

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CAMPUS PONTA GROSSA**

**CARLOS DA CONCEIÇÃO CASTILHO NETO  
FERNANDO DE ALMEIDA  
LUCAS LIEBEL CAMARGO RIBAS**

**PROJETO DE INSTALAÇÃO ELÉTRICA INDUSTRIAL**

**PONTA GROSSA  
2019**

## 1. APRESENTAÇÃO

O seguinte trabalho tem por propósito apresentar um projeto industrial seguindo as normas brasileiras referentes à área. Dessa forma, é especificado e detalhado o dimensionamento de todos os equipamentos necessários, bem como a planta e o diagrama unifilar, analisando desde o ponto de entrega em média tensão até os quadros de distribuição gerais de cada bloco, contendo as cargas motrizes e gerais.

## 2. NORMAS UTILIZADAS

O projeto foi feito de acordo com as normas atuais da ABNT para edificações. Nesse sentido, as normas mais importantes utilizadas foram a NBR 5410, que trata de Instalações Elétricas de Baixa Tensão; e a NBR 14039, que orienta acerca de Instalações Elétricas de Média Tensão de 1,0 kV a 36,2 kV.

## 3. DIVISÃO DE CARGAS

A indústria tem uma área de cerca de 600 m<sup>2</sup>, com um perímetro de cerca de 3608,48 m, contendo duas fábricas, dois depósitos, uma oficina, um laboratório, uma sede administrativa e centro de convivência. Para melhor ajuste e especificação do projeto, as cargas foram divididas conforme suas categorias, assim, obteve-se uma tabela com as cargas gerais (compreendendo as tomadas de uso geral – TUG e as cargas relativas à iluminação) e outra para as cargas motrizes (motores, CNC, soldas, ventiladores, injetora e ar-condicionado industrial). A Tabela 1 contém as cargas gerais:

Cargas Gerais				
Unidade	Circuito	Potência Instalada (kVA)	Tensão de Alimentação (V)	Fator de Potência
Fábrica 1	Iluminação	105	220	0,84
	TUG	74	220	0,9
Fábrica 2	Iluminação	63	220	0,86
	TUG	43	220	0,9
Depósito 1	Iluminação	22	220	0,9
	TUG	8	220	0,9
Depósito 2	Iluminação	22	220	0,9
	TUG	8	220	0,9
Oficina	Iluminação	73	220	0,86
	TUG	92	220	0,9
Laboratório	Iluminação	76	220	0,9
	TUG	38	220	0,9
ADM	Iluminação	37	127	0,89
	TUG	29	127	0,89
Centro de Convivência	Iluminação	12	127	0,9
	TUG	6	127	0,9
	TUE	27,78	220	0,9

Tabela 1 – Cargas Gerais

A Tabela 2 contém as informações de potência, níveis de tensão, fator de potência, fator de simultaneidade e de utilização para as cargas motrizes. Optou-se por níveis de tensão iguais em cada bloco da indústria sempre que possível, e muito embora haja um motor de elevada potência na fábrica 1 sendo alimentado em 380V, o que por consequência faz com que a corrente de partida seja muito elevada, a

economia ao utilizar-se um número menor de transformadores compensa é mais considerável. Alguns dos valores de fator de potência foram aproximados, considerando estimativas adequadas.

