente para aplicações que exigem controle contínuo e desempenho otimizado.

Utilizei o inversor CFW110024T4SZ no meu projeto porque ele oferece controle eficiente de motores trifásicos de até 2,2 kW (3 CV), possui interface de operação simples, comunicação via Modbus, e é ideal para aplicações industriais de pequeno e médio porte. Além disso, seu tamanho compacto e boa relação custo-benefício o tornam adequado para otimizar o desempenho e a economia de energia do sistema.

Foram utilizados dois modelos de inversores de frequência da linha CFW11 da WEG. O primeiro, aplicado ao motor de menor potência (20 CV – 15 kW), possui corrente nominal de 30,2 A, e por isso foi utilizado um modelo da linha compatível com essa corrente, como o CFW110036T4SZ, que suporta até 36 A. O segundo, destinado ao motor de maior potência (150 CV – 110 kW), foi o CFW110180T4ODBZ, com capacidade para até 180 A.

A escolha desses inversores foi baseada na compatibilidade com a corrente nominal dos motores, garantindo funcionamento seguro e eficiente. Os inversores CFW11 oferecem controle vetorial e escalar, com ajuste automático de parâmetros, partida suave, proteção contra sobrecargas e integração com sistemas de automação via protocolos como Modbus, Profibus e DeviceNet.

A escolha da marca WEG se justifica por sua reconhecida qualidade no mercado nacional e internacional, ampla rede de suporte técnico, disponibilidade de peças de reposição e facilidade de integração com outros equipamentos industriais. Além disso, a padronização de soluções com equipamentos da mesma marca facilita a manutenção, operação e confiabilidade do sistema como um todo.

## **2.6. CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA**

### **2.6.1. Dimensionamento dos Capacitores**

Potência Ativa (kW): Esta é a potência ativa da carga, que é consumida pelo equipamento para realizar trabalho. Este valor é geralmente conhecido ou medido para cada "Área".

Potência Aparente (kVA): Esta é a potência total, incluindo tanto a potência ativa quanto a reativa. É calculada a partir da potência ativa e do fator de potência inicial (ou ângulo).

Potência Reativa (kVar): Esta é a potência reativa inicial da carga. É a potência que circula entre a fonte e a carga, não realizando trabalho útil, mas necessária para a operação de cargas indutivas (como motores, transformadores). Este valor é calculado utilizando a potência ativa e o fator de potência inicial.

Fator de Potência Antigo: Este é o fator de potência inicial do sistema para cada área antes da correção. É o cosseno do "Ângulo antigo (°)".

Ângulo antigo (°): Este é o ângulo de fase entre a tensão e a corrente antes da correção do fator de potência. É derivado do "Fator de Potência Antigo" utilizando a função arco cosseno ( $\cos^{-1}(FP_{\text{antigo}})$ ).

Ângulo novo (°): Este é o ângulo de fase alvo após a correção do fator de potência. É derivado do "Novo Fator de Potência" utilizando a função arco cosseno ( $\cos^{-1}(FP_{\text{novo}})$ ). O "Novo Fator de Potência" é o fator de potência desejado, geralmente próximo de 0,92 ou 0,95, conforme regulamentações ou metas de eficiência.

Multiplicador do Fator de Potência: Este é um fator utilizado nos cálculos para determinar a potência reativa necessária. Ele é derivado das tangentes dos ângulos antigo e novo:

Quadro 12 – Resumo de Correção de Fator de Potência

BANCO DE CAPACITORES										
	Ângulo antigo (°)	Ângulo novo (°)	Potência Ativa (kW)	Potência Aparente (kVA)	Potência Reativa (kVAr)	Fator de Potência Antigo	Multiplicador do Fator de Potência	Potência Necessária Nova (kVAr) - Tabelada	Potência Necessária Nova (kVAr) - Calculada	Novo Fator de Potência
Área 1	31.18	23.07	280.00	327.27	169.43	0.86	0.198	55.44	50.15	0.92
Área 2	35.90	23.07	52.00	64.20	37.65	0.81	0.298	15.50	15.50	0.92
Área 3	18.69	-	250.00	263.91	84.56	0.95	-	-	-	-
Total	24.49	19.95	582.00	643.74	275.10	0.91	0.093	54.13	63.86	0.94

Fonte: o autor.

**Potência Necessária Nova (kVAr) - Calculada:** Esta é a parte mais crucial. A nova potência reativa necessária do banco de capacitores para corrigir o fator de potência é calculada multiplicando a potência ativa pelo "Multiplicador do Fator de Potência":

$$Q_c = P \times (\tan(\theta_{\text{antigo}}) - \tan(\theta_{\text{novo}}))$$

- $Q_c$  é a potência reativa necessária do banco de capacitores (Potência Necessária Nova).
- $P$  é a potência ativa (Potência Ativa).
- $\theta_{\text{antigo}}$  é o ângulo antigo.
- $\theta_{\text{novo}}$  é o novo (alvo) ângulo.

### 2.6.2. Capacitores Escolhidos

Figura 22 – Dimensionamento dos Bancos de Capacitores

BANCO DE CAPACITORES	
	Capacitor (Siemens)
Área 1	2x 5kVar - B32343 - C3051 - Z080 / 2x 10kVar - B32344 - E3101 - Z080 / 2x 15kVar - B32344 - E3151 - Z080
Área 2	4x 2,5kVar - B32343 - C3021 - Z580 / 2x 5kVar - B32343 - C3051 - Z080
Total	2x 5kVar - B32343 - C3051 - Z080 / 2x 10kVar - B32344 - E3101 - Z080 / 2x 20kVar - B32344 - E3201 - Z080

Fonte: o autor.

Na tabela de capacitores escolhidos, vemos apenas o dimensionamento dos bancos de capacitores apenas para as áreas 1 e 2, pois a área 3 já possui um fator de potência aceitável (mais próximo de 1). Como uma solução mais viável financeiramente para o cliente na linha "Total" está sendo dimensionado um painel de banco de capacitores para o seu sistema como um todo, se acaso cliente deseje realizar a correção de fator de potência em um único painel, o qual será localizado ao lado do transformador, em vez de fazer a correção individualmente por área.

Com o intuito de facilitar a correção do fator de potência e melhorar a eficiência e a vida útil dos bancos de capacitores, nos estamos considerando a aplicação de um controlador de fator de potência, o qual tem a função de analisar o fator de potência atual em que seu sistema se encontra e tomar a decisão de quais estágios serão acionados para suprir a correção deste fator de potência. O modelo considerado é o BR6000 do fabricante Siemens (código: B44066 - R6012 S221) o qual possui a capacidade de controlar até 12 estágios de capacitores, fazendo a alternância entre estágios iguais para possa prolongar a vida útil dos estágios sem sobrecarregar nenhum mais que o outro.

## 2.7. PROJETO LUMINOTÉCNICO

De acordo com a NBR ISO/CIE 8995-1:2013, que estabelece os requisitos de iluminância para ambientes de trabalho interiores, foi adotado o valor de 300 lux como iluminância média mantida no plano de trabalho, considerando as atividades desempenhadas no setor industrial de papel. O

ambiente em estudo trata-se de um galpão com dimensões de 20x15 metros e pé-direito de 3,5 metros.

As luminárias foram instaladas a 0,8 metro abaixo do teto, com o objetivo de garantir uma distribuição uniforme da luz e evitar ofuscamentos diretos ou reflexos indesejados. A superfície de cálculo luminotécnico foi definida a 0,75 metro do piso, conforme recomendado pela norma para postos de trabalho em pé ou sentados, representando a zona visual relevante das atividades operacionais.

