



CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO HERMÍNIO OMETTO

NÚCLEO DE ENGENHARIA

ENGENHARIA ELÉTRICA

Projetos de Sistemas Elétricos

P2

Nome completo	RA
Bruno Henrique de Oliveira	109784
Emerson Falcão Albertini	109667
Isaac Zulin Mamari Espelho	110490
Mateus Gomes Justino	109219

Araras

Junho 2025

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	4
2.	DESENVOLVIMENTO	6
2.1.	FATOR DE CORREÇÃO DE TEMPERATURA	6
2.2.	FATOR DE CORREÇÃO DE AGRUPAMENTO	7
2.3.	MOTORES SELECIONADOS.....	8
2.4.	TABELA DE CARGAS.....	9
2.5.	CONDUTORES E O DISJUNTOR BT PARA CADA CARGA.....	10
2.6.	CONDUTORES E O DISJUNTOR BT PARA CADA ÁREA	13
2.7.	CONDUTORES E O DISJUNTOR GERAL PARA O QGF	14
2.8.	CHAVES DE PARTIDA	16
2.8.1.	INVERSORES.....	16
2.8.2.	REATOR DE LINHA.....	17
2.8.3.	PROTEÇÃO	19
2.8.4.	DIAGRAMA DE LIGAÇÃO.....	20
2.9.	CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA	21
2.9.1.	METODOLOGIA DE CÁLCULO	21
2.9.2.	BANCO DE CAPACITORES	23
2.9.3.	REATORES DE DESSINTONIA.....	24
2.9.4.	CONTADORES.....	25
2.9.5.	DISJUNTORES.....	26
2.9.6.	RESUMO DE COMPONENTES PARA A CORREÇÃO DO FP.....	27
2.10.	TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA	28
2.11.	NÍVEIS DE CURTO-CIRCUITOS	30
2.11.1.	DADOS BASE.....	31
2.11.2.	IMPEDÂNCIA DO TRANSFORMADOR	31
2.11.3.	IMPEDÂNCIA DOS CONDUTORES.....	31
2.11.4.	CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO ASSIMÉTRICA.....	32
2.11.5.	TABELA DE RESULTADOS.....	33
2.11.6.	SIMULAÇÃO PSP-UFU.....	34
2.12.	DIAGRAMA UNIFILAR.....	36
2.13.	SUBESTAÇÃO ABRIGADA.....	37
2.14.	LUMINOTÉCNICO	40
3.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	54

3.1.	SELEÇÃO DE COMPONENTES	54
3.2.	DIMENSIONAMENTO DE CARGA TOTAL	54
3.3.	SELEÇÃO DE DISJUNTORES E PROTEÇÕES	54
3.4.	INVERSORES DE FREQUÊNCIA E PARTIDA DE MOTORES.....	55
3.5.	CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA	55
3.6.	TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA	55
3.7.	CALCULOS DE CURTO-CIRCUITO	55
3.8.	SUBESTAÇÃO ABRIGADA E CONEXÃO SUBTERRÂNEA.....	56
3.9.	PROJETO LUMINOTÉCNICO.....	56
3.10.	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONFORMIDADE COM NORMAS.....	56
4.	CONCLUSÃO	58
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

1. INTRODUÇÃO

Este projeto tem como finalidade apresentar a proposta de implementação de um sistema elétrico completo para uma indústria localizada na cidade de Gramado, no estado do Rio Grande do Sul, sob concessão da empresa RGE – Rio Grande Energia. A RGE faz parte do Grupo CPFL Energia, e por isso, adota as mesmas normas técnicas e padrões exigidos pelo grupo, especialmente as normas GED-2855 (Fornecimento em Tensão Primária – 15, 25 e 34,5 kV) e GED-2856 (Instalações de Subestação do Consumidor em Média Tensão), aplicáveis ao fornecimento de energia em média tensão e à implantação de subestações.

O trabalho foi desenvolvido em grupo, contemplando o dimensionamento, especificação e planejamento da infraestrutura elétrica, com foco na segurança operacional, eficiência energética e conformidade técnica. Para garantir a aderência às exigências técnicas, foram aplicadas também as normas NBR 5356-11 (Transformadores a seco – requisitos gerais) e NBR 14039 (Instalações elétricas de média tensão de 1 kV a 36,2 kV), que regulamentam os critérios construtivos e de instalação de equipamentos em sistemas de média tensão.

Reconhecendo a importância de um ambiente industrial bem iluminado, o grupo também desenvolveu um projeto luminotécnico completo, seguindo as diretrizes da ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, norma que estabelece os requisitos de iluminação para ambientes de trabalho, garantindo conforto visual, segurança e desempenho adequado nas áreas produtivas.

A demanda por soluções elétricas confiáveis e otimizadas é crescente, especialmente em setores industriais com alto consumo de energia. Nesse contexto, o grupo buscou atender às necessidades operacionais da planta, garantindo o fornecimento adequado de energia para os equipamentos e processos, com o menor índice possível de perdas, interrupções ou riscos elétricos.

O sistema foi projetado com base na NBR 5410, que regulamenta as instalações elétricas de baixa tensão, e em outros requisitos técnicos aplicáveis. Foram considerados critérios como o dimensionamento correto dos condutores e disjuntores, seleção de inversores de frequência para motores, aplicação de dispositivos de proteção contra sobrecorrente, curto-circuito e surtos, além da correção do fator de potência, visando evitar penalidades tarifárias e melhorar o desempenho energético da instalação.

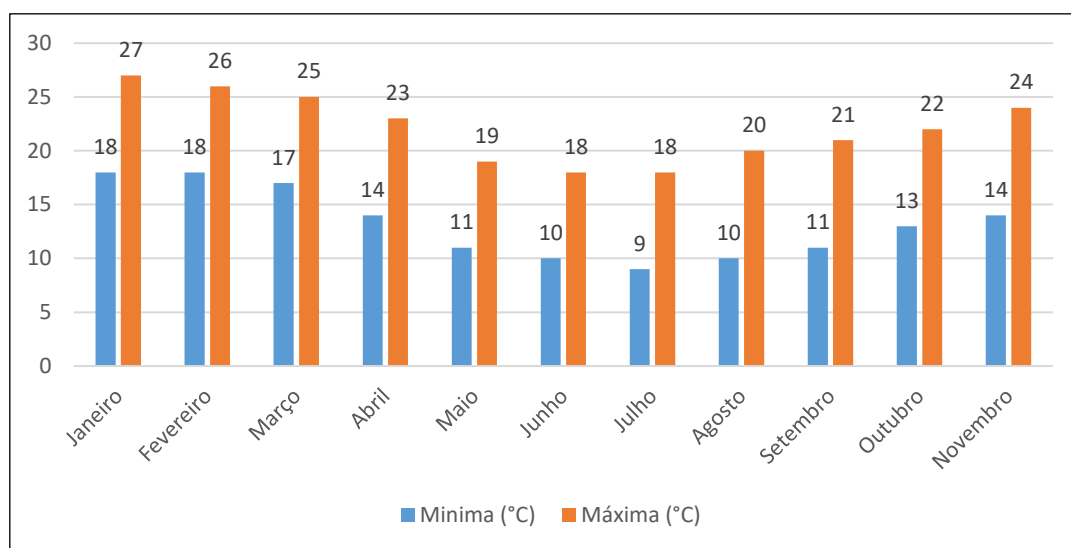
Este documento detalha todas as etapas do projeto, desde a análise de carga até a escolha dos materiais e equipamentos, passando pelas soluções de proteção, controle e distribuição de energia. A proposta final assegura não apenas o atendimento pleno às exigências da operação industrial, mas também a redução de custos operacionais, aumento da vida útil dos sistemas elétricos e conformidade com as normas técnicas adotadas pelo Grupo CPFL.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. FATOR DE CORREÇÃO DE TEMPERATURA

Para determinar o fator de correção por temperatura, utilizamos como referência a temperatura média anual registrada em Gramado no ano de 2024, conforme indicado no *Gráfico 1* e *Tabela 1*. Essa correção atende às exigências da norma NBR 5410, que estabelece a necessidade de considerar fatores de correção para garantir o dimensionamento adequado dos cabos elétricos em função das condições reais de temperatura ambiente. O fator de correção obtido será aplicado no cálculo de todos os cabos especificados neste projeto.

Gráfico 1 - Temperatura no ano de 2024 em Gramado/RS



Fonte: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/780/gramado-rs>

Tabela 1 – Média da temperatura em Gramado/RS

Temperatura	Mínima (°C)	Máxima (°C)
Média	13,10	23,25
Média Geral	18,15	

Fonte: Próprio autor

Figura 1 – Fatores de correção de 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
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91

Fonte: ABNT. NBR 5410:2004. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. Tabela 40.

2.2. FATOR DE CORREÇÃO DE AGRUPAMENTO

Para este projeto, foi adotado o modelo de isolamento EPR (*Ethylene Propylene Rubber*) nos cabos de potência e controle especificados para os circuitos em análise. A escolha desse tipo de isolamento deve-se às suas excelentes características de resistência térmica, estabilidade elétrica e durabilidade, garantindo maior confiabilidade e vida útil da instalação elétrica. No processo de dimensionamento dos condutores, foram considerados os fatores de agrupamento de cabos conforme estabelecido na norma ABNT NBR 5410:2004, que regulamenta as instalações elétricas de baixa tensão. Esses fatores de correção foram aplicados de acordo com as condições reais de instalação de cada circuito, levando em conta aspectos como o número de circuitos agrupados, o tipo de condutor, o método de instalação e a possibilidade de dissipação de calor. Tendo isso em vista, foram adotados os seguintes fatores de agrupamento.

- Motores 1 a 4: fator de agrupamento adotado igual a 0,65;
- Motores 5 a 7: fator de agrupamento adotado igual a 0,70;
- Circuitos auxiliares: fator de agrupamento adotado igual a 0,80;
- Circuitos de aquecimento 1, 2 e 3: fator de agrupamento adotado igual a 0,80.

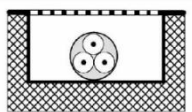
Figura 2 – Fatores de correção de agrupamento

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				

Fonte: ABNT. NBR 5410:2004. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. Tabela 42.

Foi considerado o método de instalação de referência B1, devido a compatibilidade com as condições físicas reais referentes à infraestrutura de acomodação dos cabos.

Figura 3 – Métodos de instalação

43		Cabos unipolares ou cabo multipolar em canaleta ventilada embutida no piso	B1
----	---	--	----

Fonte: ABNT. NBR 5410:2004. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. Tabela 33.

2.3. MOTORES SELECIONADOS

Foram adotados motores da linha W22 iR3 Premium da WEG, uma das mais reconhecidas fabricantes de máquinas elétricas do mundo. Essa linha de motores é projetada para oferecer alta eficiência energética, robustez construtiva e confiabilidade operacional, atendendo aos mais rigorosos padrões de desempenho e sustentabilidade.

Os motores W22 iR3 Premium são construídos com carcaça robusta em ferro fundido, rolamentos de alta qualidade, pintura anticorrosiva e ventilação otimizada, garantindo maior vida útil e redução de custos com manutenção. Além disso, apresentam baixos níveis de ruído e vibração, contribuindo para ambientes industriais mais seguros e confortáveis.

Esses motores são classificados como Nível de Eficiência IR3 (Premium Efficiency), proporcionando redução de consumo de energia elétrica e alinhamento com as normas de eficiência energética vigentes. Os modelos selecionados estão conforme a *Tabela 2* a seguir.

Tabela 2 – Características dos motores selecionados

Motores	Potência (HP)	Corrente Nominal em 380V (A)	Corrente Nominal em 440V (A)	Tensão de Alimentação (V)	RPM
Motor 5	20	30,35	26,1	380 / 440	1775
Motor 3 e 7	30	44,14	38,1	380 / 440	1770
Motor 1	50	70,88	61,2	380 / 440	1775
Motor 6	75	101,9	88,0	380 / 440	1780
Motor 2	125	166,8	144,0	380 / 440	1785
Motor 4	150	202,65	175,0	380 / 440	1785

Fonte: Próprio autor

Conforme orientações presentes no próprio manual técnico da WEG, para determinar a corrente nominal de operação de um motor trifásico em uma tensão diferente da nominal de catálogo, deve-se aplicar um fator de correção. No caso de motores com corrente nominal especificada para 440 V que operem em 380 V, a WEG recomenda utilizar a relação $In_{(380V)} = In_{(440V)} * 1,158$, garantindo assim um dimensionamento adequado dos dispositivos de proteção, cabos e alimentação elétrica.

Para a elaboração deste trabalho, foram utilizados os valores de rendimento e fator de potência conforme apresentados no catálogo técnico da WEG. Assim, foram considerados os valores correspondentes a 100% de carga, conforme a tabela do fabricante, garantindo coerência com as condições nominais de operação dos motores.

2.4. TABELA DE CARGAS

Para dar início ao dimensionamento elétrico do projeto, foi elaborada a tabela de cargas do sistema, reunindo todas as informações essenciais sobre cada equipamento ou ponto de consumo. Nessa etapa, foram identificadas as cargas previstas, suas potências nominais, tensões de alimentação, correntes calculadas, fator de potência e respectivas localizações dentro da instalação.

A organização dessas informações em uma tabela facilita a análise técnica do sistema como um todo, servindo de base para o cálculo dos condutores, a definição dos disjuntores e o planejamento da distribuição elétrica. Essa etapa também contribui para garantir que todos os elementos do sistema atendam aos critérios de segurança e desempenho exigidos pela norma NBR 5410.

A seguir, apresenta-se a *Tabela 3* de cargas completa, que norteou todas as decisões de dimensionamento adotadas ao longo do projeto

Tabela 3 – Cargas

Áreas	Carga	Potência mecânica (HP)	Fator de potência	Rendimento	Potência ativa (kW)	Potência reativa (kVAr)	Potência aparente (kVA)
1	Motor 1	50,00	0,84	0,954	37,00	20,08	46,17
	Motor 2	125,00	0,86	0,954	92,00	45,93	112,13
	Motor 3	30,00	0,81	0,936	22,00	12,90	29,02
	Motor 4	150,00	0,86	0,958	110,00	56,13	133,51
2	Motor 5	20,00	0,81	0,930	15,00	8,80	19,91
	Motor 6	75,00	0,86	0,954	55,00	28,07	67,04
	Motor 7	30,00	0,81	0,936	22,00	12,90	29,02
3	Auxiliar	-	0,92	1,000	75,00	29,39	81,52
	Auxiliar	-	0,92	1,000	75,00	29,39	81,52
	Aquec. 1	-	1,00	1,000	30,00	0,00	30,00
	Aquec. 2	-	1,00	1,000	25,00	0,00	25,00
	Aquec. 3	-	1,00	1,000	40,00	0,00	40,00

Fonte: Próprio autor

2.5. CONDUTORES E O DISJUNTOR BT PARA CADA CARGA

Garantir a segurança e o bom desempenho do sistema elétrico exige um dimensionamento adequado dos condutores e dispositivos de proteção. Nesta etapa do projeto, adotamos como referência a norma NBR 5410, que estabelece os critérios mínimos para instalações elétricas em baixa tensão.