Unidade	Equipamento / Dispositivo de Partida	Modelo	Qtde	Potência (kW)	Potência Instalada Total (kW)	Tensão (V)	Fator de Potência
<b>Fábrica 1</b>	Motor 2 CV - Partida direta - Intermitente	W22 IR3 Premium 2 cv 2P L80 3F 220/380/440 V 60 Hz IC411 - TFVE - B14D	60	1,5	90	380	0,79
	Motor 400 CV - Partida direta	W22 IR3 Premium 400 cv 4P 355M/L 3F 220/380/440 V 60 Hz IC411 - TFVE - B14D	1	294,2	294,2	380	0,84
	Motor 7,5 CV com Soft Starter SSW070017T5SZ	W22 IR3 Premium 7.5 cv 2P 112M 3F 380/660 V 60 Hz IC411 - TFVE - B34D	4	5,5	22	380	0,82
<b>Fábrica 2</b>	CNC	-	5	115	575	380	0,89
	Ventilador 25 CV	W22 IR3 Premium 25 cv 2P 160M 3F 220/380/440 V 60 Hz IC411 - TFVE - B35D	4	18,5	74	380	0,83
	Injetora - APTA 190	-	8	15,6	124,8	380	1
<b>Oficina</b>	Compressor 15 CV com Soft Starter SSW070017T5SZ	W22 IR3 Premium 15 cv 2P 132M 3F 220/380 V 60 Hz IC411 - TFVE - B5D	2	11	22	380	0,85
	Solda TIG	-	5	12	60	220	0,95
	Solda MIG	-	3	15	45	220	0,95
	Ponte Rolante – 10 CV	W22 IR3 Premium 10 cv 4P 132S 3F 220/380 V 60 Hz IC411 - TFVE - B35D	1	7,5	7,5	380	0,78
<b>Laboratório</b>	Ar Condicionado - Motor – 15 CV	W22 IR3 Premium 15 cv 2P 132M 3F 220/380/440 V 60 Hz IC411 - TFVE - B3D	6	11	66	220	0,85
	No Break - 40KVA	-	1	36	36	220	0,9
<b>ADM</b>	Ar Condicionado - 79KVA	W22 IR4 Super Premium 100 cv 2P 250S/M 3F 220/380 V 60 Hz IC411 - TFVE - B35D	1	75	75	380	0,87

Tabela 2 – Levantamento de Cargas Motrizes

Os motores escolhidos são todos da empresa WEG. Primou-se pelos modelos com menor fator de potência. O motor escolhido referente ao ar-condicionado do bloco administrativo possui uma potência aparente ligeiramente acima do solicitado (86kVA).

## 4. SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA

De maneira geral, as escolhas relacionadas à distribuição de energia em média e em baixa tensão foram feitas baseando-se em critérios imprescindíveis para o bom funcionamento da indústria com o menor custo necessário, como por exemplo, a flexibilidade, que consiste na capacidade do sistema se adaptar a diferentes alterações de carga; e na confiabilidade, que consiste na medida do impacto gerado quando ocorrem faltas em determinados pontos do sistema. Além disso, os custos operacionais, que se relacionam à eficiência energética; e os custos de manutenção, que se fazem presentes durante todo o período de funcionamento da indústria são fatores altamente relevantes.

### 4.1. DEFINIÇÃO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA EM MÉDIA TENSÃO

O sistema escolhido para a distribuição de energia em média tensão foi uma combinação do modelo radial com primário em anel e do modelo radial simples convencional, sendo o primeiro deles utilizado para todos os blocos, exceto o centro de convivência, que por ficar mais distante das duas fábricas foi ligado diretamente ao ponto de entrega, reduzindo custos através da economia em cabos. A ilustração dos dois modelos utilizados está na Imagem 1.