Foram realizados dois estudos distintos: um utilizando luminárias fluorescentes com 4 lâmpadas de 32W, cujo cálculo foi realizado manualmente com base nos métodos tradicionais da engenharia luminotécnica; e outro com luminárias LED de 75W da marca OplusLED, modelo Suriname, calculado por meio do software DIALux, permitindo simulação tridimensional e análise conforme os critérios técnicos da norma vigente.

Estudo 01:

#### ***Índice local***

$$hm = \text{Pé direito} - (h_{\text{luminaria}} + \text{Área de Trabalho})$$

$$hm = 3,5 - (0,8 + 0,75)$$

$$\mathbf{hm = 1,95}$$

$$K = \frac{lc}{hm(1 + c)} = K = \frac{20 \times 15}{1,95(20 + 15)}$$

$$\mathbf{K = 4,35}$$

- Teto branco = 7
- Parede Clara = 5
- Piso Escuro = 1
- Refletância: 751
- Coeficiente: 0,72

Figura 23 – Tabela 13.8 – Livro Instalações Elétricas - Helio Creder - 15 edição

Tabela 13.8 Índice de reflexão típica

Índice	Reflexão	Significado
1	10 %	Superfície escura
3	30 %	Superfície média
5	50 %	Superfície clara
7	70 %	Superfície branca

Fonte: Livro Instalações Elétricas - Helio Creder - 15 edição

Fator de depreciação: 0,67

Figura 24 – Tabela D.2 – ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013

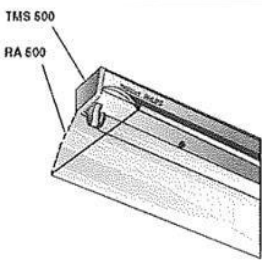
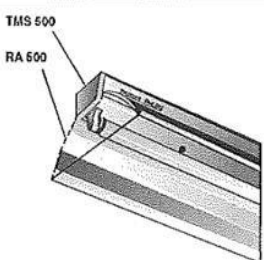
Tabela D.2 – Exemplos de fatores de manutenção para sistemas de iluminação de interiores com lâmpadas fluorescentes

Fator de manutenção	Exemplo
0,80	Ambiente muito limpo, ciclo de manutenção de um ano, 2.000 h/ano de vida até a queima com substituição da lâmpada a cada 8.000 h, substituição individual, luminárias direta e direta/indireta com uma pequena tendência de coleta de poeira, FMFL = 0,93; FSL = 1,00; FML = 0,90; FMSS = 0,96
0,67	Carga de poluição normal no ambiente, ciclo de manutenção de três anos, 2.000 h/ano de vida até a queima com substituição da lâmpada a cada 12.000 h, substituição individual, luminárias direta e direta/indireta com uma pequena tendência de coleta de poeira, FMFL = 0,91; FSL = 1,00; FML = 0,80; FMSS = 0,90
0,57	Carga de poluição normal no ambiente, ciclo de manutenção de três anos, 2.000 h/ano de vida até a queima com substituição da lâmpada a cada 12.000 h, substituição individual, luminárias com uma tendência normal de coleta de poeira, FMFL = 0,91; FSL = 1,00; FML = 0,74; FMSS = 0,83
0,50	Ambiente sujo, ciclo de manutenção de três anos, 8.000 h/ano de vida até a queima com substituição da lâmpada a cada 8.000 h, LLB, substituição em grupo, luminárias com uma tendência normal de coleta de poeira, FMFL = 0,93; FSL = 0,93; FML = 0,65; FMSS = 0,94

Fonte: ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013



Figura 25 – Tabela 5.5 – Livro Instalações Elétricas - Helio Creder - 15 edição

																					
TMS 500 – 2 TLD 32W											TMS 500 c/ RN 500 – 2 TLD 16W										
ÍNDICE DO LOCAL K	REFLETÂNCIAS	751	731	711	551	531	511	331	311	000	ÍNDICE DO LOCAL K	REFLETÂNCIAS	751	731	711	551	531	511	331	311	000
0,60	0,31	0,25	0,20	0,27	0,22	0,18	0,19	0,16	0,11		0,60	0,32	0,26	0,23	0,31	0,26	0,23	0,26	0,22	0,21	
0,80	0,38	0,32	0,27	0,33	0,28	0,24	0,24	0,21	0,15		0,80	0,39	0,33	0,29	0,38	0,33	0,29	0,32	0,29	0,27	
1,00	0,44	0,37	0,32	0,38	0,33	0,29	0,28	0,25	0,18		1,00	0,44	0,39	0,35	0,43	0,38	0,35	0,38	0,34	0,33	
1,25	0,49	0,43	0,38	0,42	0,37	0,34	0,32	0,29	0,22		1,25	0,49	0,44	0,41	0,48	0,44	0,40	0,43	0,40	0,38	
1,50	0,53	0,47	0,43	0,46	0,41	0,37	0,35	0,32	0,34		1,50	0,53	0,48	0,45	0,51	0,48	0,44	0,47	0,44	0,42	
2,00	0,59	0,54	0,50	0,51	0,47	0,44	0,40	0,38	0,28		2,00	0,58	0,54	0,51	0,57	0,54	0,51	0,53	0,50	0,48	
2,50	0,63	0,58	0,54	0,55	0,51	0,48	0,44	0,41	0,31		2,50	0,62	0,58	0,56	0,60	0,57	0,55	0,56	0,54	0,52	
3,00	0,66	0,62	0,58	0,57	0,54	0,51	0,46	0,44	0,34		3,00	0,64	0,61	0,59	0,63	0,60	0,58	0,59	0,57	0,55	
4,00	0,69	0,66	0,63	0,60	0,58	0,55	0,50	0,48	0,36		4,00	0,67	0,65	0,63	0,65	0,63	0,62	0,62	0,61	0,59	
5,00	0,72	0,69	0,66	0,62	0,60	0,58	0,52	0,50	0,38		5,00	0,69	0,67	0,65	0,67	0,65	0,64	0,64	0,63	0,61	

Fonte: Livro Instalações Elétricas - Helio Creder - 15 edição

Figura 26 – Pagina 14 – ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	$\bar{E}_m$ lux	$UGR_L$	$R_a$	Observações
Processamento da madeira ou fibra, moagem	200	25	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
Processo e fabricação de papel, máquinas de papel, papel canelado, fábrica de papelão	300	25	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
Trabalho de encadernação de livros padrões, por exemplo: dobra, triagem, colagem, corte, gravação em relevo, costura	500	22	60	

Fonte: ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013

**Quantidade de Lumens:**

$$\phi = \frac{SEm}{coefxdepreciação} =$$

$$\phi = \frac{20 \times 15 \times 300}{0,72 \times 0,67} = 194678,78 \text{ lumens}$$