Cada carga foi analisada individualmente, considerando características como a potência, a corrente nominal, o regime de funcionamento e a distância até o painel de distribuição. A partir desses dados, foram selecionados os cabos e disjuntores mais apropriados, levando em conta fatores técnicos como a capacidade de condução de corrente, a queda de tensão admissível, o método de instalação utilizado e os ajustes necessários conforme a temperatura ambiente e o agrupamento de circuitos.

Além disso, optamos por utilizar exclusivamente disjuntores da marca WEG, buscando padronização, facilidade de aquisição e confiabilidade nos ajustes. A escolha se deu também pela qualidade reconhecida dos produtos da marca e pela praticidade na instalação e regulação.

Na *Tabela 4* a seguir, apresentamos a relação completa dos condutores e disjuntores definidos para cada carga do sistema, com base nos critérios técnicos adotados ao longo do desenvolvimento do projeto:

Tabela 4 - Condutores Áreas

Área	Carga	Cabo mm ² - Ampacidade	Cabo mm ² - queda de tensão	Cabo mm ² - seção mínima	Cabo mm ² - escolhido	Corrente do Disjuntor BT (A)	Regulagem do Disjuntor BT (A)	Modelo Disjuntores WEG (Reguláveis)
1	Motor 1	25	2,5	16	25	80	80	MPW80-3-U080
	Motor 2	95	6	50	95	200	180	DWB250N200-3DF
	Motor 3	16	1,5	6	16	50	50	MPW80-3-U050
	Motor 4	120	10	70	120	250	210	DWB250N-250-3DF
2	Motor 5	6	1	4	6	32	32	MPW40-3-U032
	Motor 6	35	4	25	35	125	105	DWB160N-125-3DF
	Motor 7	10	1,5	6	10	50	47	MPW80-3-U050
3	Auxiliar	50	6	35	50	125	125	DWB160N125-3DF
	Auxiliar	50	6	35	50	125	125	DWB160N125-3DF
	Aquec. 1	10	2,5	6	10	50	48	DWB160N50-3DF
	Aquec. 2	10	2,5	6	10	40	40	DWB160N40-3DF
	Aquec. 3	16	4	10	16	63	63	DWB160N63-3DF

Fonte: Próprio autor

Para a definição das bitolas dos cabos utilizados na instalação elétrica, foram adotados três critérios distintos de dimensionamento, conforme as boas práticas da engenharia e as normas técnicas aplicáveis:

Ampacidade: Verificou-se a corrente nominal dos circuitos com base na potência instalada, utilizando a fórmula:

$$I_p = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\varphi \cdot \eta}$$

Onde:

- I_p = Corrente nominal do circuito (A)
- P_n = Potência ativa nominal da carga (W)
- V = Tensão entre fases (V)
- $\cos\varphi$ = Fator de potência (adimensional), representa a relação entre potência ativa e aparente
- η = Rendimento da carga ou equipamento (adimensional, geralmente entre 0,8 e 1)

A bitola foi inicialmente determinada para garantir que o cabo suporte a corrente exigida, considerando as condições de instalação e a temperatura ambiente.

Queda de Tensão: Avaliou-se a queda de tensão admissível nos circuitos, conforme a fórmula:

$$S = \sqrt{3} \cdot \rho \cdot \frac{1}{e(\%) \cdot V_{ff}^2} \cdot \sum (P \cdot l)$$

Onde:

- S = Seção do condutor (mm²)
- ρ = Resistividade elétrica do material do condutor (Ω·mm²/m) - Cobre
- $e(\%)$ = Queda de tensão admissível (em porcentagem, ex: 4% → 0,04)
- V_{ff}^2 = Tensão entre fases (V) elevado ao quadrado
- $\sum (P \cdot l)$ = Soma dos produtos entre potências de carga (W) e seus respectivos comprimentos (m)
- P = Potência da carga (W)
- l = Comprimento do trecho do condutor até a carga (m)

Esse critério garante que a tensão na extremidade da carga esteja dentro dos limites permitidos, evitando perdas excessivas e mau funcionamento dos equipamentos.

Seção Mínima Permitida: Considerou-se também a seção mínima exigida pelas normas para fins de proteção mecânica e segurança da instalação.

Após a análise individual por cada método, foi adotada como definitiva a bitola mais viável e segura, escolhida com base no valor mais restritivo entre os três, assegurando a conformidade técnica, o desempenho eficiente e a segurança da instalação elétrica.

De acordo com a NBR 5410, em sua seção 6.2.7.2.2, recomenda-se que a queda de tensão entre o ponto de entrega e qualquer ponto de utilização não ultrapasse 4% da tensão nominal em circuitos de força e iluminação. No entanto, com o objetivo de garantir uma maior margem de segurança, minimizar perdas elétricas e possibilitar futuras ampliações da carga, adotou-se para os cálculos uma queda de tensão máxima de 2%. Essa decisão visa assegurar um melhor desempenho do sistema e aumentar sua confiabilidade operacional ao longo do tempo.

2.6. CONDUTORES E O DISJUNTOR BT PARA CADA ÁREA

Além do dimensionamento individual por carga, também foi necessário definir os condutores e disjuntores de baixa tensão para cada área do sistema, considerando o agrupamento de cargas e a distribuição dos circuitos dentro da planta. Essa etapa teve como objetivo garantir não apenas a proteção adequada, mas também a organização e eficiência na distribuição elétrica.

A escolha dos condutores e disjuntores foi feita com base nas características elétricas das áreas, levando em conta a potência total demandada, o tipo de instalação, a distância em relação ao quadro de distribuição e os fatores de correção aplicáveis. Assim como no item anterior, seguimos as diretrizes da norma NBR 5410 para assegurar conformidade técnica e segurança.

Mantivemos a padronização dos disjuntores utilizando novamente os modelos da marca WEG, escolhidos por sua qualidade, facilidade de regulagem e disponibilidade no mercado. Essa uniformidade facilita a manutenção e o entendimento do sistema como um todo.

Na sequência, apresentamos a *Tabela 5* com as especificações dos cabos e disjuntores definidos para cada área do projeto, com base nos critérios técnicos levantados durante a etapa de dimensionamento:

Tabela 5 - Condutores Áreas QGF

Área	Ampacidade (mm ²)	Queda de tensão (mm ²)	Seção mínima (mm ²)	Cabo escolhido (mm ²)	Corrente Disjuntor (A)	Modelo Disjuntores
1	240	95	2x95.00	2x95.00	500	DWB650S500-3DA
2	50	50	70	70	180	DWB250N200-3DF
3	185	95	185	185	400	DWB400N400-3DA

Fonte: Próprio autor

Para os cálculos das bitolas dos condutores das áreas foram usados os mesmos princípios e fórmulas do **item 2.5**.

2.7. CONDUTORES E O DISJUNTOR GERAL PARA O QGF

Além do dimensionamento individual por carga, também foi realizado o dimensionamento do disjuntor geral do Quadro de Distribuição Final (QDF), considerando a soma das correntes dos circuitos agrupados, de acordo com a potência total instalada e os critérios normativos. A corrente nominal do disjuntor foi definida com base nos cálculos de ampacidade, queda de tensão e seção mínima dos condutores, conforme exigido pela ABNT NBR 5410:2004.

Com o objetivo de garantir segurança operacional e flexibilidade para futuras ampliações, foi adotada uma margem de segurança adicional de 35% sobre a corrente nominal calculada, assegurando uma capacidade extra de condução de corrente sem necessidade de substituição imediata do disjuntor em caso de expansão da carga instalada.

Assim como nas demais partes do sistema, mantivemos a padronização da linha de disjuntores da marca WEG, priorizando a uniformidade dos dispositivos, a facilidade de aquisição, a confiabilidade e a praticidade de manutenção. Essa abordagem contribui para a padronização técnica do sistema elétrico, facilitando diagnósticos e intervenções futuras.

Na sequência, apresentamos a *Tabela 6* com as especificações dos cabos e do disjuntor definido para o QGF, com base nos critérios técnicos levantados durante a etapa de dimensionamento:

Tabela 6 - Condutores QGF

Área	Cabo mm ² - Ampacidade	Cabo mm ² - queda de tensão	Cabo mm ² - seção mínima	Cabo mm ² - escolhido	Corrente do Disjuntor (A)	Modelo Disjuntor
QGF	4x180	70	4x150	4x180	1600	DWA1600S-1600-3ET

Fonte: Próprio autor

Para os cálculos das bitolas dos condutores das áreas foram usados os mesmos princípios e fórmulas do **item 2.5**.

2.8. CHAVES DE PARTIDA

O grupo definiu que o sistema elétrico seria destinado a uma indústria alimentícia de médio porte, o que condiz com os dados das cargas descritas no projeto base. A instalação encontra-se dividida em três setores, compostos por motores elétricos, sistemas de aquecimento e cargas auxiliares.

Considerando o tipo de indústria, o grupo optou por utilizar inversores de frequência para a partida de todos os motores localizados nas áreas 1 e 2. Essa decisão foi tomada com base nos equipamentos geralmente utilizados nesse segmento industrial como esteiras, misturadores e bombas que exigem controle de velocidade, automação e monitoramento contínuo.

Na área 3 estão localizados os sistemas de aquecimento e as cargas auxiliares. Considerou-se que as cargas auxiliares correspondem a dois QDFs (Quadros de Distribuição de Força e Luz), responsáveis pela alimentação das lâmpadas e tomadas de toda a fábrica. Por se tratarem de cargas de perfil resistivo, foi definido ao uso apenas de disjuntores alimentadores para seu dimensionamento.

2.8.1. INVERSORES

Para o acionamento dos motores nas áreas 1 e 2, o grupo optou pela utilização da linha de inversores de frequência CFW500 da WEG. Essa escolha se deu principalmente por se tratar de um equipamento nacional, com boa disponibilidade no mercado. Além disso, o modelo CFW500 apresenta bom desempenho no controle de velocidade, possui recursos de proteção, comunicação com CLPs e compatibilidade com diversos tipos de cargas.

Também foi definido que os inversores operariam no modo Heavy Duty (HD), devido às características mais exigentes das aplicações, como partidas frequentes e necessidade de torque elevado, comuns nesse tipo de indústria. No entanto, para o motor 4, optou-se pelo regime Normal Duty (ND), já que não há, na linha CFW500 da WEG, um modelo que atenda à corrente requerida em HD para essa carga.

A *Tabela 7* a seguir apresenta a relação dos inversores definidos para cada motor, juntamente com suas respectivas correntes:

Tabela 7 - Inversores utilizados

Motor	Corrente do Motor	Modo de Operação	Corrente do Drive	Drive Escolhido
Motor 1	70.15	HD	73	CFW500F88P0T4
Motor 2	170.37	HD	180	CFW500G0211T4
Motor 3	44.09	HD	49	CFW500E49P0T4
Motor 4	202.85	ND	211	CFW500G0211T4
Motor 5	30.25	HD	31	CFW500D31P0T4
Motor 6	101.85	HD	115	CFW500G0142T4
Motor 7	44.09	HD	49	CFW500E49P0T4

Fonte: Próprio autor

2.8.2. REATOR DE LINHA

Com o objetivo de proteger os inversores de frequência e melhorar a qualidade da energia no sistema, o grupo adotou a utilização de reatores de linha (também chamados de reatores de entrada) em todos os circuitos com inversores. Esses dispositivos são instalados entre o disjuntor de proteção e o inversor, e têm como principais funções: reduzir a distorção harmônica de corrente, minimizar picos de corrente de entrada e proteger os componentes eletrônicos contra variações súbitas de tensão provenientes da rede.

A utilização desses reatores é especialmente recomendada em instalações industriais, onde há uma elevada concentração de cargas não lineares e motores de médio e grande porte. Além de contribuírem para o atendimento a normas como a **IEEE 519**, que estabelece limites para distorções harmônicas, os reatores ajudam a aumentar a vida útil dos inversores e demais equipamentos sensíveis conectados ao sistema.

O grupo optou por não utilizar reatores de saída, pois as distâncias entre os inversores e os motores são de apenas 5 metros. Esses reatores são indicados apenas em casos de cabos longos, onde há risco de sobretensões por reflexo de onda (reflected wave).

Para o dimensionamento genérico dos reatores de linha, considera-se a corrente nominal do inversor e a impedância desejada, conforme a equação:

$$XL = \frac{100 \times Inominal}{Vlinha \times 2 \times \%Z}$$

Onde:

- XL é a reatância do indutor (Ω)

- *V_{linha}* é a tensão entre fases da rede (380 V)
- *%Z* é a impedância desejada (neste projeto, 3%)
- *I_{nominal}* é a corrente nominal do inversor

No entanto, conforme o manual do CFW500 da WEG (página 119), o fabricante recomenda uma fórmula específica para determinar a reatância de linha com base na queda de tensão desejada:

$$L = \frac{1592 \times \Delta V \times V_e}{I_{s,nom} \times f} [\mu H]$$

Onde:

- ΔV - queda de tensão desejada (%)
- V_e - tensão de fase na entrada do inversor (V)
- $I_{s,nom}$ - corrente nominal de saída do inversor (A)
- f - frequência da rede (Hz)

Durante o desenvolvimento do projeto, foi constatada a ausência de informações técnicas detalhadas sobre os reatores da linha WEG, como valores precisos de indutância e corrente. Por esse motivo, o grupo optou por utilizar reatores do fabricante Rockwell, que fornece todos os dados necessários para um dimensionamento seguro e adequado.

A *Tabela 8*, a seguir apresenta a relação dos reatores definidos para cada inversor, contendo seus respectivos modelos e características elétricas.