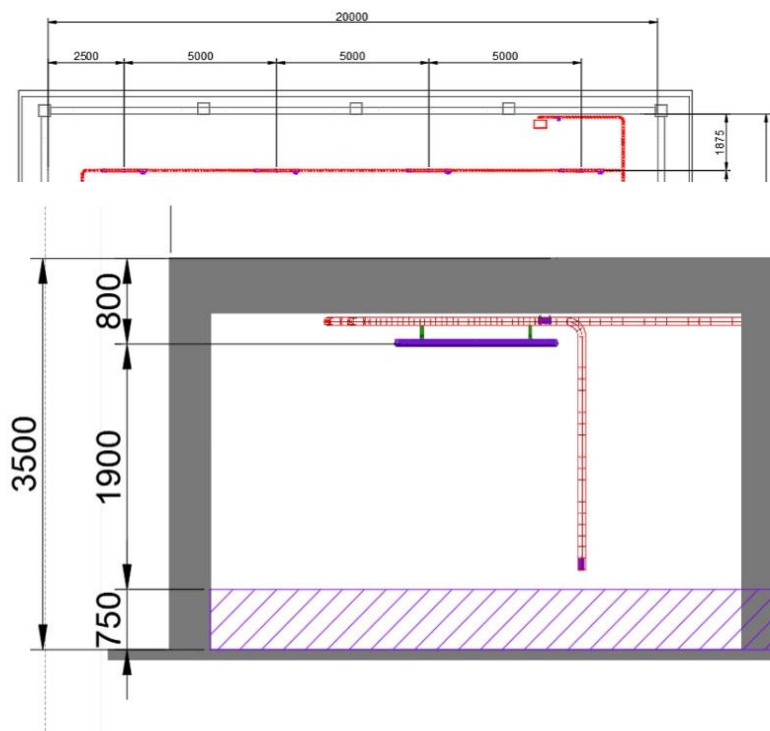
Usando lâmpadas de 32 W com fluxo luminoso de 2 950 lumens (Tabela 5.3)

Figura 27 – Página 16 – Vista lateral da iluminação

$$\varphi = 4 \times 2\,950 = 11\,800 \text{ lumens por luminária}$$
$$n = \frac{194678,78}{11\,800} = 15,81 \text{ Luminarias} = 16 \text{ luminarias}$$

Detalhamento de medidas da planta de iluminação:

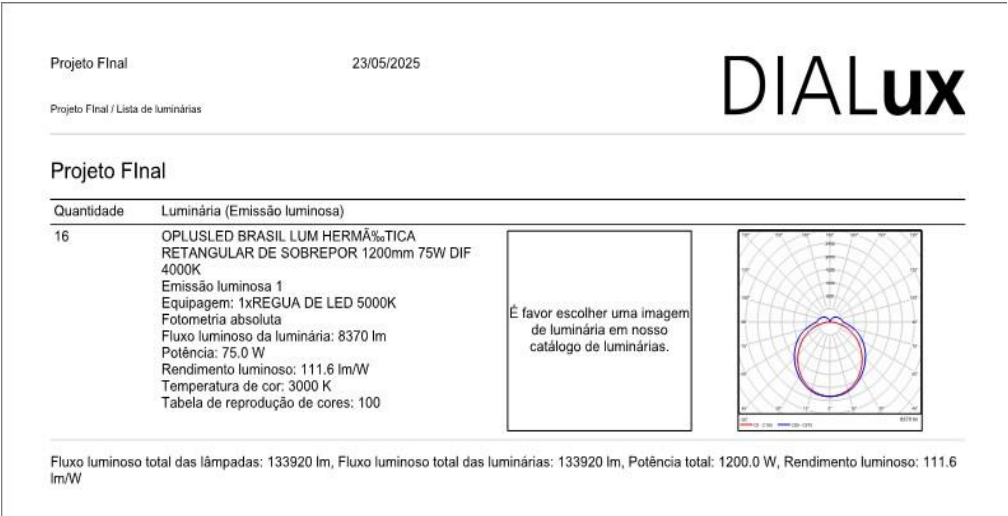
Figura 28 – Página 16 – Vista lateral da iluminação



Fonte: o autor.

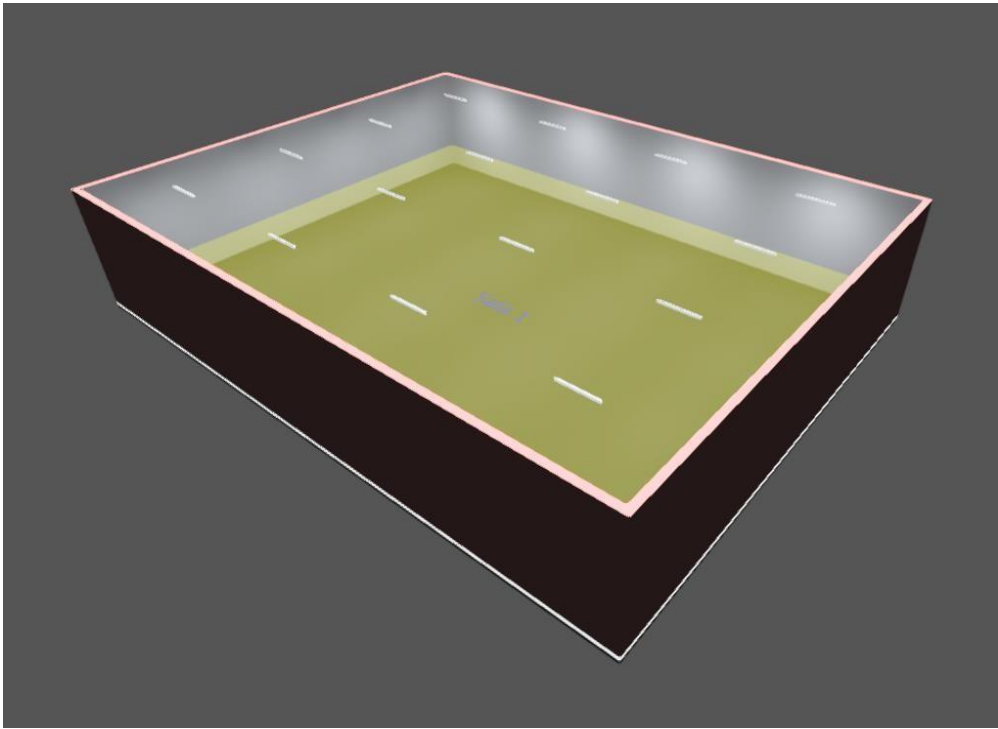
Estudo 2: Cálculo DIALux

Figura 29 – Simulação DIALux



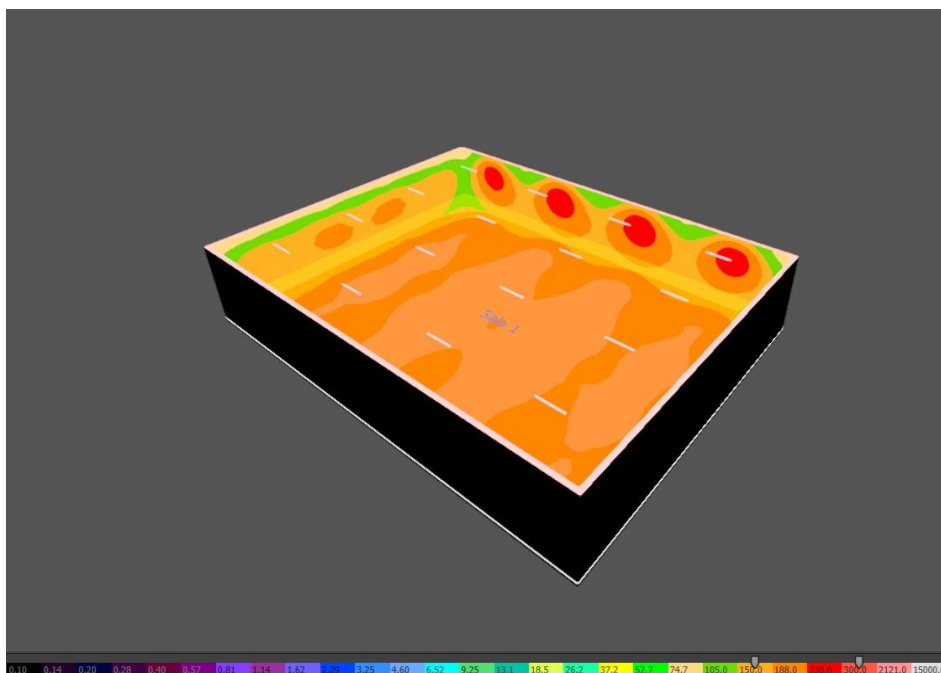
Fonte: o autor.

Figura 30 – Estudo Luminotécnico



Fonte: o autor.

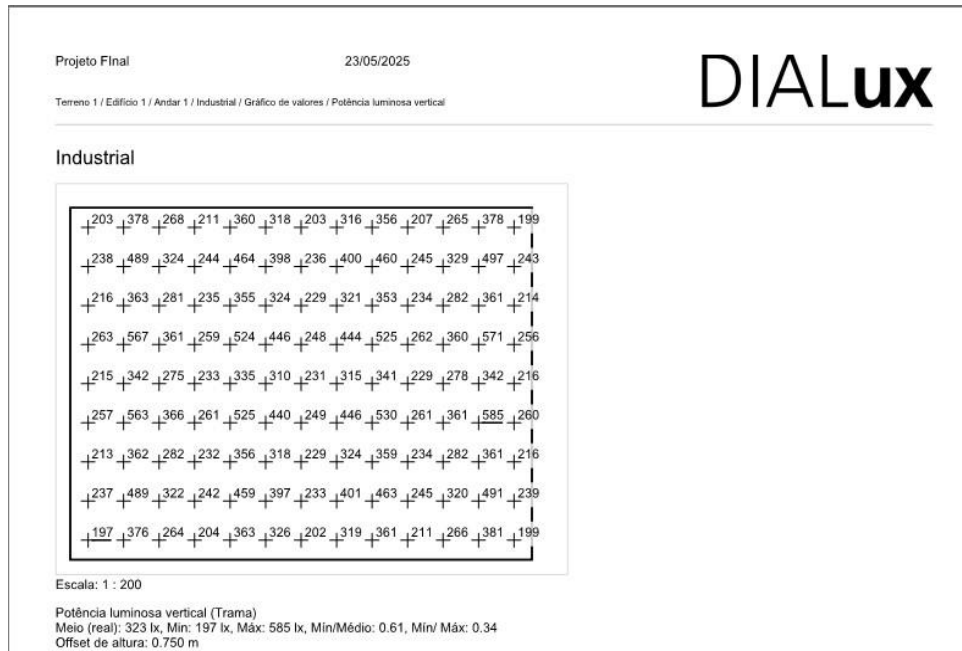
Figura 31 – Estudo Luminotécnico (Mapa de Calor)



Fonte: o autor.

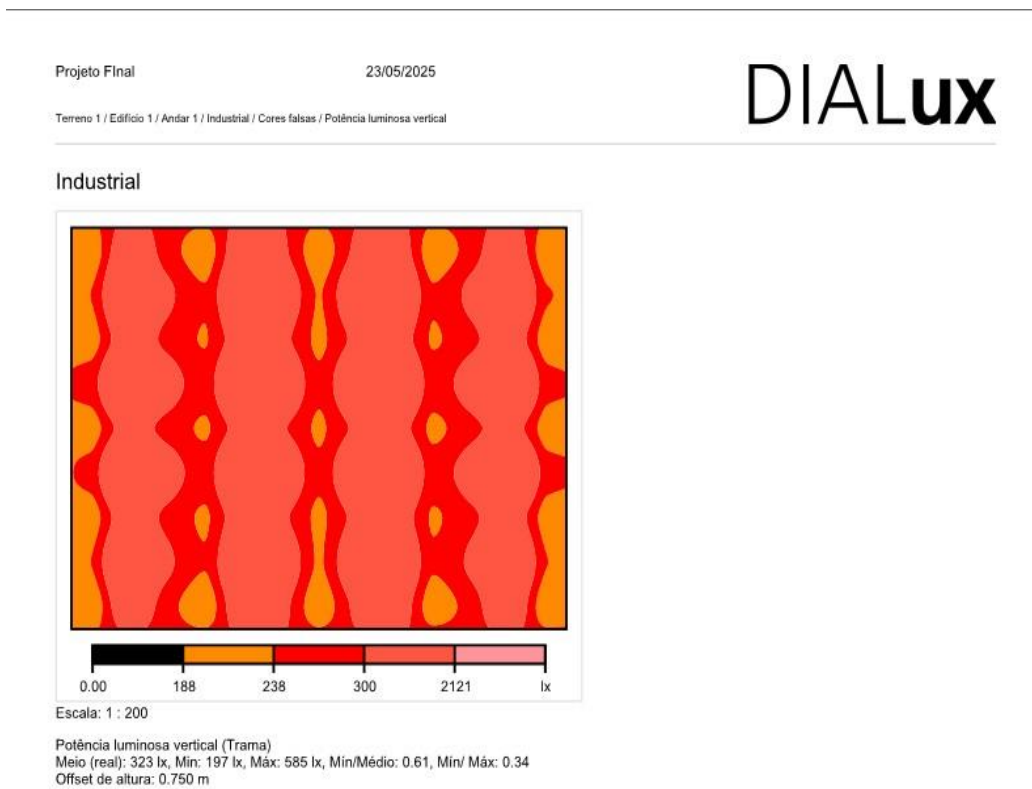
A imagem apresentada corresponde a uma simulação luminotécnica realizada no software DIALux, onde é possível visualizar o mapa de isolinhas de iluminância do ambiente projetado. Esse recurso gráfico permite analisar a distribuição da luz no espaço, indicando os níveis de iluminância (medidos em lux) através de uma escala de cores. As áreas em tons de vermelho e amarelo representam os pontos com maior intensidade luminosa, geralmente localizados abaixo das luminárias, enquanto as tonalidades em verde e laranja indicam regiões com níveis intermediários de luz, próximas aos valores médios estipulados no projeto. A análise desse mapa é fundamental para verificar se a iluminação atende aos parâmetros normativos, como os definidos pela NBR ISO/CIE 8995, garantindo conforto visual, segurança e eficiência no ambiente. Além disso, a representação auxilia na identificação de possíveis excessos ou deficiências de luz, permitindo realizar os ajustes necessários no posicionamento, quantidade e potência das luminárias. Dessa forma, essa simulação é uma etapa indispensável no desenvolvimento de projetos luminotécnicos, assegurando que a iluminação esteja adequada às atividades desenvolvidas no local.

Figura 32 – Estudo Luminotécnico (ponto a ponto)



Fonte: o autor.

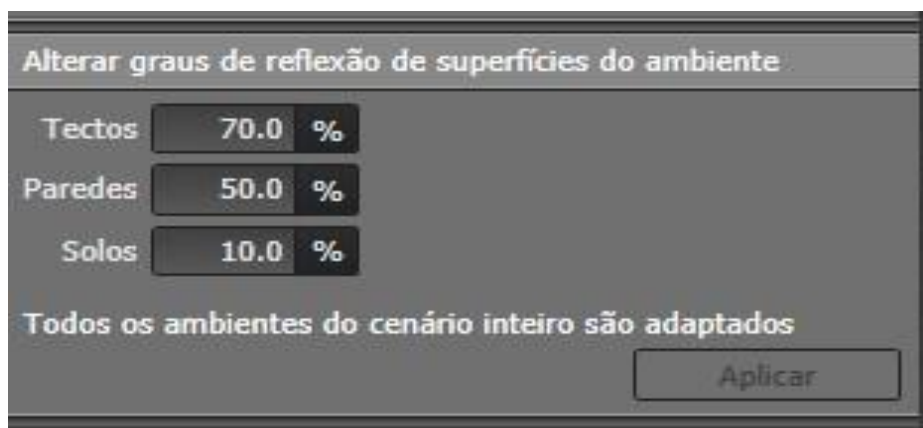
Figura 33 – Estudo Luminotécnico (Industrial)



Fonte: o autor.