Tabela 8 - Reatores utilizados

Drive	Corrente do Drive (A)	Indutância Necessária (mH)	Reator Escolhido	Dados do Reator
CFW500F88P0T4	73	0.2399	1321-3R80-B	80A e 0.4mH
CFW500G0211T4	180	0.0973	1321-3R200-B	200A e 0.11mH
CFW500E49P0T4	49	0.3574	1321-3R55-B	55A e 0.5mH
CFW500G0211T4	211	0.0830	1321-3R200-B	200A e 0.11mH
CFW500D31P0T4	31	0.5649	1321-3R35-B	35A e 0.8mH
CFW500G0142T4	115	0.1523	1321-3R130-B	130A e 0.2mH
CFW500E49P0T4	49	0.3574	1321-3R55-B	55A e 0.5mH

Fonte: Próprio autor

2.8.3. PROTEÇÃO

Para garantir a proteção adequada dos inversores de frequência e das instalações, foram especificados disjuntores termomagnéticos dedicados a cada uma das partidas com inversores nas áreas 1 e 2. Esses dispositivos são responsáveis por proteger os circuitos contra curtos-circuitos e sobrecorrentes, assegurando a segurança do sistema e a integridade dos equipamentos.

O dimensionamento dos disjuntores deve considerar não apenas a corrente nominal do inversor e o seu regime de operação (ND ou HD), mas também a corrente de curto-circuito presumida no ponto de instalação. Isso garante que o disjuntor seja capaz de interromper uma falha sem comprometer sua estrutura ou danificar a instalação. Além disso, é essencial escolher a curva de disparo adequada (como curva C ou D), considerando a inércia da carga e a velocidade de resposta necessária.

Uma forma genérica para estimar a corrente nominal mínima do disjuntor é:

$$I_{\text{disjuntor}} \geq I_{\text{inversor}} \times F_{\text{serviço}}$$

Onde:

- ***I_{inversor}*** é a corrente nominal do inversor;
- ***F_{serviço}*** o é um fator de segurança, geralmente entre 1,1 e 1,25 dependendo da aplicação.

Além disso, a capacidade de interrupção do disjuntor deve ser superior à corrente de curto-circuito disponível no ponto de instalação, garantindo sua atuação em situações críticas.

Seguindo as orientações do fabricante WEG, o grupo utilizou a tabela de Especificações de Fusíveis e Disjuntores presente no Anexo B, página 157 do Manual do Usuário do Inversor CFW500. Essa tabela foi adotada conforme recomendado pela própria WEG, que especifica os modelos adequados de disjuntores e fusíveis para cada tipo de inversor, com base em testes e nas correntes reais de pico suportadas pelo equipamento.

A *Tabela 9* com os disjuntores especificados para cada inversor de frequência, incluindo suas respectivas correntes nominais e características.

Tabela 9 - Disjuntores selecionados

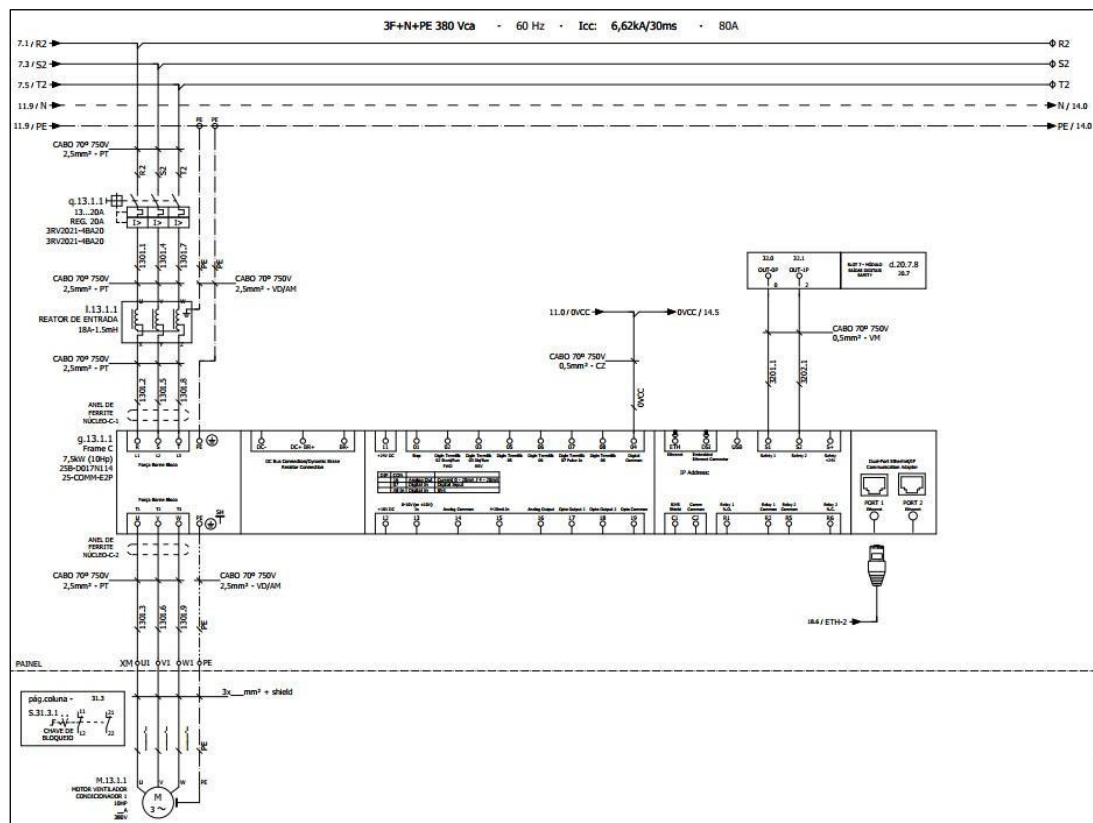
Drive	Corrente do drive (A)	Disjuntor Recomendado	Corrente do Disjuntor	Cap. de Interr. de CC
CFW500F88P0T4	73	MPW80-3-U080	65-80 A (ajustável)	65kA
CFW500G0211T4	180	DWB250N200-3DF	200 A (ajustável)	36kA
CFW500E49P0T4	49	MPW80-3-U050	40-50 A (ajustável)	65kA
CFW500G0211T4	211	DWB250N-250-3DF	250 A (ajustável)	36kA
CFW500D31P0T4	31	MPW40-3-U032	25-32 A (ajustável)	50kA
CFW500G0142T4	115	DWB160N-125-3DF	125 A (ajustável)	36kA
CFW500E49P0T4	49	MPW80-3-U050	40-50 A (ajustável)	65kA

Fonte: Próprio autor

2.8.4. DIAGRAMA DE LIGAÇÃO

A *Figura 4* abaixo está apresentado o diagrama de ligação genérico de um sistema de partida utilizando inversor de frequência, responsável pelas partidas dos motores listados neste projeto.

Figura 4 - Esquema de ligação inversor de frequência



Fonte: Próprio autor

2.9. CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA

A correção do fator de potência (FP) é essencial em instalações industriais para reduzir o consumo de potência reativa, minimizar perdas elétricas, evitar penalidades aplicadas pela concessionária. Essa correção é realizada por meio da instalação de bancos de capacitores devidamente dimensionados de acordo com a demanda reativa do sistema.

2.9.1. METODOLOGIA DE CÁLCULO

A correção do fator de potência foi implementada nas Áreas 1 e 2 da planta industrial em função dos baixos níveis de fator de potência medidos, os quais se encontravam inferiores ao limite mínimo de 0,92, conforme exigido pela **Resolução Normativa nº 1000**, de 07 de dezembro de 2021, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Valores de fator de potência abaixo desse limite acarretam penalidades tarifárias, conforme definido pela concessionária local, além de resultar em um sistema elétrico menos eficiente, com maior circulação de corrente reativa, sobrecarga em transformadores e cabos, e redução da vida útil de equipamentos elétricos.

A potência reativa necessária para os bancos de capacitores foi calculada com base nas seguintes expressões:

- **Cálculo dos fatores de potência e seus respectivos ângulos**

Os cálculos de fator de potência e seus respectivos ângulos se deu pelos valores da *Tabela 10* e pelas seguintes formulas:

$$FP = \frac{\text{Potência Ativa}}{\text{Potência Aparente}} \quad \& \quad \cos(\theta) = FP$$

Tabela 10 - Potências de cada área

Área	Poência ativa total (kW)	Poência reativa total (kVAr)	Poência aparente total (KVA)
1	261,00	135,04	320,84
2	92,00	49,76	115,97
3	245,00	58,79	258,04

Fonte: Próprio autor

Através dos resultados da *Tabela 11* notamos que somente as áreas 1 e 2 necessitam de correção em seus fatores de potência.

Tabela 11 – Fator de potência de cada área calculado

Área	FP. total por área	Ângulo
1	0,813	35,56
2	0,793	37,50
3	0,949	18,30

Fonte: Próprio autor

- Potência reativa total antes da correção e capacidade mínima do banco:**

A potência reativa total de cada área se deu pela somatória das potências reativas de cada motor, conforme a Tabela 12 e Tabela 13 a seguir.

Tabela 12 - Potência reativa total área 1

Componente	Potência reativa (kVAr)	Potência necessária proveniente do banco de capacitores (kVAr)
Motor 1	20,08	
Motor 2	45,93	
Motor 3	12,90	
Motor 4	56,13	
Total	135,04	49,25

Fonte: Próprio autor

Tabela 13 - Potência reativa total área 2

Componente	Potência reativa (kVAr)	Potência necessária proveniente do banco de capacitores (kVAr)
Motor 1	19,91	
Motor 2	67,04	
Motor 3	29,02	
Total	49,76	19,53

Fonte: Próprio autor

- Potência reativa desejada após a correção:**

$$Q_{\text{área1}} = Q - P \cdot \tan(\arccos(FP_{\text{novo}}))$$

$$Q_{\text{área2}} = Q - P \cdot \tan(\arccos(FP_{\text{novo}}))$$

- Potência reativa necessária para o banco de capacitores:**

$$Q_c = Q - P \cdot \tan(\arccos(FP_{\text{antigo}}))$$

Com o valor de Q_c , foi possível determinar a quantidade de potência reativa que deve ser inserida no sistema por meio dos capacitores, a fim de elevar o fator de potência ao valor desejado de $FP_{\text{novo}} = 0,95$ para ambas as áreas, atendendo aos requisitos da concessionária e melhorando o desempenho elétrico da instalação.

2.9.2. BANCO DE CAPACITORES

Foram especificados bancos de capacitores da linha BCW da WEG, fixos de correção do fator de potência. Esses capacitores trifásicos são dimensionados para operação em redes com tensão nominal de até 380 V e frequência de 60 Hz, sendo ambos os bancos compostos por uma unidade capacitiva UCWT HD, possuindo construção robusta com filme de polipropileno metalizado e grau de proteção IP-32 o que assegura uma proteção contra quedas verticais de gotas d'água com inclinação de 15 graus e objetos sólidos com diâmetro maior que 2,5mm, o que garante:

- Elevada confiabilidade operacional,
- Alta resistência a sobrecargas,
- Autoproteção contra falhas dielétricas,

Na *Tabela 14* temos os modelos adotados para cada área e na *Figura 5* temos um exemplo de banco de capacitores WEG BCW.

Tabela 14 - Modelos dos bancos de capacitores utilizados

Área	Banco de Capacitores	Potência Reativa do Banco (kVAr)	Unidade Capacitiva do Banco	Qtd.
1	BCW50V40 T	50	UCWT50V40 U28 HD	1
2	BCW20V40 T	20	UCWT20V40 Q26 HD	1

Fonte: Próprio autor

Figura 5 - Banco de capacitores WEG BCW



Fonte: WEG-capacitores-para-correção-do-fator-de-potencia

2.9.3. REATORES DE DESSINTONIA

Em ambientes com cargas não lineares, como inversores de frequência, utilizam-se reatores de dessintonia conectados com os capacitores para evitar ressonâncias harmônicas, proteger os equipamentos e garantir estabilidade no sistema.

Para proteger os capacitores contra harmônicos, foram adotados reatores de dessintonia com frequência de dessintonia em 160,4 Hz, correspondendo a 14% de dessintonia, conforme mostra a *Tabela 15* e na *Figura 6* temos um exemplo de um reator de dessintonia.

Essa solução proporciona:

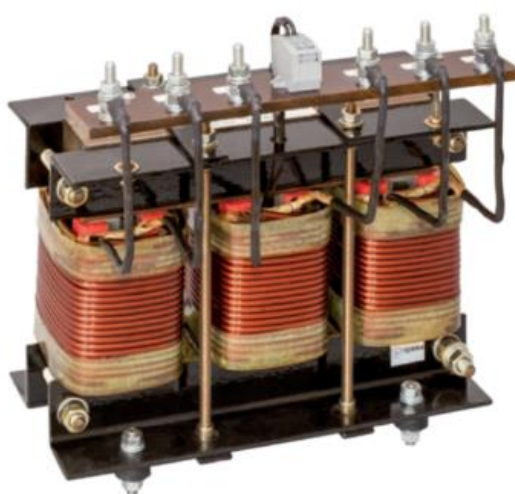
- Mitigação de distorções harmônicas no sistema,
- Aumento da vida útil dos capacitores,
- Manutenção da qualidade da energia elétrica,
- Melhoria do desempenho global do sistema de compensação reativa.

Tabela 15 - Modelos dos reatores de dessintonia utilizados

Área	Modelo	Tensão (V)	Potência Reativa (kVAr)	Corrente (A)	Indutância (mH)
1	DRW14-1,22V40	380	51	77,7 A	1,222
2	DRW14-2,85V40	380	21,9	33,2 A	2,852

Fonte: Próprio autor

Figura 6 - Reator de dessintonia WEG DRW



Fonte: WEG-capacitores-para-correção-do-fator-de-potencia

2.9.4. CONTADORES

O acionamento dos bancos de capacitores é feito por contadores da linha CWBC da WEG, que incluem resistores de limitação de corrente (pré-carga) de inserção para proteger os capacitores contra picos de corrente durante a manobra do contador, sendo a *Tabela 16* e *Figura 7* os modelos selecionados.

Tabela 16 - Modelo dos contadores utilizados

Área	Modelo do Contador	Tensão Nominal de Isolação (V)	Corrente Nominal (A)
1	CWBC65-21-30D23	690	65
2	CWBC25-21-30C15	690	25

Fonte: Próprio autor

Esses contadores atendem à norma IEC 60947-4-1, garantindo operação segura e confiável em ambientes industriais.

Figura 7 – Contador CWBC



Fonte: Contadores-CWBC-WEG

2.9.5. DISJUNTORES

A proteção do sistema foi realizada com disjuntores termomagnéticos da linha DWB da WEG, dimensionados com base nas correntes corrigidas após inserção dos reatores e na seção dos cabos utilizados, na *Tabela 17* e *Figura 8* vemos os modelos selecionados.

Tabela 17 - Modelos dos disjuntores de proteção

Área	Modelo do Disjuntor	Corrente Nominal (A)	Corrente de interrupção (KA)	Polos
1	DWB160B125-3DX	125	16	3
2	DWB160B50-3DX	50	16	3

Fonte: Próprio autor

Esses disjuntores protegem contra sobrecargas e curtos-circuitos, assegurando a integridade do sistema e dos equipamentos.

Figura 8 – Disjuntor DWB



Fonte: Disjuntores-DWB-WEG

2.9.6. RESUMO DE COMPONENTES PARA A CORREÇÃO DO FP

A *Tabela 18* apresenta um resumo dos componentes necessários em cada área para a correção do fator de potência. Todos os componentes listados são da fabricante WEG e integram o conjunto recomendado para essa finalidade, sendo indicada a utilização conjunta dos modelos especificados.

Tabela 18 - Resumo de componentes por área

Item	Área 1	Área 2
Capacitor	WEG BCW50V40 T	WEG BCW20V40 T
Reator de Dessintonia	WEG DRW14-1,22V40	WEG DRW14-2,85V40
Contator	WEG CWBC65-21-30D23	WEG CWBC25-21-30C15
Disjuntor	WEG DWB160B125-3DX	WEG DWB160B50-3DX
Fator de Potência Inicial (FP₁)	0,81	0,79
Fator de Potência Corrigido (FP₂)	0,95	0,95

Fonte: Próprio autor

2.10. TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA

Para especificarmos adequadamente o transformador de potência da instalação, é necessário, primeiramente, calcular a potência aparente (kVA) de cada setor da planta industrial. Esse valor é obtido a partir do levantamento individual das cargas de cada máquina ou equipamento. Em seguida, realiza-se a somatória das potências aparentes de todos os setores, resultando na potência aparente total da instalação, que servirá de base para a escolha do transformador.

É importante destacar que, ao especificar o transformador, foi considerado um acréscimo de 35% sobre a potência aparente total da instalação, com o objetivo de acomodar futuras expansões da planta industrial, como a adição de novas máquinas ou aumento da demanda nos setores existentes. Essa margem garante maior flexibilidade operacional, evitando a necessidade de substituição do transformador em curto ou médio prazo. A *Tabela 19* apresenta a distribuição das potências aparentes por máquina e por setor, enquanto a *Tabela 20* consolida esses dados e demonstra a potência total que deverá ser suprida pelo transformador.

Tabela 19 - Potências de cada setor

Área	Carga	Potência ativa (kW)	Potência reativa (kVAr)	Potência aparente (kVA)
1	Motor 1	37,00	20,08	46,17
	Motor 2	92,00	45,93	112,13
	Motor 3	22,00	12,90	29,02
	Motor 4	110,00	56,13	133,51
2	Motor 5	15,00	8,80	19,91
	Motor 6	55,00	28,07	67,04
	Motor 7	22,00	12,90	29,02
3	Auxiliar	75,00	29,39	81,52
	Auxiliar	75,00	29,39	81,52
	Aquecimento 1	30,00	0,00	30,00
	Aquecimento 2	25,00	0,00	25,00
	Aquecimento 3	40,00	0,00	40,00

Fonte: Próprio autor

Tabela 20 - Cálculo da potência mínima para o Trafo

Pot. Ativa Total (KW)	Pot. Aparente Total (kVA)	Pot. Reativa Total (KVar)	Aumento De Carga (%)	Potência do trafo (KVA)
598,00	694,85	243,59	35,00	938,05

Fonte: Próprio autor

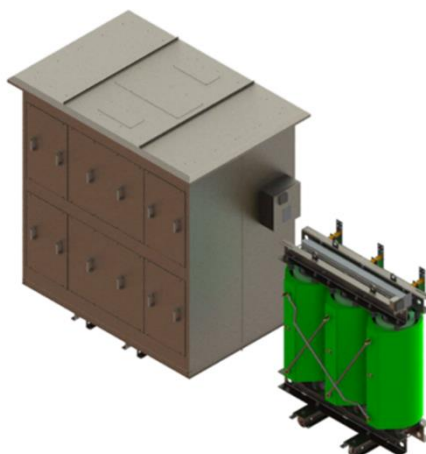
Com base no levantamento das cargas da planta industrial, foi especificado o transformador de potência que será responsável por alimentar integralmente a fábrica. Optou-se pelo modelo 14543301 da WEG, um transformador trifásico seco do tipo abaixador, com potência nominal de 1000 kVA, conforme a norma NBR 5356-11. O equipamento será instalado na subestação da unidade, em ambiente abrigado, adequado às suas características construtivas, na *Figura 9* temos o transformador selecionado.

O transformador possui enrolamento primário em triângulo (ligação Dyn1), operando em 13,8 kV com comutação a vazio de $-4 \times 0,6$ kV, e secundário em estrela, com tensão de saída de 380 V. Seu grupo de ligação Dyn1 garante o isolamento adequado entre os circuitos de alta e baixa tensão, atendendo aos requisitos de segurança e confiabilidade.

Entre suas características técnicas, destaca-se a classe térmica F (155 °C), com elevação de temperatura média nos enrolamentos de 100 °C e máxima no ponto mais quente de 115 °C. O transformador apresenta rendimento elevado, atingindo até 98,56% em plena carga com fator de potência unitário. Sua impedância base é de 6% e as perdas totais são de 14,6 kW a 120 °C.

Trata-se de um equipamento com grau de proteção IP-23, condutores de alumínio (tanto para alta quanto para baixa tensão) e refrigeração natural (AN). Conta ainda com acessórios essenciais para monitoramento e operação segura, como sensor e indicador de temperatura, sistema de comutação a vazio, olhais para movimentação, rodas, base de apoio e conector de aterramento.

Figura 9 - Transformador 14543301 da WEG



Fonte: WEG-transformadores-a-seco

2.11. NÍVEIS DE CURTO-CIRCUITOS

O curto-circuito é uma falha elétrica caracterizada pela passagem de corrente excessiva devido à ligação acidental entre condutores com diferença de potencial, como fase-fase ou fase-terra. Essa condição pode gerar sérios danos ao sistema elétrico, como superaquecimento de condutores, queima de equipamentos e até riscos à segurança dos operadores. Por isso, a análise de curto-circuito é uma etapa fundamental no desenvolvimento de qualquer projeto elétrico industrial, especialmente em instalações com equipamentos sensíveis, como inversores de frequência.

Além de impactar diretamente na escolha dos cabos, o valor da corrente de curto-circuito influencia o dimensionamento e seletividade das proteções. É importante destacar que, conforme a norma ABNT NBR IEC 60947-2, a capacidade de interrupção (I_{cc}) dos disjuntores deve ser superior à corrente de curto-circuito presumida no ponto de instalação. Isso assegura que, em caso de falha, o dispositivo seja capaz de interromper a corrente de forma segura e eficiente, sem comprometer a integridade da instalação.

Dessa forma, foram adotadas as seguintes expressões para o cálculo das correntes de curto-circuito trifásica e fase-terra:

$$I_{cs} = \frac{V_{base}}{\sqrt{3} \times Z_{eq}}$$

Onde:

- I_{cs} : Corrente de curto-circuito trifásica (A)
- V_{base} : Tensão de linha no ponto de curto-circuito (V)
- Z_{eq} : Impedância equivalente do sistema até o ponto de falta (Ω)

$$I_{cft} = \frac{V_{fase}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f}$$

Onde:

- I_{cft} : Corrente de curto-circuito fase-terra (A)
- V_{fase} : Tensão fase-terra no ponto de curto (V)
- Z_1, Z_2, Z_0 : Impedâncias de sequência positiva, negativa e zero (Ω)
- Z_f : Impedância de falta à terra (Ω) - considerada nula (falta franca)

2.11.1. DADOS BASE

Para o estudo de curto-circuito do projeto em questão, foram utilizados os seguintes dados base:

- Tensão base MT: 13,8 kV
- Tensão base BT: 380 V
- Potência base: 100 MVA

Para impedâncias de suprimento, foram considerado os seguintes valores:

- **Sequência positiva e negativa (Z_1 e Z_2):**
 - $R_{pu} = 0,02$
 - $X_{pu} = 0,5$
- **Sequência zero (Z_0):**
 - $R_{pu} = 0,04$
 - $X_{pu} = 0,8$

2.11.2. IMPEDÂNCIA DO TRANSFORMADOR

Para o cálculo de curto-circuito no secundário do transformador, foram utilizados os dados do datasheet do equipamento, considerando a potência nominal, as perdas no cobre e a impedância percentual informada pelo fabricante. Esses parâmetros serviram de base para a determinação das impedâncias de sequência positiva, negativa e zero.

Segue abaixo os dados extraídos do datasheet:

- Potência nominal: 1000 kVA
- Tensões nominais: 13,8 kV / 0,38 kV
- Impedância percentual ($Z\%$): 6,0%
- Perdas no cobre em carga: 11,7 Kw

2.11.3. IMPEDÂNCIA DOS CONDUTORES

Devido à ausência de informações específicas sobre as impedâncias dos condutores no datasheet dos cabos utilizados, os valores adotados neste projeto foram extraídos da *Figura 10* que mostra uma tabela disponibilizada na atividade “Ma1 - Curto-Circuito”, apresentada em aula. Essa tabela está em conformidade com as normas técnicas

aplicáveis, garantindo que os parâmetros elétricos considerados reflitam adequadamente as condições reais de operação do sistema.

Figura 10 - Tabela de valores médios de impedância dos condutores

Seção	Impedância de sequência positiva (mOhm/m)		Impedância de sequência zero (mOhm/m)	
	Resistência	Reatância	Resistência	Reatância
1,5	14,8137	0,1378	16,6137	2,9262
2,5	8,8882	0,1345	10,6882	2,8755
4	5,5518	0,1279	7,3552	2,8349
6	3,7035	0,1225	5,5035	2,8000
10	2,2221	0,1207	4,0222	2,7639
16	1,3899	0,1173	3,1890	2,7173
25	0,8891	0,1164	2,6891	2,6692
35	0,6353	0,1128	2,4355	2,6382
50	0,4450	0,1127	2,2450	2,5991
70	0,3184	0,1096	2,1184	2,5681
95	0,2352	0,1090	2,0352	2,5325
120	0,1868	0,1076	1,9868	2,5104
150	0,1502	0,1074	1,9502	2,4843
185	0,1226	0,1073	1,9226	2,4594
240	0,0958	0,1070	1,8958	2,4312
300	0,0781	0,1068	1,8781	2,4067
400	0,0608	0,1058	1,8608	2,3757
500	0,0507	0,1051	1,8550	2,3491
630	0,0292	0,1042	1,8376	2,3001

Fonte: Ma1: curto-circuito em instalação elétrica industrial

2.11.4. CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO ASSIMÉTRICA

Para o cálculo da corrente de curto-circuito assimétrica (I_{ca}), foram utilizadas as seguintes fórmulas:

$$I_{ca} = F_{assimetria} \times I_{cs}$$

$$I_{ca} = I_{cs} \times \sqrt{1 + 2e^{\frac{-2\tau}{t}}}$$

$$t = 4,16ms \text{ (1/4 ciclo)}$$

$$\tau = \frac{X}{2\pi f R}$$

Essas equações permitem calcular com precisão a corrente de curto-circuito assimétrica nas barras do sistema, considerando os efeitos da componente contínua (DC) e o tempo de decaimento exponencial dessa componente ao longo do tempo.

Os fatores de assimetria utilizados neste projeto foram obtidos conforme a *Figura 11* a partir da tabela apresentada na "Ma1 - Curto-Circuito" conforme imagem abaixo:

Figura 11 - Tabela de fatores de assimetria para $t = 1/4$ ciclo

Relação X/R	Fator de assimetria FA	Relação X/R	Fator de assimetria FA	Relação X/R	Fator de assimetria FA
0,40	1,00	3,80	1,37	11,00	1,58
0,60	1,00	4,00	1,38	12,00	1,59
0,80	1,02	4,20	1,39	13,00	1,60
1,00	1,04	4,40	1,40	14,00	1,61
1,20	1,07	4,60	1,41	15,00	1,62
1,40	1,10	4,80	1,42	20,00	1,64
1,60	1,13	5,00	1,43	30,00	1,67
1,80	1,16	5,50	1,46	40,00	1,68
2,00	1,19	6,00	1,47	50,00	1,69
2,20	1,21	6,50	1,49	60,00	1,70
2,40	1,24	7,00	1,51	70,00	1,71
2,60	1,26	7,50	1,52	80,00	1,71
2,80	1,28	8,00	1,53	100,00	1,71
3,00	1,30	8,50	1,54	200,00	1,72
3,20	1,32	9,00	1,55	400,00	1,72
3,40	1,34	9,50	1,56	600,00	1,73
3,60	1,35	10,00	1,57	1000,00	1,73

Fonte: Ma1: curto-circuito em instalação elétrica industrial

2.11.5. TABELA DE RESULTADOS

A seguir, na *Tabela 21* são apresentados os resultados obtidos para as correntes de curto-circuito nas barras do sistema, determinados por meio de cálculos analíticos:

Tabela 21 - Resumo dos resultados dos cálculos de curto-circuito

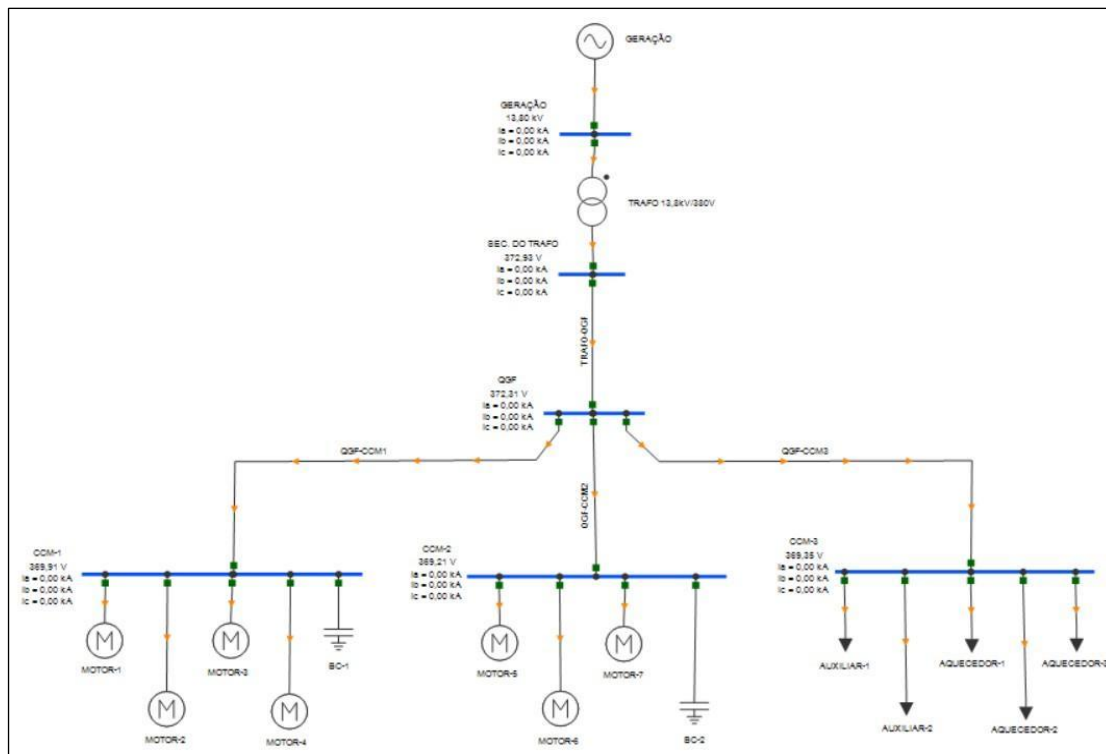
	Ics (A)	Icft (A)	Fator de assimetria	Ica (A)
Fornecimento de Energia	8360.7093	6965.9528	1.6626	13900.3611
Transformador - lado BT	23393.3324	23040.2170	1.4540	34014.3752
QGF	22614.1373	22532.8650	1.4231	32181.1683
CCM1	18386.3684	8708.2246	1.2155	22348.3320
CCM2	11711.2390	4366.3327	1.0441	12227.8560
CCM3	15751.9670	5132.0955	1.2201	19218.2686

Fonte: Próprio autor

2.11.6. SIMULAÇÃO PSP-UFU

Para a comprovação dos cálculos de corrente de curto-circuito, foi realizada uma simulação no software PSP-UFU. Abaixo, da *Figura 12* até a *Figura 24* apresentam-se os prints da simulação juntamente com uma *Tabela 22* contendo os resultados obtidos:

Figura 12 - Simulação via PSP-UFU



Fonte: Próprio autor

Figura 13 – Falta trifásica geração

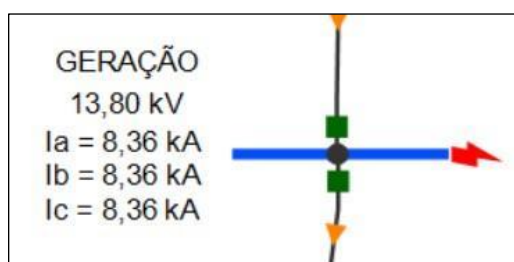


Figura 14 – Falta monofásica geração

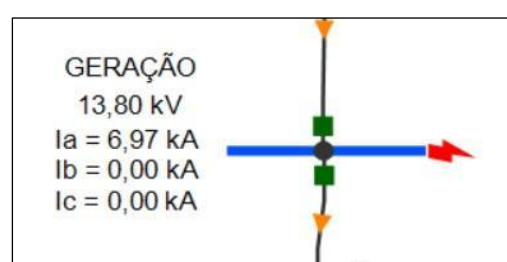


Figura 15 – Falta trifásica sec. do Trafo



Figura 16 – Falta monofásica sec. do Trafo

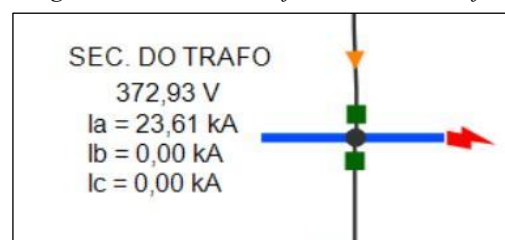


Figura 17 – Falta trifásica QGF

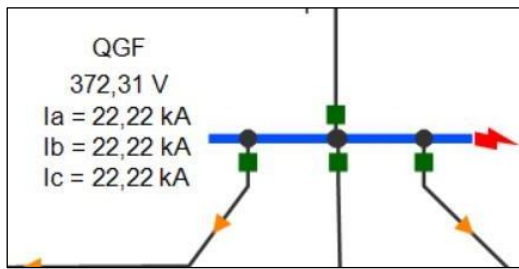


Figura 18 – Falta monofásica QGF

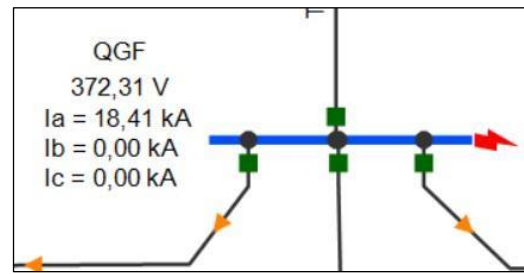


Figura 19 – Falta trifásica CCM-1

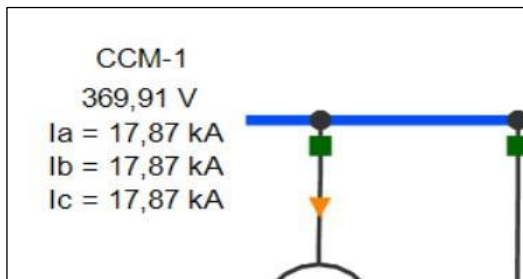


Figura 20 – Falta monofásica CCM-1

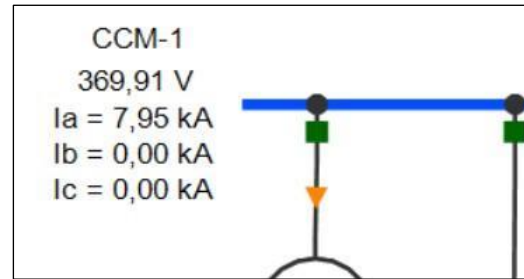


Figura 21 – Falta trifásica CCM-2

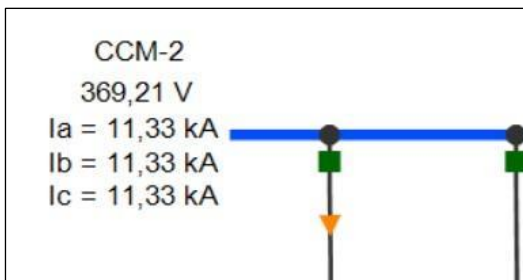


Figura 22 – Falta monofásica CCM-2

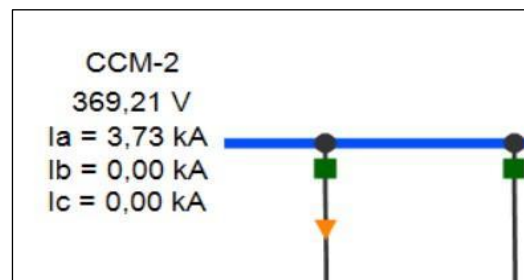


Figura 23 – Falta trifásica CCM-3

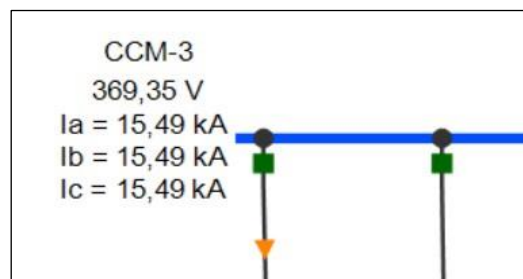


Figura 24 – Falta monofásica CCM-3

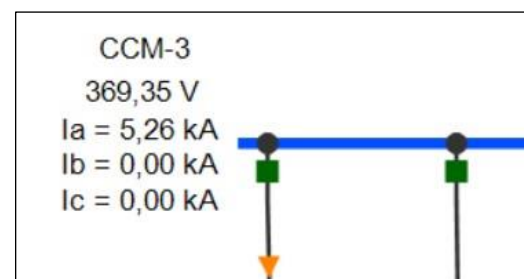


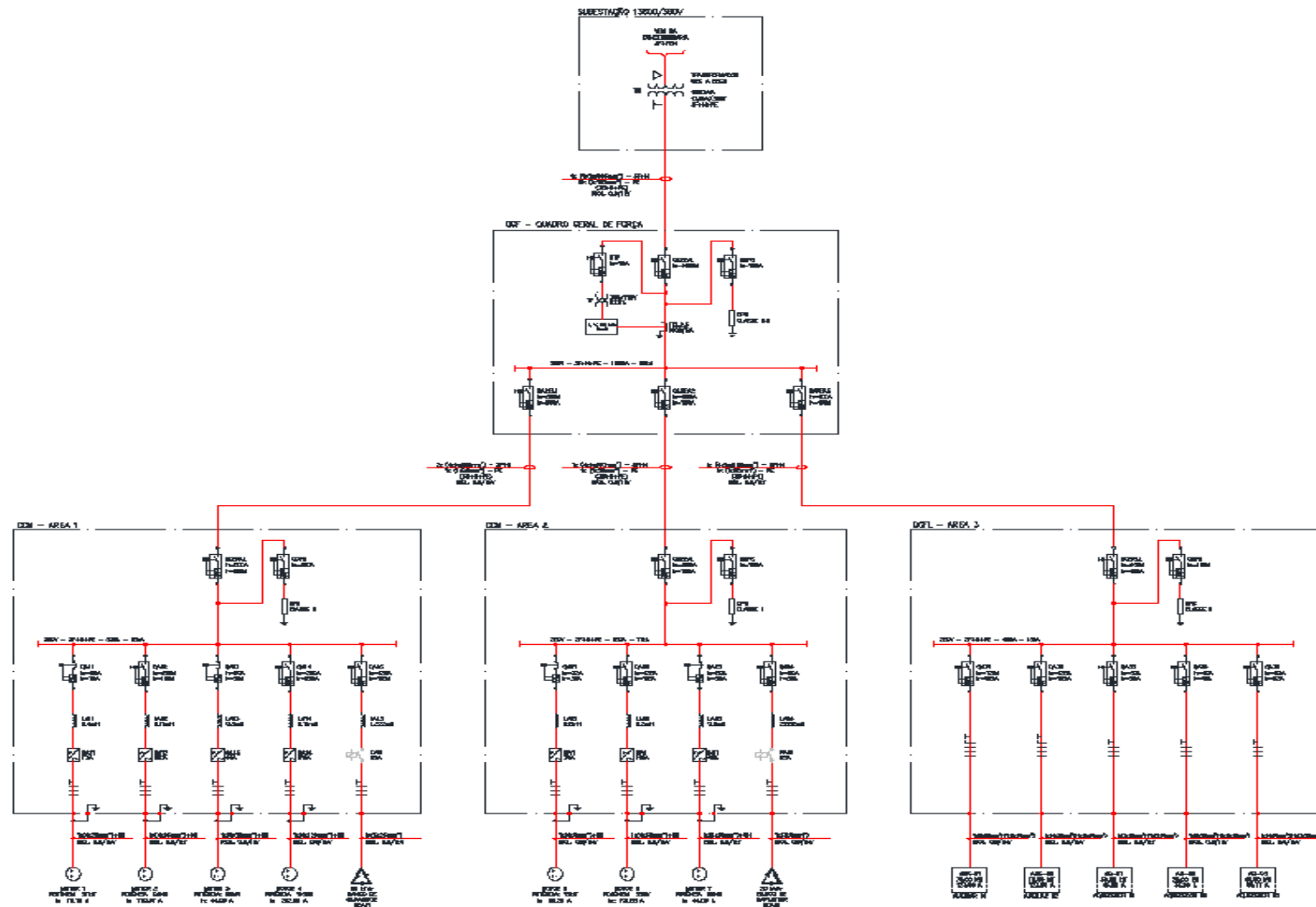
Tabela 22 - Valores de C.C. simulados via PSP-UFU

	Fornecimento de Energia	Transformador lado BT	QGF	CCM1	CCM2	CCM3
Ics (kA)	8.36	23.01	22.22	17.87	11.33	15.49
Icft (kA)	6.97	23.61	18.41	7.95	3.73	5.26

Fonte: Próprio autor

2.12. DIAGRAMA UNIFILAR

Figura 25 – Diagrama Unifilar



Fonte: Próprio autor

2.13. SUBESTAÇÃO ABRIGADA

O transformador adotado no projeto da subestação da empresa é do tipo seco, trifásico, com potência nominal de 1000 kVA, tensão primária de 13,8 kV e secundária de 380 V, fornecido pela WEG, sob o código 14543301. Suas características elétricas e construtivas, bem como a concepção geral da instalação, foram analisadas sobre a tutela da NBR 5356-11 (ABNT, 2015), que estabelece requisitos gerais para transformadores de potência secos; da NBR 14039 (ABNT, 2021), que trata de instalações elétricas de média tensão; e das normas CPFL GED-2855 (Volume 1) e GED-2856 (Volume 2), que regulamentam o fornecimento de energia em tensão primária de 15 kV, 25 kV e 34,5 kV nas áreas de concessão da CPFL Energia.

O equipamento opera com frequência de 60 Hz, possui grupo de ligação Dyn1 e classe térmica F, com elevação de temperatura de até 115 °C no ponto mais quente. Seu grau de proteção é IP-23, e apresenta impedância de 6%, rendimento superior a 98% em plena carga e nível de ruído de 64 dB, atendendo aos requisitos de eficiência e segurança operacional. Para garantir uma refrigeração eficaz do transformador, foi previsto um sistema de ventilação forçada, composto por um ventilador instalado na parte inferior da sala do transformador, para insuflação de ar frio, e um exaustor na parte superior, responsável pela extração do ar quente acumulado.