- Teto branco = 7
- Parede Clara = 5
- Piso Escuro = 1

Figura 34 – Estudo Luminotécnico (Graus de Reflexão)



Fonte: o autor.

Figura 35 – Estudo Luminotécnico (posições das luminárias)

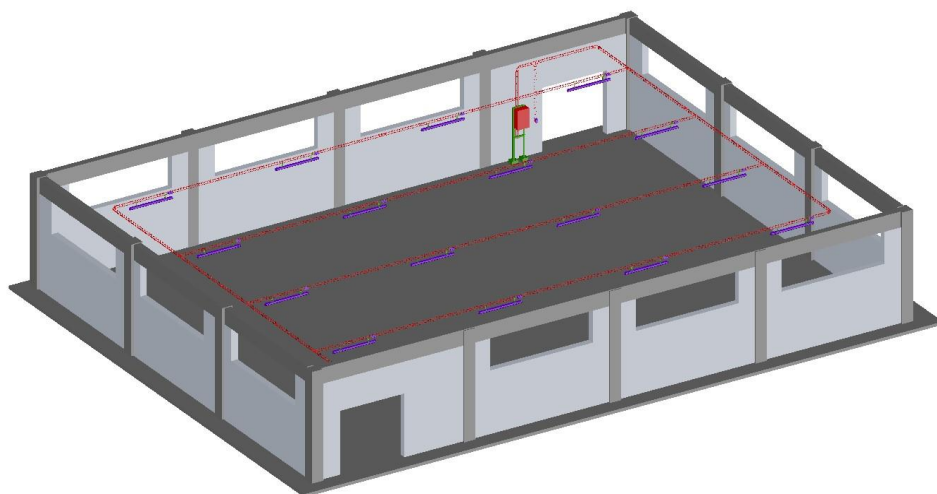


Fonte: o autor.

Após a realização dos dois estudos luminotécnicos, foi possível comprovar que, independentemente do tipo de luminária utilizada, ambos os projetos exigiram a instalação de 16 luminárias para alcançar o nível de 300 lux no ambiente, conforme determinado pela NBR ISO/CIE 8995-1:2013. Com as informações dos dois estudos finalizados, realizamos uma representação em 3D utilizando o AutoCAD Plant 3D. O

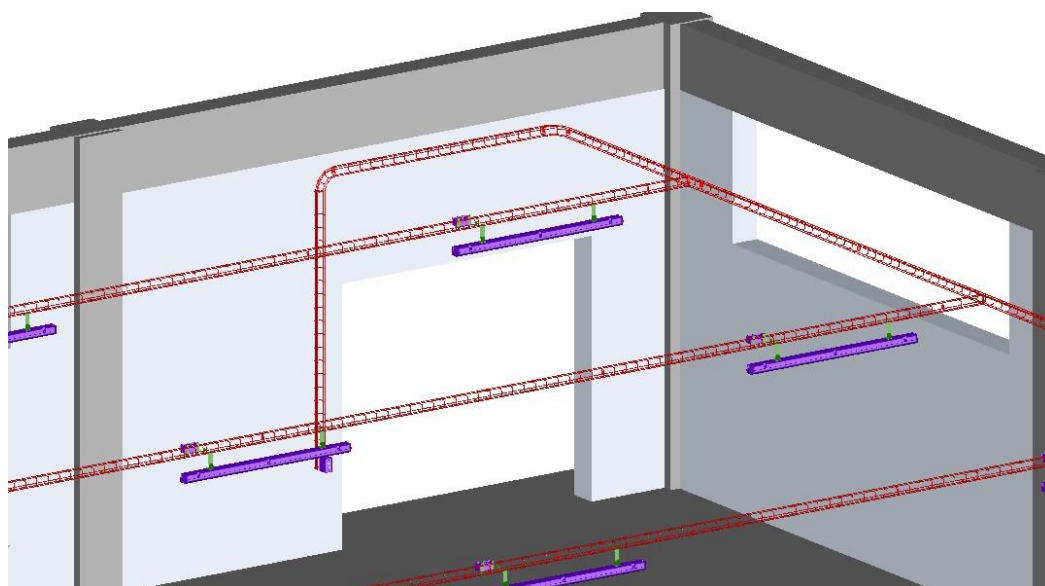
modelo inclui o leito aramado e as descidas dos interruptores em paralelo, proporcionando uma visualização mais clara e realista do projeto luminotécnico, facilitando o entendimento da disposição das luminárias e da instalação elétrica.

Figura 36 – Instalação Elétrica Maquete 3D



Fonte: o autor.

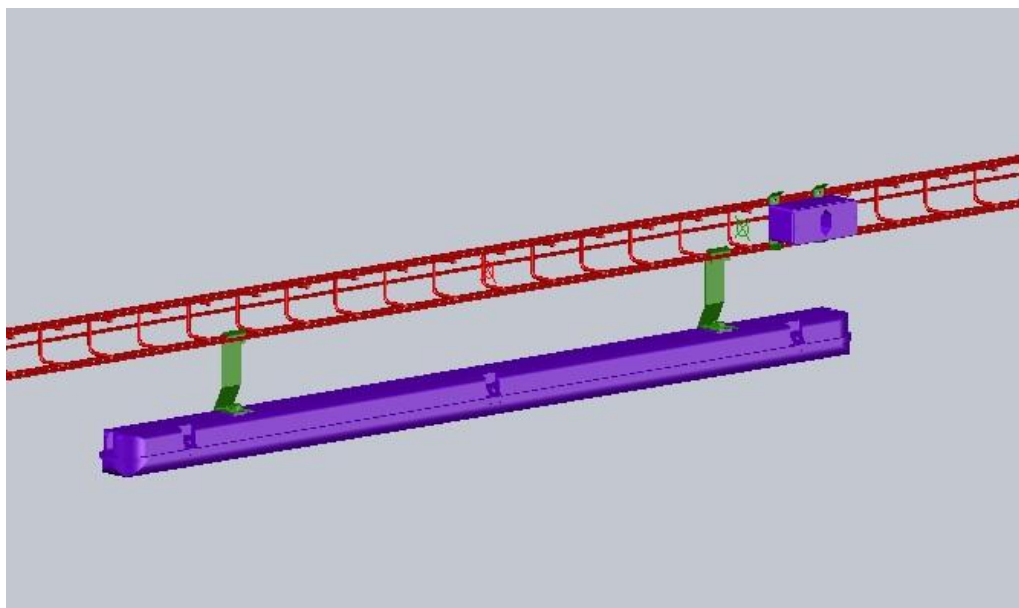
Figura 37 – Instalação Elétrica Maquete 3D



Fonte: o autor.

Para a representação em 3D, utilizamos as luminárias OplusLED modelo Suriname. Além disso, foi prevista a instalação de uma tomada em cada circuito, facilitando futuras manutenções e garantindo praticidade no serviço.