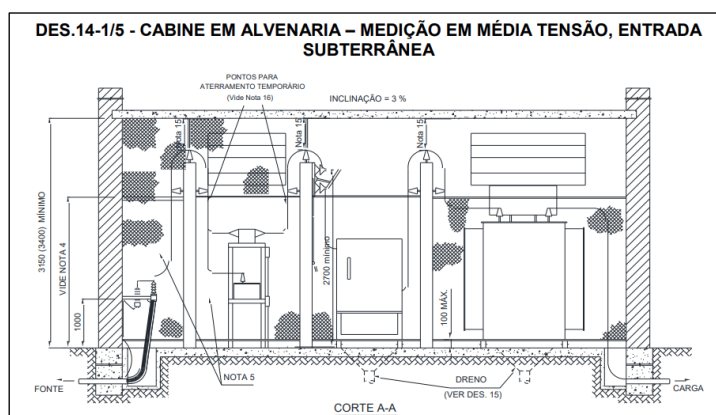
A subestação foi projetada como cabine abrigada em alvenaria conforme a *Figura 26* e *Figura 27* em conformidade com o item 3.13.1 da norma **GED-2855**, proporcionando segurança, durabilidade, controle de acesso e ventilação adequada aspectos fundamentais especialmente em ambientes industriais do setor alimentício. O transformador a seco foi escolhido devido à sua compatibilidade com ambientes de alta exigência sanitária, já que elimina riscos ambientais como vazamentos de óleo e reduz a necessidade de manutenção.

A entrada de energia foi especificada como subterrânea, conforme a *Figura 28*, e está em conformidade itens 6.3.6.2 e 3.10 (b) da GED-2855. Foram seguidas as exigências da Tabela 4 da GED-2856 para uso de cabos isolados em XLPE ou EPR, classe 15 kV, lançados em dutos rígidos de PVC ou aço galvanizado com profundidade mínima de 0,60 m. Também foram previstas caixas de passagem com dimensões mínimas de 800 x 800 x 1000 mm e condutor de aterramento dimensionado conforme seção dos cabos de fase. A blindagem dos cabos nas muflas e terminações foi conectada ao sistema de aterramento do consumidor, conforme indicado na norma.

A medição de energia foi posicionada em média tensão, em conformidade com a Tabela 2 da GED-2856 e item 6.8 da GED-2855. Esta solução é obrigatória para transformadores com potência superior a 308 kVA, como é o caso da presente instalação, oferecendo maior precisão na medição, redução de perdas elétricas e melhor compatibilidade com o sistema da concessionária.

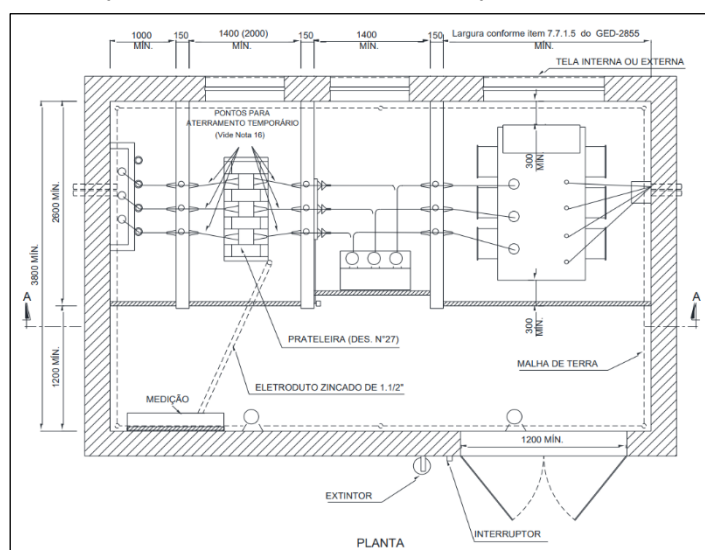
A subestação foi dimensionada para atender uma planta industrial de alimentos de médio a grande porte, localizada em zona industrial, com carga superior a 900 kVA. A configuração adotada transformador a seco de 1000 kVA em cabine de alvenaria, com entrada subterrânea e medição em média tensão é totalmente compatível com as exigências técnicas, operacionais e normativas da CPFL, assegurando segurança, confiabilidade e conformidade legal.

Figura 26 - Subestação cabine em alvenaria com medição em média tensão



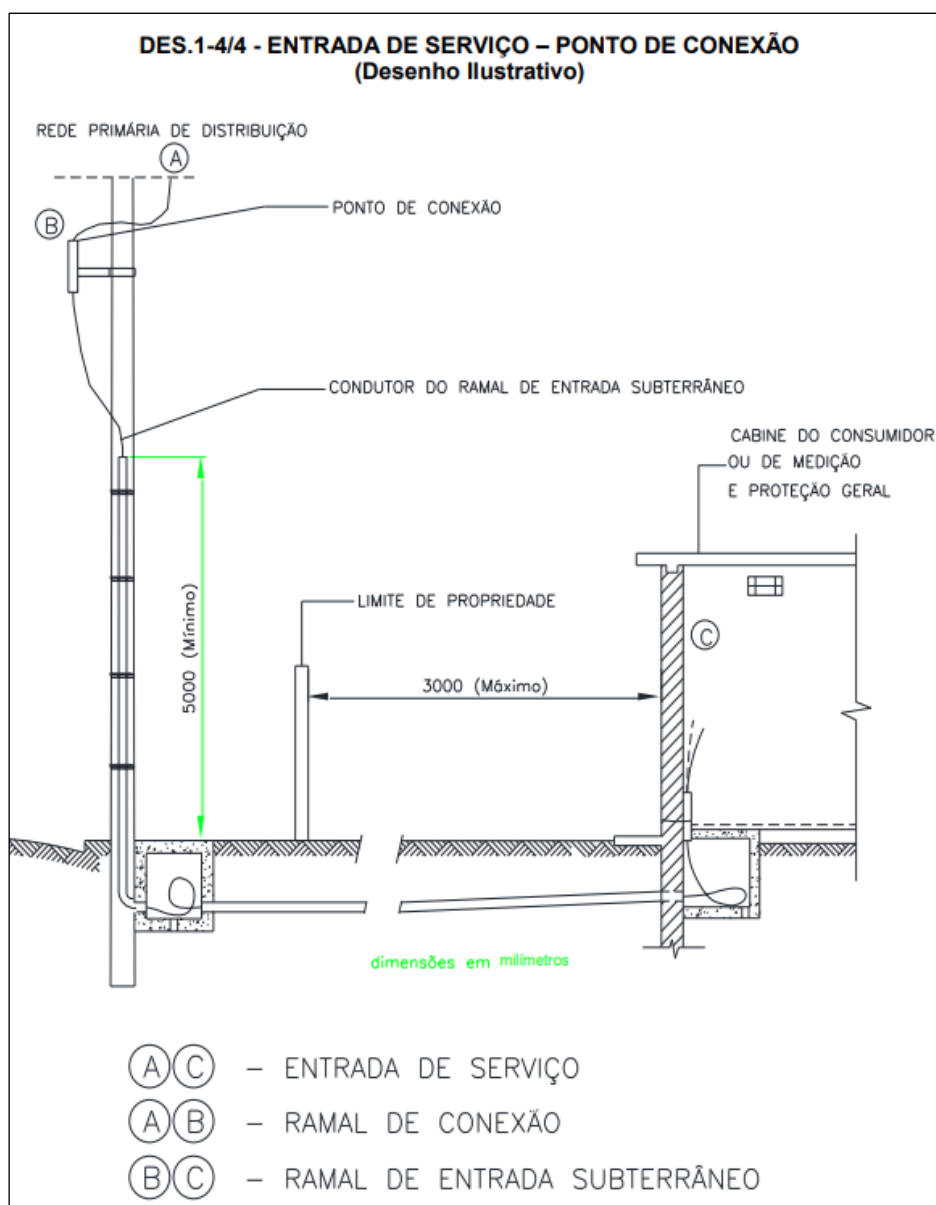
Fonte: GED-2855

Figura 27 - Subestação cabine em alvenaria com medição em média tensão - Corte A-A



Fonte: GED-2855

Figura 28 - Ponto de conexão subterrâneo



Fonte: GED-2855

2.14. LUMINOTÉCNICO

Neste projeto, foi realizada uma simulação detalhada no software Dialux, incluindo o layout completo do ambiente, mobiliário, texturas, cores e taxas de reflexão das superfícies. Essa abordagem oferece uma previsão mais precisa do comportamento da luz no espaço real, permitindo identificar sombreamentos, variações de iluminância e garantir conformidade com os requisitos normativos de conforto visual.

Foi considerado os seguintes dados para o dimensionamento:

- Local: escritório comum
- Dimensões: 20 x 15 metros
- Pé direito (PD): 3,5 metros
- Altura de Trabalho (H1): 0,8 metros
- Altura Lâmpada Teto (H2): 0,9 metros
- Teto: superfície branca
- Paredes: Brancas
- Pisos: escuros

Com base nos dados passados e a informação que a área se tratava de um escritório comum, adotamos a pior situação possível que é 500 Lux de iluminância local, segundo a *Figura 29* a seguir:

Figura 29 – Nível de iluminância mantida

8. Escritórios	
Arquivamento, cópia, circulação etc.	300
Escrever, teclar, ler, processar dados	500
Estações de projeto por computador	500

Fonte: (CREDER, Hélio. Instalações elétricas. 16. ed, TABELA 13.4)

Para determinar o índice de reflexão que é a capacidade de uma superfície refletir a luz incidente, sendo expresso em forma percentual (%), esse índice é fundamental para o projeto luminotécnico, pois influencia diretamente na quantidade de luz refletida pelas superfícies internas de um ambiente como teto, paredes e piso consequentemente influenciado na eficiência da iluminação.

Seguindo a parametrização estipulada pela norma, conforme a *Figura 30*, o índice escolhido foi **751**, onde foi adotado **7** para paredes brancas, **5** para teto de superfície clara e **1** para pisos escuros

Figura 30 - Índice de reflexão típica

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

Fonte: (CREDER, Hélio. Instalações elétricas. 16. ed, TABELA 13.7)

O fator de depreciação é aplicado no cálculo luminotécnico para garantir que, mesmo com a degradação ao longo do tempo, o nível de iluminância continue adequado para a atividade exercida no ambiente. É uma forma de planejar uma iluminação duradoura e eficiente.

Adotamos o fator de 0,67 conforme demonstra a *Figura 31*, levando em consideração que o ambiente se trata de um escritório.

Figura 31 - Fator de Depreciação

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.
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.
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.
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.

Fonte: (CREDER, Hélio. Instalações elétricas. 16. ed, TABELA 13.9)

Foi utilizado o modelo de luminária descrita na *Figura 32*, que apresentou desempenho satisfatório nos cálculos luminotécnicos realizados pelo grupo, atendendo aos níveis de iluminância estabelecidos. Trata-se de um equipamento de marca reconhecida internacionalmente.

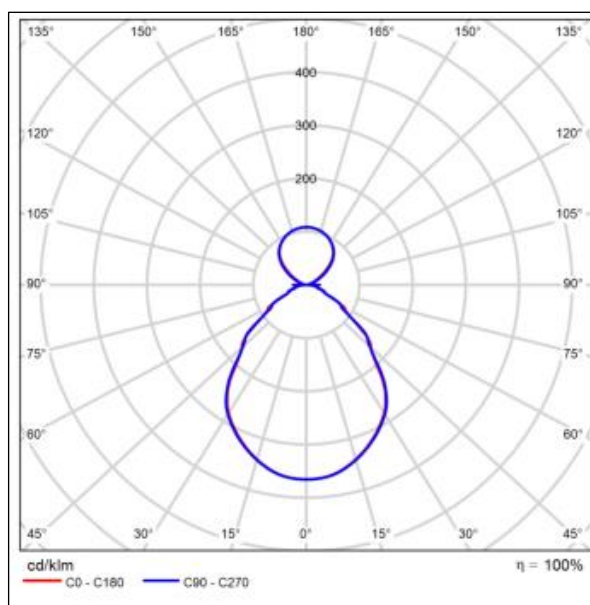
A luminária possui uma curva fotométrica favorável conforme a *Figura 33*, com distribuição de luz adequada para ambientes industriais e comerciais, permitindo uma boa uniformidade na iluminação. Embora seja originalmente projetada para instalação linear ao teto, o modelo também permite instalação por meio de suportes do tipo pêndulo, ampliando sua flexibilidade de aplicação conforme as características arquitetônicas do ambiente.

Figura 32 - Lâmpada 3F Filippi 6937

	
Nº do artigo	6937
P	98.0 W
$\Phi_{\text{Lâmpada}}$	11849 lm
$\Phi_{\text{Luminária}}$	11849 lm
η	100.00 %
Rendimento luminoso	120.9 lm/W
CCT	3000 K
CRI	80

Fonte: DIALux evo, 2025.

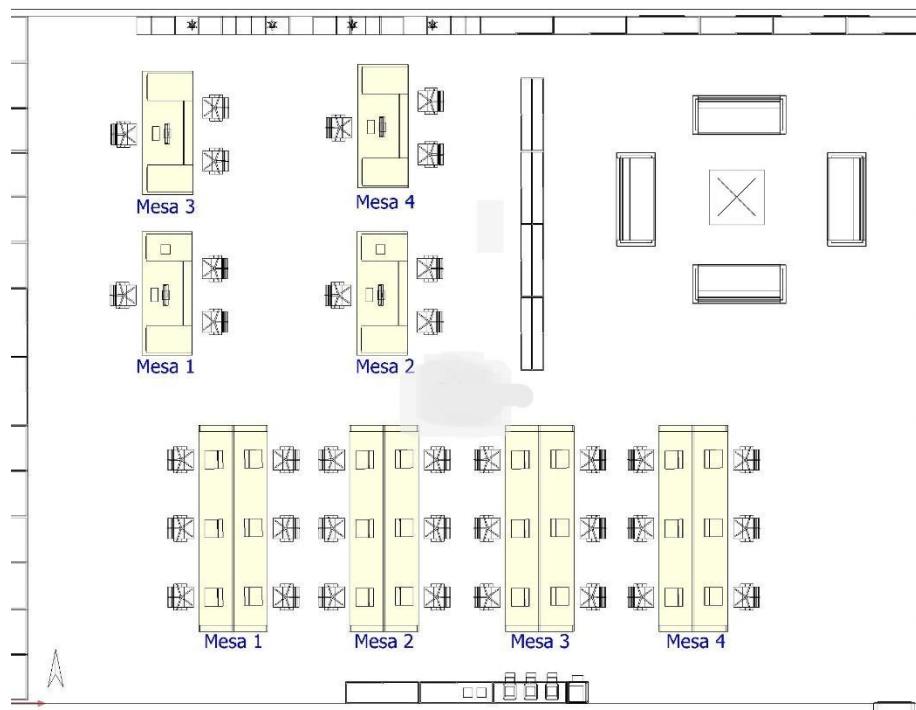
Figura 33 - Curva fotométrica da luminária 3F Filippi



Fonte: DIALux evo, 2025

O grupo propôs um layout arquitetônico de móveis conforme a *Figura 34* para um dimensionamento luminotécnico mais profissional e para melhor compreensão dos aspectos de incidência e reflexão de luz no ambiente.

Figura 34 - Layout arquitetônico proposto



Fonte: DIALux evo, 2025.

A partir do layout arquitetônico proposto, foi possível definir com precisão as superfícies de trabalho e as áreas destinadas às tarefas visuais. Conforme ilustrado nas *Figura 35* e *Figura 36*, essas áreas foram estrategicamente posicionadas sobre as mesas, que representam os principais pontos de execução das atividades laborais. Por se tratar de um ambiente de escritório, as tarefas previstas envolvem, predominantemente, atividades como leitura, escrita, digitação e processamento de dados. Dessa forma, a delimitação das áreas de tarefa visual considerou a real utilização do espaço, garantindo que a iluminação projetada atenda adequadamente às exigências visuais dessas funções específicas.

Embora o layout apresentado inclua uma área de sofás, armários e bancadas integrada ao ambiente do escritório, essas regiões não foram consideradas no cálculo de iluminância. Isso porque o grupo optou por focar exclusivamente nas reais áreas de trabalho, ou seja, nas superfícies onde efetivamente ocorrem atividades visuais específicas, como leitura, escrita e uso de computador. Dessa forma, as áreas adjacentes, foram deliberadamente desconsideradas na definição das superfícies de cálculo, uma vez que não representam zonas de execução direta de tarefas visuais conforme os critérios adotados para o projeto.

Figura 35 - Plano de trabalho e áreas de tarefa visual para mesas individuais



Fonte: DIALux evo, 2025.

Figura 36 - Plano de trabalho e áreas de tarefa visual para mesas coletivas



Fonte: DIALux evo, 2025.

Os planos de trabalho foram definidos considerando a disposição das mesas presentes no escritório, de forma a representar com fidelidade as condições reais de uso do ambiente. Para a análise luminotécnica, adotaram-se dois parâmetros principais: a superfície de cálculo e a área de tarefa visual. Ambos foram aplicados em todos os tipos de mesas existentes no projeto, garantindo que a avaliação da iluminância ocorresse tanto em termos gerais quanto específicos, assegurando o conforto visual e a eficiência da iluminação em cada estação de trabalho.

Considerando que foi adotado um nível de iluminância de 500 lux sobre o plano de trabalho, conforme recomendado para ambientes de escritório, a norma vigente estabelece que as áreas adjacentes a esse plano, ou seja, os arredores imediatos devem apresentar, no mínimo, 300 lux de iluminância conforme a *Figura 37* a seguir.

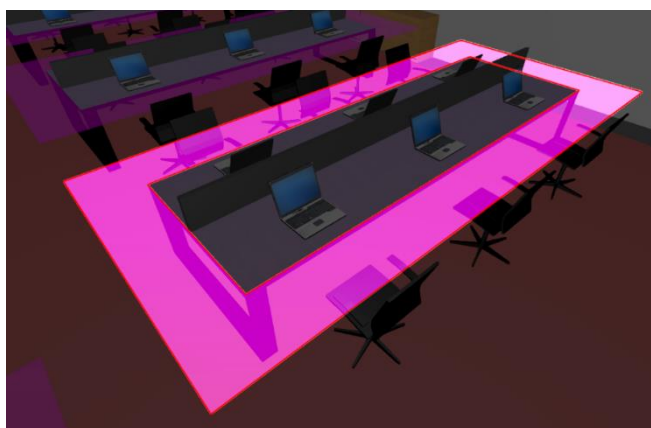
Figura 37 - Iluminâncias por tarefas

Iluminância da tarefa (lux)	Iluminância do entorno imediato (lux)
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	Mesma iluminância da área de tarefa

Fonte: (CREDER, Hélio. Instalações elétricas. 16. ed, TABELA 13.5)

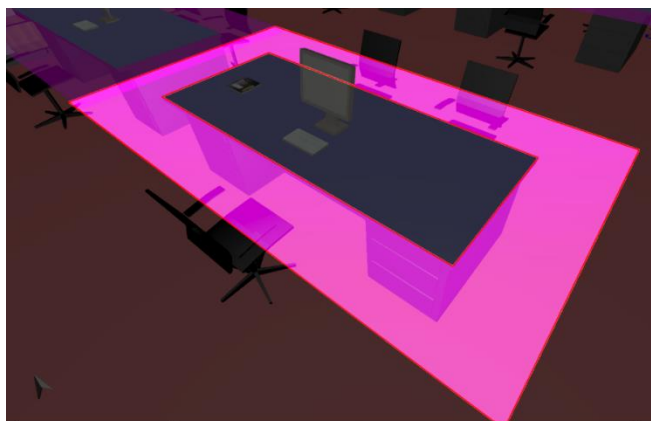
Os arredores da área de tarefa visual correspondem à zona que circunda diretamente a superfície onde se realiza a atividade principal, sendo demarcada em 0,5m no entorno, conforme demonstrado nas *Figura 38* e *Figura 39* a seguir.

Figura 38 - Arredores mesas de trabalho individuais



Fonte: DIALux evo. 2025.

Figura 39 - Arredores de mesas de trabalho coletivas



Fonte: DIALux evo. 2025.

O software DIALux nos permite realizar vários parâmetros de cálculos diferentes, mas o grupo optou pelo área de tarefa visual sendo um cálculo mais completo, agora iremos explicar suas diferenças e as características que veremos nos cálculos de saída do DIALux.

- **Superfície de Cálculo:** é uma área definida virtualmente no ambiente para realizar medições de iluminância (em lux). Ela pode abranger mesas, bancadas, pisos ou qualquer plano horizontal relevante ao uso do espaço.
- **Área de Tarefa Visual:** é a região específica dentro da superfície de cálculo onde se realiza a atividade visual principal, como leitura, escrita, operação de máquinas ou uso de computador. Essa área exige maior precisão nos parâmetros de iluminação, como iluminância média, uniformidade e controle de ofuscamento, pois influencia diretamente o conforto e o desempenho do usuário.

A seguir, serão explicados o tipo de potência luminosa utilizado na parametrização dos cálculos luminotécnicos, com foco na forma como o fluxo luminoso foi distribuído para atender aos critérios normativos de iluminância e conforto visual

- **Potência luminosa perpendicular:** refere-se à componente do fluxo luminoso emitido pelas luminárias que incide diretamente de cima para baixo sobre a superfície de trabalho, formando um ângulo de 90° com o plano da tarefa visual.

A seguir será apresentada a explicação de cada uma das colunas exibidas na *Figura 40*, extraída do relatório gerado pelo software DIALux, com o objetivo de esclarecer o significado técnico de cada parâmetro apresentado.

Figura 40 - Cálculos de saída do Dialux

\bar{E} (Nominal)	E_{\min}	E_{\max}	$U_0 (g_1)$ (Nominal)
------------------------	------------	------------	--------------------------

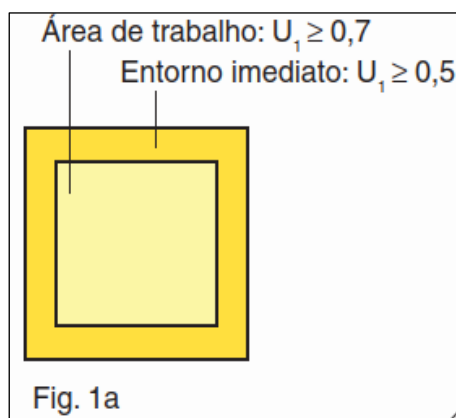
Fonte: DIALux evo, 2025.

- **E_{nominal} (Iluminância Nominal):** é o valor de iluminância médio calculado para a superfície ou área de tarefa visual, de acordo com a norma adotada ABNT NBR ISO/CIE 8995-1. Representa o ponto de referência que o projeto deve atingir ou superar.
- **E_{\min} (Iluminância Mínima):** é o menor valor de iluminância registrado na superfície de cálculo durante a simulação
- **E_{\max} (Iluminância Máxima):** é o maior valor de iluminância registrado na superfície de cálculo.
- **U_0 (Uniformidade):** é um parâmetro que indica a quão homogênea é a distribuição da luz sobre uma determinada superfície. Ela é calculada como a razão entre a iluminância mínima e a iluminância média no plano de trabalho:

$$U = \frac{E_{\min}}{E_{\text{med}}}$$

Lembrando que a norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 estabelece que a uniformidade para áreas de tarefa visual seja $U_0 \geq 0.7$ e para entornos imediatos (arredores) ele estabelece que $U_0 \geq 0.6$, conforme a *Figura 41* ilustra.

Figura 41 - Entorno imediato

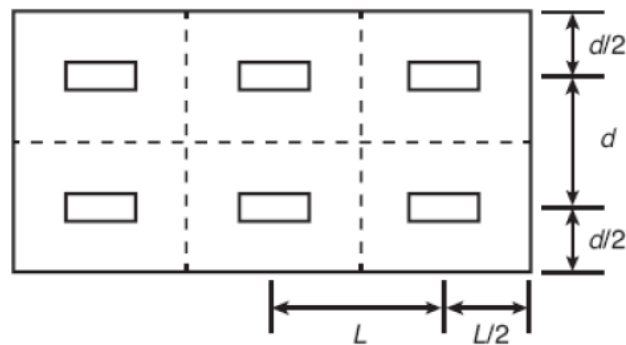


Fonte: ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013, FIGURA 1A.

Seguindo a parametrização de distâncias estipulada por norma, onde a distância entre a luminária e a parede deve ser metade da distância entre as luminárias, conforme a *Figura 42* a seguir.

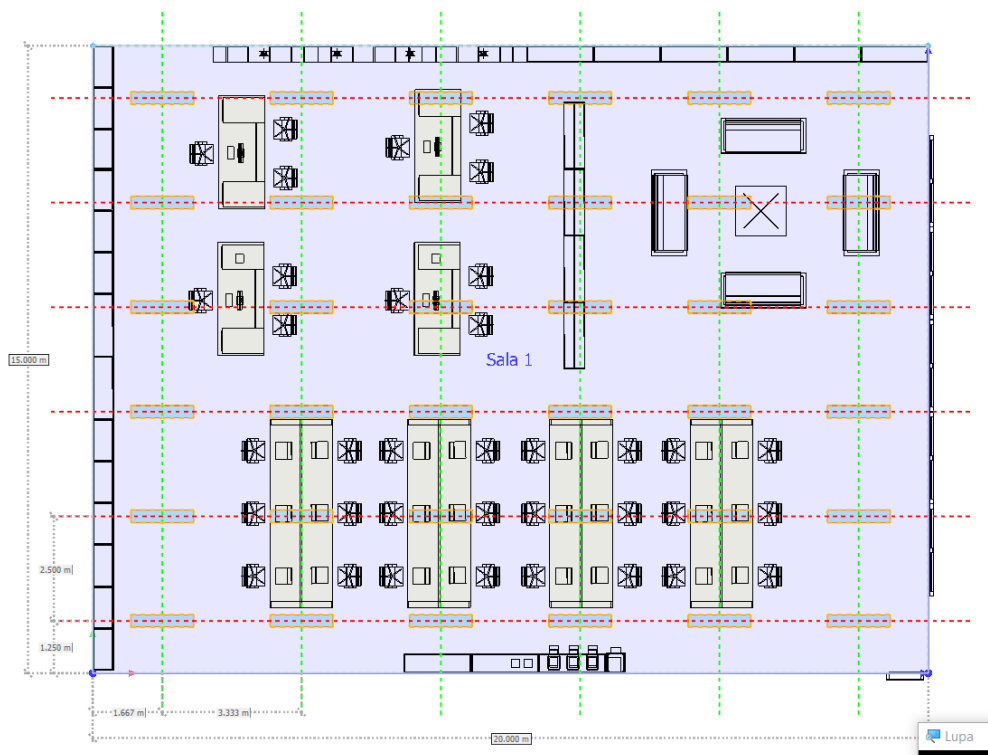
A *Figura 43* demonstra a distribuição proposta pelo grupo, sendo um sistema de 6 colunas e 6 linhas, totalizando 36 luminárias

Figura 42 - Distribuição típica de luminárias



Fonte: (CREDER, Hélio. *Instalações elétricas*. 16. ed, FIGURA 13.22)

Figura 43 - Distribuição proposta pelo grupo



Fonte: DIALux evo. 2025.

Nas *Figura 44 e Figura 45* a seguir mostraremos os resultados obtidos através da simulação no DIALux.