Figura 38 – Instalação Elétrica Maquete 3D

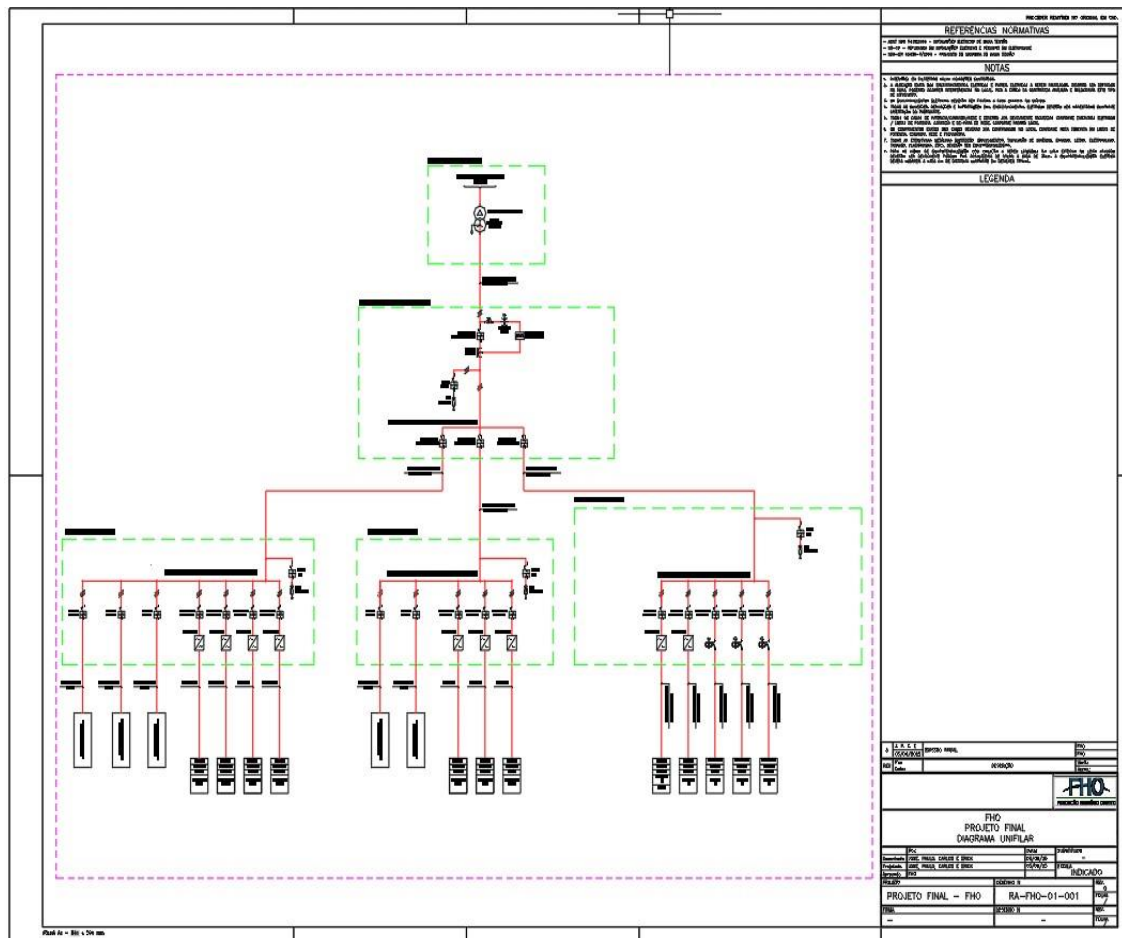


Fonte: o autor

### **DIAGRAMA UNIFILAR**

O diagrama unifilar mostra, de forma simples, como a parte elétrica do projeto está ligada, desde a entrada de energia até os circuitos finais. Ele ajuda a entender o caminho da energia, os equipamentos usados e onde estão as proteções. Esse desenho facilita a montagem e a manutenção da instalação elétrica, seguindo as normas técnicas.

Figura 39 – Instalação Elétrica Maquete 3D



Fonte: o autor.

## 2.8. ESPECIFICAÇÃO DA SUBESTAÇÃO

### 2.8.1. ALIMENTAÇÃO EM MÉDIA TENSÃO, CABOS, TC, TP E ESTRUTURA

Cálculo e as escolhas técnicas referentes à alimentação em média tensão (MT) para o projeto de uma indústria de papel, abordando a seleção do transformador, dimensionamento dos cabos, corrente do sistema, bem como a escolha dos transformadores de corrente (TC) e de potencial (TP), com respectivas fontes e justificativas.



## 2.8.2. DADOS BÁSICOS DO SISTEMA

Quadro 13 – Dados do Sistema

Parâmetro	Valor	Fonte
Tensão de fornecimento (MT)	13,8 kV	Normas da Energisa Paraíba
Tensão de uso (BT)	380 V	Projeto
Potência do transformador	750 kVA	Definido pelo grupo
Impedância do transformador	6% (0,06 pu)	Definido pelo grupo
Fator de demanda	0,85	Definido pelo grupo (conservador)
Potência corrigida (S)	724,2 kVA	Cálculo: 582 / 0,85

Fonte: cliente.

## 2.8.3. CÁLCULO DAS CORRENTES

- **Corrente no lado de média tensão (MT):**

$$I_{MT} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{750000}{\sqrt{3} \cdot 13800} \approx 31,4 A$$

- **Corrente no lado de baixa tensão (BT):**

$$I_{BT} = \frac{750000}{\sqrt{3} \cdot 380} \approx 1139,5 A$$

**Fonte:** Fórmula padrão trifásica; confirmada em catálogos e normas ABNT (ex. NBR 14039).

## 2.8.4. CABO DE MÉDIA TENSÃO - SELEÇÃO E AMPACIDADE

Para o atendimento do circuito de média tensão, foi selecionado o cabo de alumínio, seção nominal de 50 mm<sup>2</sup>, isolamento em XLPE, classe de tensão 15 kV, adequado para redes compactas aéreas protegidas, conforme estrutura padrão CE3-TR. A escolha do condutor considerou critérios de

capacidade de condução de corrente, desempenho térmico, resistência mecânica e atendimento às normativas aplicáveis. De acordo com as tabelas de ampacidade, o cabo selecionado possui uma capacidade máxima de condução de corrente de 179 A, considerando as condições normais de instalação para redes compactas aéreas. A corrente calculada para o circuito, conforme as demandas do projeto, é de 31,4 A, estando significativamente abaixo da capacidade nominal do condutor, garantindo assim ampla margem de segurança térmica, operacional e assegurando a longevidade dos componentes do sistema elétrico.

Figura 40 – NDU 002 - Fornecimento de energia elétrica em tensão primária (2024, p.122).

Ramal de Ligação e Ramal de Entrada - Cabo Protegido					
SEÇÃO NOMINAL (mm <sup>2</sup> )	CAPACIDADE DE MÁXIMA DE CORRENTE (A)	kVA MÁXIMO ADMISSÍVEL			
		11,4 kV	13,8 kV	22 kV	34,5 kV
	XLPE	XLPE	XLPE	XLPE	XLPE
50	179	3.534	4.279	6.821	10.696
120	317	6.259	7.577	12.079	18.942
185	416	8.214	9.943	15.852	24.858

Fonte: NDU 002.

### 2.8.5. ELO FUSÍVEL

Conforme os critérios estabelecidos na tabela da concessionária Energisa (NDU 002), para transformadores com potência nominal de 750 kVA, operando na tensão de 13,8 kV, a corrente nominal é de 31,4 A. Com base nesses dados e nas recomendações da concessionária, o dispositivo de proteção a ser utilizado no lado de média tensão é um elo fusível de 30K, que proporciona proteção adequada contra curto-circuito e sobrecargas, garantindo a seletividade e a integridade do sistema. Dessa forma, adota-se o elo fusível 30K para a proteção do transformador, atendendo plenamente aos critérios técnicos e operacionais exigidos pela concessionária e assegurando a proteção adequada do equipamento frente às condições de operação previstas.

Figura 41 – NDU 002 - Fornecimento de energia elétrica em tensão primária (2024, p.29).

Elos-fusíveis para transformadores trifásicos

POTÊNCIA EM kVA	ELO- FUSIVEL							
	11,4 kV		13,8 kV		22 kV		34,5 kV	
	IN (A)	ELO	IN (A)	ELO	IN (A)	ELO	IN (A)	ELO
15	0,76	1H	0,63	0,5H	0,39	0,5H	0,25	0,5H
30	1,52	2H	1,26	1H	0,79	1H	0,50	0,5H
45	2,28	2H	1,88	2H	1,18	1H	0,75	1H
75	3,80	3H	3,14	3H	1,97	2H	1,26	1H
112.5	5,70	5H	4,71	5H	2,95	3H	1,88	2H
150	7,60	8K	6,28	6K	3,94	5H	2,51	3H
225	11,40	12K	9,41	10K	5,90	5H	3,77	5H
300	15,19	15K	12,55	12K	7,87	8K	5,02	5H
400	19,26	20K	16,73	15K	10,50	10K	6,69	6K
500	25,32	25K	19,92	25K	13,12	12K	8,37	10K
750	37,98	40K	31,38	30K	19,68	20K	12,55	12K
1000	x	x	41,84	40K	26,24	25K	16,73	15K

Fonte: NDU 002.

## 2.8.6. TRANSFORMADORES DE MEDIÇÃO (TC E TP)

## 2.8.7. ESTRUTURA DA SUBESTAÇÃO – TRANSFORMADOR EM BASE DE CONCRETO

A estrutura da subestação foi projetada para instalação do transformador de 750 kVA em base de concreto (subestação tipo externa), seguindo a NBR 14039 e as práticas técnicas da Energisa Paraíba. A configuração adotada proporciona robustez, segurança operacional e atende integralmente aos requisitos normativos para fornecimento em média tensão.

### 2.8.7.1. Estrutura Física da Subestação:

A subestação será do tipo abrigada, atendendo às recomendações da norma NBR 14039 – Instalações Elétricas em Média Tensão de 1,0 kV a 36,2 kV. O

transformador será instalado em ambiente interno, devidamente protegido contra intempéries e acesso não autorizado. A sala da subestação contará com portas metálicas com abertura para fora, equipadas com dispositivos de travamento, e sinalização de segurança conforme normas vigentes. O piso será revestido com brita ou material isolante, com inclinação e sistema de drenagem para contenção de possíveis vazamentos de óleo do transformador. Além disso, a edificação contará com ventilação natural ou forçada, de modo a garantir a dissipação térmica adequada dos equipamentos. Serão também previstos dispositivos de proteção contra incêndio, como extintores e sistema corta-fogo entre compartimentos, quando aplicável. Toda a infraestrutura civil será projetada considerando os requisitos de acessibilidade para manutenção, segurança operacional e atendimento às exigências das concessionárias e normas técnicas.

#### **2.8.7.2. Equipamentos da Subestação:**

A subestação foi projetada em conformidade com as especificações estabelecidas nas normas técnicas da concessionária Energisa (principalmente NDU 002, NDU 005 e NDU 004), bem como as normas da ABNT NBR 14039 e NBR 5410, e contará com os seguintes componentes principais:

- Transformador trifásico de 750 kVA, com tensão primária de 13,8 kV e secundária de 380/220 V, adequado para o atendimento das cargas previstas no projeto. O equipamento atenderá aos critérios de desempenho, segurança e especificações construtivas exigidos pela concessionária.
- Painel de média tensão (cubículo de proteção, seccionamento e manobra), projetado segundo os requisitos da NDU 002 da Energisa, responsável pelas funções de proteção, seccionamento e manobra elétrica, garantindo segurança operacional, continuidade do fornecimento e permitindo intervenções seguras no sistema.
- Sistema de medição indireta, composto por transformadores de corrente (TCs) e transformadores de potencial (TPs), conforme os critérios estabelecidos na NDU 005 da Energisa, que regulamenta os requisitos de medição para clientes atendidos em média tensão. Esse sistema possibilita medições precisas de

energia elétrica, além de alimentar os sistemas de proteção, assegurando a correta atuação dos dispositivos de segurança.

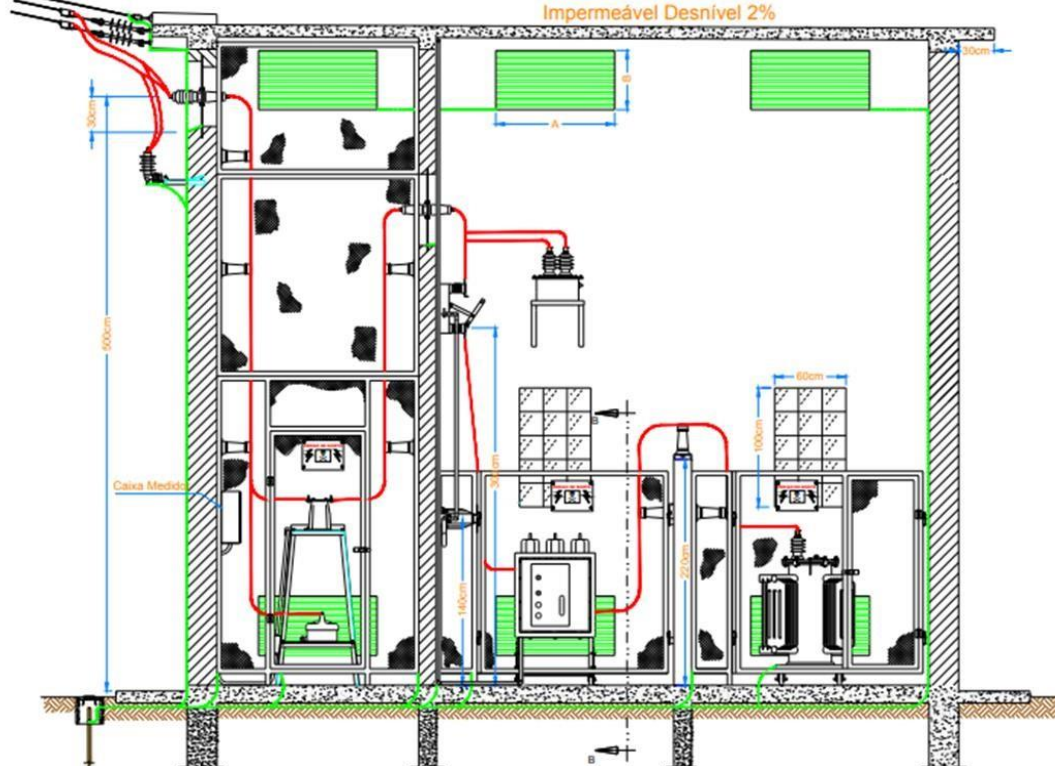
- Sistema de aterramento, projetado segundo os parâmetros da NDU 004 da Energisa, da NBR 5410 e da NBR 14039, utilizando uma malha de aterramento em cobre nu, interligada a hastes de aço-cobre 5/8”, devidamente conectada aos componentes metálicos da subestação. Esse sistema garante o correto escoamento de correntes de fuga, descargas atmosféricas e correntes de falta, assegurando a integridade dos equipamentos e a segurança das pessoas.
- Infraestrutura física da subestação, dimensionada para garantir os afastamentos mínimos de segurança operacional, conforme os critérios estabelecidos na NDU 002 da Energisa e na NBR 14039, proporcionando circulação adequada para inspeções, manutenções e manobras operacionais. A edificação conta com ventilação natural ou forçada, portas metálicas com abertura para fora, sinalização de segurança, iluminação de emergência e todos os requisitos necessários para garantir a operação segura e eficiente dos equipamentos.