Figura 44 - Resultados simulação - Áreas de Tarefa Visual – Parte 1

Áreas da tarefa visual				
Propriedades	E (Nominal)	E _{min}	E _{max}	U _o (g _r) (Nominal)
Área da tarefa visual mesa 1 Potência luminosa perpendicular Altura: 0.800 m; Arredores: 0.500 m	824 lx (≥ 500 lx) ✓	599 lx	1101 lx	0.73 (≥ 0.60) ✓
Arredores mesa 1 Potência luminosa perpendicular Altura: 0.800 m	993 lx (≥ 300 lx) ✓	778 lx	1357 lx	0.78 (≥ 0.40) ✓
Área de fundo (piso) Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m; Zona marginal: 0.500 m	675 lx (≥ 100 lx) ✓	89.2 lx	953 lx	0.13 (≥ 0.10) ✓
Área da tarefa visual mesa 2 Potência luminosa perpendicular Altura: 0.800 m; Arredores: 0.500 m	823 lx (≥ 500 lx) ✓	598 lx	1094 lx	0.73 (≥ 0.60) ✓
Arredores mesa 2 Potência luminosa perpendicular Altura: 0.800 m	996 lx (≥ 300 lx) ✓	768 lx	1365 lx	0.77 (≥ 0.40) ✓
Área de fundo (piso) Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m; Zona marginal: 0.500 m	678 lx (≥ 100 lx) ✓	89.2 lx	953 lx	0.13 (≥ 0.10) ✓
Área da tarefa visual mesa 3 Potência luminosa perpendicular Altura: 0.800 m; Arredores: 0.500 m	826 lx (≥ 500 lx) ✓	605 lx	1123 lx	0.73 (≥ 0.60) ✓
Arredores mesa 3 Potência luminosa perpendicular Altura: 0.800 m	998 lx (≥ 300 lx) ✓	774 lx	1359 lx	0.78 (≥ 0.40) ✓
Área de fundo (piso) Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m; Zona marginal: 0.500 m	678 lx (≥ 100 lx) ✓	89.2 lx	953 lx	0.13 (≥ 0.10) ✓
Área da tarefa visual mesa 4 Potência luminosa perpendicular Altura: 0.800 m; Arredores: 0.500 m	824 lx (≥ 500 lx) ✓	594 lx	1133 lx	0.72 (≥ 0.60) ✓
Arredores mesa 4 Potência luminosa perpendicular Altura: 0.800 m	997 lx (≥ 300 lx) ✓	755 lx	1377 lx	0.76 (≥ 0.40) ✓

Fonte: DIALux evo. 2025.

Figura 45 - Resultados simulação - Áreas de Tarefa Visual – Parte 2

Área de fundo (piso) Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m Zona marginal: 0.500 m	675 lx (≥ 100 lx) ✓	89.2 lx	953 lx	0.13 (≥ 0.10) ✓
Área da tarefa visual mesa individual 1 Potência luminosa perpendicular Altura: 0.800 m Arredores: 0.500 m	738 lx (≥ 500 lx) ✓	558 lx	935 lx	0.76 (≥ 0.60) ✓
Arredores mesa individual 1 Potência luminosa perpendicular Altura: 0.800 m	888 lx (≥ 300 lx) ✓	681 lx	1217 lx	0.77 (≥ 0.40) ✓
Área de fundo (piso) Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m Zona marginal: 0.500 m	660 lx (≥ 100 lx) ✓	89.2 lx	953 lx	0.14 (≥ 0.10) ✓
Área da tarefa visual mesa individual 2 Potência luminosa perpendicular Altura: 0.800 m Arredores: 0.500 m	763 lx (≥ 500 lx) ✓	497 lx	991 lx	0.65 (≥ 0.60) ✓
Arredores mesa individual 2 Potência luminosa perpendicular Altura: 0.800 m	920 lx (≥ 300 lx) ✓	711 lx	1227 lx	0.77 (≥ 0.40) ✓
Área de fundo (piso) Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m Zona marginal: 0.500 m	664 lx (≥ 100 lx) ✓	89.2 lx	953 lx	0.13 (≥ 0.10) ✓
Área da tarefa visual mesa individual 3 Potência luminosa perpendicular Altura: 0.800 m Arredores: 0.500 m	1083 lx (≥ 500 lx) ✓	906 lx	1297 lx	0.84 (≥ 0.60) ✓
Arredores mesa individual 3 Potência luminosa perpendicular Altura: 0.800 m	1016 lx (≥ 300 lx) ✓	831 lx	1221 lx	0.82 (≥ 0.40) ✓
Área de fundo (piso) Potência luminosa perpendicular Altura: 0.000 m Zona marginal: 0.500 m	661 lx (≥ 100 lx) ✓	89.2 lx	953 lx	0.13 (≥ 0.10) ✓
Área da tarefa visual mesa individual 4 Potência luminosa perpendicular Altura: 0.800 m Arredores: 0.500 m	1111 lx (≥ 500 lx) ✓	758 lx	1345 lx	0.68 (≥ 0.60) ✓
Arredores mesa individual 4 Potência luminosa perpendicular Altura: 0.800 m	1048 lx (≥ 300 lx) ✓	813 lx	1372 lx	0.78 (≥ 0.40) ✓

Fonte: DIALux evo. 2025.

A seguir nas *Figura 46*, *Figura 47* e *Figura 48* será demonstrado algumas renderizações de imagem para ilustrar o ambiente proposto pelo grupo, essas imagens foram feitas pelo próprio DIALux.

Figura 46 - Renderização 1 Dialux



Fonte: DIALux evo. 2025.

Figura 47 - Renderização 2 Dialux



Fonte: DIALux evo. 2025.

Figura 48 - Renderização 3 Dialux



Fonte: DIALux evo. 2025.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A execução deste projeto resultou em uma proposta técnica completa, contemplando todas as etapas necessárias para garantir o funcionamento seguro e eficiente da instalação industrial. Os principais resultados obtidos podem ser destacados nos tópicos a seguir.

3.1. SELEÇÃO DE COMPONENTES

O grupo realizou a seleção de todos os componentes utilizados no projeto de forma criteriosa e fundamentada, garantindo que os motores, disjuntores, contadores, reatores e transformadores fossem especificados de acordo com as recomendações técnicas presentes nos catálogos oficiais de cada fabricante. Para assegurar maior padronização, qualidade e confiabilidade do sistema, optou-se, na maioria dos casos, pela marca WEG, reconhecida por sua robustez e ampla aceitação no mercado nacional. Essa decisão visa facilitar a manutenção, reposição de peças e garantir o desempenho adequado dos equipamentos, atendendo às exigências de segurança e eficiência estabelecidas para o projeto.

3.2. DIMENSIONAMENTO DE CARGA TOTAL

Com base no levantamento dos equipamentos e processos industriais, a carga instalada foi devidamente quantificada, considerando os fatores de demanda e simultaneidade específicos para o perfil da indústria alimentícia. O cálculo de demanda permitiu dimensionar corretamente o ponto de alimentação principal e a seção dos condutores, resultando em uma instalação capaz de atender às exigências de consumo sem sobrecarregar o sistema.

3.3. SELEÇÃO DE DISJUNTORES E PROTEÇÕES

Foram especificados disjuntores termomagnéticos e dispositivos de proteção adequados aos níveis de corrente nominal e de curto-circuito estimados. A seleção foi feita conforme as curvas características de atuação, garantindo proteção eficaz contra sobrecargas e curtos-circuitos, com tempo de resposta adequado à segurança dos equipamentos e dos operadores.

3.4. INVERSORES DE FREQUÊNCIA E PARTIDA DE MOTORES

Para todos os motores, foram especificados o método de partida via inversores de frequência, visando a aplicação do tipo de indústria escolhido, controle de velocidade e redução de picos de corrente. Essa escolha contribui para o aumento da vida útil dos motores e para o controle mais eficiente dos processos produtivos.

3.5. CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA

A análise inicial indicou fator de potência abaixo do mínimo exigido pelas concessionárias (0,92). Com a instalação de bancos de capacitores devidamente dimensionados, foi possível corrigir o fator de potência das áreas 1 e 2 para valores próximos a 0,95, reduzindo perdas reativas e evitando penalidades tarifárias.

3.6. TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA

A escolha do transformador seco trifásico de 1000 kVA, IP-23, 13,8/0,38 kV foi fundamentada em sua eficiência, segurança operacional e compatibilidade com o ambiente industrial alimentício. O modelo selecionado oferece alto rendimento (98,4% em plena carga), baixo nível de ruído (64 dB) e não utiliza óleo isolante, o que elimina riscos de contaminação.

Além disso, o grau de proteção IP-23 e a instalação em cabine abrigada garantem robustez e confiabilidade ao sistema. A refrigeração natural (AN) e os acessórios integrados, como sensor de temperatura e comutador de tensão, tornam este equipamento adequado tanto do ponto de vista técnico quanto normativo, em conformidade com as exigências da CPFL e da NBR 5356-11.

3.7. CALCULOS DE CURTO-CIRCUITO

Com base nas características elétricas dos componentes da instalação, foram realizados os cálculos das correntes de curto-circuito trifásico e fase-terra em todos os barramentos do sistema. Os resultados obtidos permitiram verificar a capacidade de interrupção dos dispositivos de proteção especificados, assegurando que os disjuntores e barramentos selecionados suportam as correntes de falta previstas sem risco de danos térmicos ou dinâmicos. Esse estudo foi essencial para garantir a segurança das instalações e a integridade dos equipamentos em condições de falha, além de ser uma exigência das normas técnicas.

3.8. SUBESTAÇÃO ABRIGADA E CONEXÃO SUBTERRÂNEA

A análise técnica da carga instalada, do perfil da empresa e das normas da concessionária CPFL confirmou a viabilidade e a adequação da implantação de uma subestação do tipo cabine abrigada em alvenaria, a escolha da cabine em alvenaria proporciona maior proteção física aos equipamentos, segurança operacional e atendimento às exigências sanitárias da indústria alimentícia.

A conexão subterrânea foi selecionada com base nas diretrizes da CPFL (GED-2855 e GED-2856), que recomendam esse tipo de ramal para unidades consumidoras de grande porte em áreas industriais, garantindo maior segurança, confiabilidade no fornecimento e compatibilidade com a infraestrutura local.

3.9. PROJETO LUMINOTÉCNICO

O projeto luminotécnico foi desenvolvido com base na ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, que estabelece os critérios para níveis adequados de iluminância em ambientes de trabalho. As soluções adotadas asseguram conforto visual, segurança operacional e eficiência energética nas áreas internas e externas da planta industrial. A distribuição adequada dos pontos de luz, aliada à escolha de luminárias eficientes, garante a conformidade com os parâmetros normativos e contribui para a produtividade e bem-estar no ambiente de trabalho.

3.10. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONFORMIDADE COM NORMAS

Todas as soluções propostas neste projeto foram desenvolvidas com base em um conjunto robusto de normas técnicas, destacando-se a ABNT NBR 5410, NBR 14039, NBR 5356-11, ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, bem como as normas específicas da concessionária, representada pelas diretrizes do Grupo CPFL, como a GED-2855 e GED-2856. A aplicação rigorosa dessas normas garantiu que cada etapa do projeto atendesse aos requisitos de segurança, desempenho e legalidade vigentes.

Os materiais e dispositivos utilizados apresentam certificações técnicas e alta eficiência energética, evidenciando o compromisso do grupo com soluções sustentáveis e de qualidade. A análise dos resultados comprova que o sistema projetado é capaz de suprir, de forma confiável, as demandas operacionais da planta industrial, ao mesmo

tempo em que mitiga riscos como sobrecargas, quedas de tensão e consumo excessivo de energia reativa.

A postura técnica adotada demonstra o papel estratégico do engenheiro eletricista na antecipação de falhas e na elaboração de soluções que equilibram eficiência, custo e segurança. O investimento em tecnologias como inversores de frequência, correção do fator de potência e um sistema luminotécnico eficiente proporciona ganhos operacionais significativos, reduzindo o consumo de energia, prolongando a vida útil dos equipamentos e gerando retorno econômico a médio prazo.

4. CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento deste projeto de sistemas elétricos para uma indústria alimentícia de médio porte, localizada na cidade de Gramado, o grupo teve a oportunidade de aplicar de forma prática os conhecimentos adquiridos ao longo do curso de Engenharia Elétrica. Foi uma experiência que nos permitiu entender conteúdos essenciais, com foco na eficiência energética, segurança operacional e conformidade com as normas técnicas vigentes.

Ao realizar o dimensionamento cuidadoso de condutores, disjuntores, dispositivos de proteção, inversores de frequência e propor a correção do fator de potência, conseguimos elaborar uma solução robusta e tecnicamente adequada, em conformidade com todas as normas aplicáveis.

O trabalho também evidenciou a importância do planejamento detalhado das instalações, não apenas para garantir o funcionamento contínuo dos sistemas, mas para minimizar perdas, evitar falhas e otimizar custos operacionais com energia. Isso reforça a responsabilidade técnica e estratégica do engenheiro eletricista em ambientes industriais.

O grupo reconhece o valor deste tipo de trabalho acadêmico em nossas trajetórias. Entendemos que experiências como essa são fundamentais para nossa formação como futuros engenheiros eletricistas, pois estimulam a análise crítica, a tomada de decisões técnicas, o trabalho em equipe e o compromisso com a excelência profissional e acadêmica. Com base nos resultados obtidos concluímos que os objetivos propostos foram plenamente atingidos, resultando em um sistema elétrico eficiente, seguro e adequado às necessidades da planta industrial em questão.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023:2018 – Informação e documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6027:2012 – Sumário – Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14724:2023 – Informação e documentação – Trabalhos acadêmicos – Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ABNT – Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 5410: **Instalações Elétricas de Baixa Tensão.** Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 209 p.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa ANEEL nº 1000.** Brasília, ANEEL, 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.000-de-7-de-dezembro-de-2021-368359651>. Acesso em: maio 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14039:2021 – **Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV.** Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5356-11 – **Transformadores de potência secos – Parte 11: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro, 2015.

CPFL ENERGIA. GED-2855 – **Fornecimento em Tensão Primária – 15, 25 e 34,5 kV – Volume 1.** Campinas: CPFL Energia, 2020.

CPFL ENERGIA. GED-2856 – **Requisitos para Instalações de Subestação do Consumidor em Média Tensão – Volume 2.** Campinas: CPFL Energia, 2020.

CREDER, Hélio. Instalações elétricas. 15. ed. Rio de Janeiro, RJ: Livros Técnicos e Científicos, 2015

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. IEEE Std 519-2014: IEEE recommended practice and requirements for harmonic control in electric power systems. New York: IEEE, 2014

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60947-4-1: low-voltage switchgear and controlgear – part 4-1: contactors and motor-starters – electromechanical contactors and motor-starters. Geneva: IEC, 2020.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. NR 10: **Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade.** Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2019.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. NR 12: **Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos.** Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2019.

WEG. Manual do Usuário – Inversor de Frequência CFW500. Versão 4.0x. Jaraguá do Sul: WEG Automação, 2022. Disponível em: <https://www.weg.net>. Acesso em: maio 2025. Página 119.

WEG. Manual do Usuário – Inversor de Frequência CFW500. Versão 4.0x. Jaraguá do Sul: WEG Automação, 2022. Disponível em: <https://www.weg.net>. Acesso em: maio 2025. Anexo B – Tabela de Especificações de Fusíveis e Disjuntores, página 157.