#### **2.8.7.3. Ramal de Ligação em Média Tensão:**

O ramal de ligação é aéreo, com aproximadamente 10 metros de extensão, interligando o ponto de entrega da Energisa (poste com chave fusível tipo E-9 e para-raios tipo E-29) até a entrada da subestação. Será utilizado cabo de alumínio com isolamento XLPE para 15 kV, seção de 50 mm<sup>2</sup>, conforme Catálogo Prysmian. A capacidade do cabo excede 120 A, suficiente para suportar com folga a corrente nominal do transformador. O ramal será devidamente identificado, instalado com isoladores apropriados e contará com aterramento em ambas as extremidades, conforme NDU 002 e NBR 14039.

#### **Justificativa:**

A escolha por transformador em base ao tempo é tecnicamente válida, conforme a NBR 14039, desde que respeitadas as condições de acesso, distanciamento, proteção contra incêndio e segurança. A mureta corta-fogo foi incluída por precaução e com base na NDU 054.2, que exige barreira física quando a distância entre o transformador e o eletrocentro for inferior a

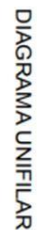


primária (2024, p. 188).



Fonte: o autor.

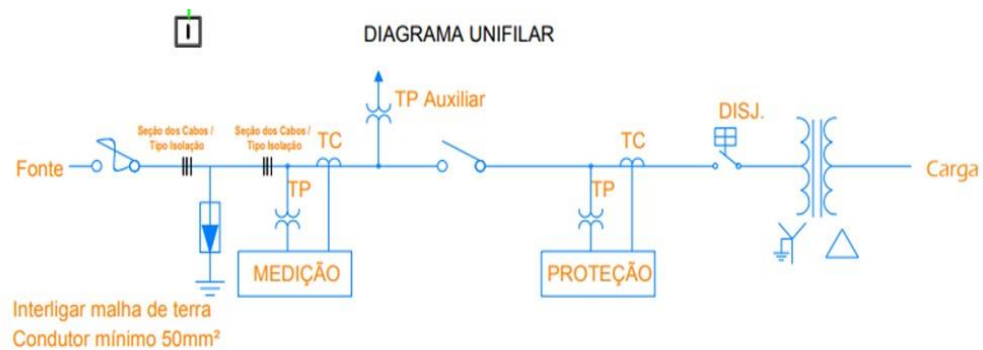
Figura 4 – Subestação Abrigada acima de 300 kVA Ramal Aéreo 50cm



PLANTA BAIXA

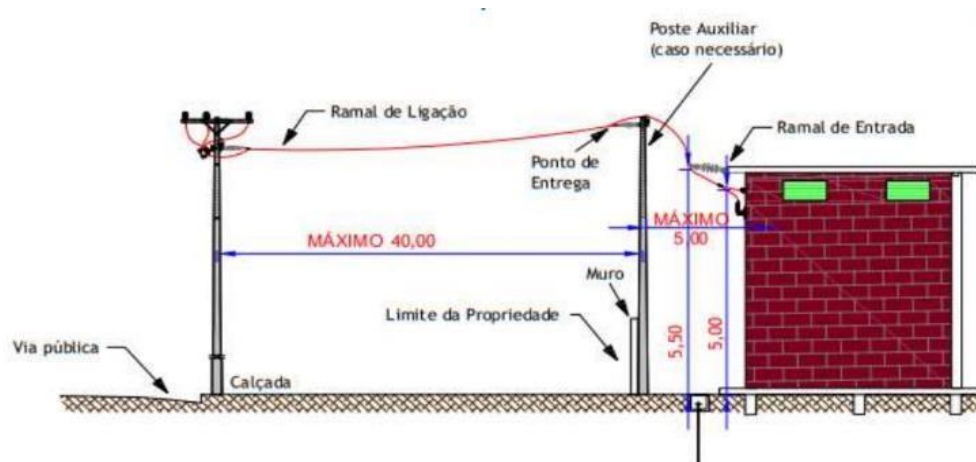
Fonte: o autor.

Figura 45 – NDU 002 - Fornecimento de energia elétrica em tensão primária (2024, p. 187).



Fonte: NDU 002.

Figura 46 – NDU 002 - Fornecimento de energia elétrica em tensão primária (2024, p. 38).



Fonte: NDU 002.



### 3. CONCLUSÃO

A realização deste projeto possibilitou a consolidação dos conhecimentos teóricos e práticos adquiridos ao longo da disciplina, por meio da aplicação efetiva das etapas envolvidas na elaboração de uma instalação elétrica industrial de média e baixa tensão. Desde o levantamento das cargas, passando pelo cálculo da potência total, dimensionamento do transformador, escolha de condutores, disjuntores, correção do fator de potência e projeto luminotécnico, todas as fases foram conduzidas com base nas normas técnicas vigentes, especialmente a ABNT NBR 5410, NBR 14039 e ISO/CIE 8995-1.

Os resultados obtidos demonstraram a eficiência das metodologias adotadas e a viabilidade técnica das soluções propostas. A escolha do transformador de 750 kVA mostrou-se adequada tanto para a demanda atual quanto para possíveis expansões futuras. O dimensionamento dos cabos e disjuntores foi realizado com margens de segurança apropriadas, garantindo a proteção do sistema contra sobrecargas e curtos-circuitos, conforme os valores calculados e os critérios normativos. A utilização de softwares como Excel, DCE, AutoCAD e DIALux contribuiu significativamente para a precisão dos cálculos e a representação fiel do sistema projetado.

Além disso, o projeto contemplou aspectos essenciais para o bom desempenho e a eficiência da instalação, como a correção do fator de potência através da instalação de bancos de capacitores, que minimizaram o impacto das cargas indutivas, e o estudo luminotécnico, que garantiu níveis adequados de iluminância nos ambientes de trabalho, promovendo conforto visual e segurança operacional.

Conclui-se, portanto, que os objetivos propostos foram plenamente alcançados. O projeto foi capaz de integrar teoria e prática de forma coerente e técnica, desenvolvendo competências essenciais para a atuação profissional em engenharia elétrica. A experiência proporcionou não apenas a aplicação de ferramentas de dimensionamento e simulação, mas também a reflexão crítica sobre as boas práticas e as exigências normativas que regem os

sistemas de fornecimento e distribuição de energia elétrica em ambientes industriais.

#### **4. REFERÊNCIAS**

ABNT. **NBR ISO/CIE 8995-1:2013** – Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT. **NBR 14039:2005** – Instalações elétricas de média tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT. **NBR 5410** – Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT. **NBR IEC 60947** – Dispositivos de manobra e comando de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ABNT. **NBR 8995** – Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Internos. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT. **NDU 002** – Fornecimento de energia elétrica em tensão primária. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ABNT. **NDU 054.2** – Critérios para elaboração de projetos de subestações tipo 02. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

BRASIL. **NR 10** – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade. Ministério do Trabalho e Emprego. Brasília, 2004.

ABNT. **004.1** – Instalações básicas para construção de redes compactas de média tensão de distribuição. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.