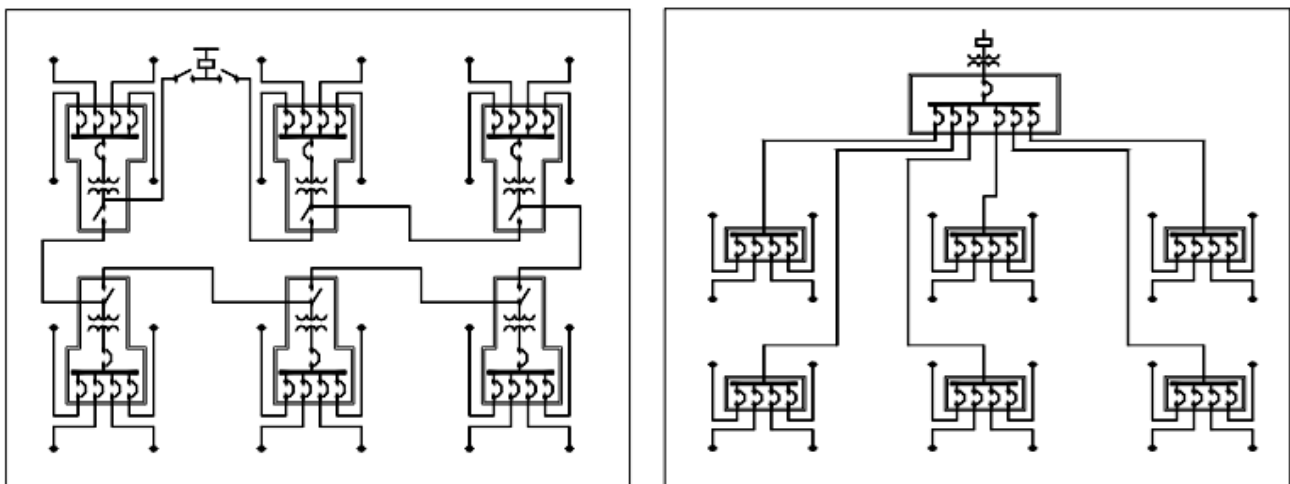


Imagem 1 – a) Modelo radial com primário em anel; b) Modelo radial simples convencional

Além disso, escolhendo esse modelo todos os blocos (com exceção do centro de convivência) terão um cabo de redundância, o que confere maior confiabilidade ao sistema. Caso ocorra alguma falha em um desses cabos em redundância, é mais simples isolar e corrigir essa falha sem que haja prejuízos maiores, como uma eventual parada na linha de montagem.

### 4.2. DEFINIÇÃO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA EM BAIXA TENSÃO

O modelo escolhido para a distribuição em baixa tensão do projeto foi o modelo radial simples. Esse padrão foi escolhido por questão de redução de custos, visto que essa configuração requer menos investimento inicial quando comparada com opções de sistemas de distribuição maior número de alimentadores. A Imagem 1b ilustra esse sistema.

#### 4.2.1. Aterramento

O sistema de aterramento escolhido para todos os blocos (exceto o laboratório) foi o esquema TN-S, que possui um condutor neutro e um terra, sendo que esse neutro é aterrado na entrada e o condutor utilizado como terra é conectado aos equipamentos e ligado à malha de terra na subestação.

Esse sistema se mostra eficiente por não precisar, obrigatoriamente, de interruptores diferenciais residuais para funcionar, visto que a corrente de curto-circuito percorre uma impedância muito baixa, o que faz com que ela seja elevada, e, portanto, detectada por disjuntores ou fusíveis. Isso torna o custo do sistema mais barato.

Em segunda análise, contudo, se no sistema TN-S o condutor neutro for rompido, o sistema se transforma em TT, e nesse caso seria importante a instalação de dispositivos DR, visto que a corrente é bem menor do que no sistema original. Logo, tendo em vista a importância do aterramento com relação à segurança dos operadores, o esquema TN-S é o mais adequado por tornar possível (com a utilização do DR) um aterramento seguro mesmo na ocorrência da perda do neutro.

Para o laboratório, como existe uma necessidade operacional através da qual a variação de tensão nos circuitos de TUG deve ser abaixo de 4%, e a corrente de curto-circuito fase-terra deve ser limitada em 400A. Assim, o sistema mais adequado é o IT, que realiza a inserção de uma alta impedância, limitando a corrente de falta a um valor determinado, de modo que uma primeira falta não desligue o sistema (para que não haja a interrupção de processos importantes). Nesse caso é ideal utilizar dispositivos para a monitoração da isolação dos condutores.

### 5. DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE BAIXA TENSÃO E CARGAS LIGADAS EM SEUS RESPECTIVOS QUADROS TERMINAIS DE CARGAS

Antes de realizar os cálculos necessários para se saber a demanda requerida de cada setor, foram definidos os níveis de tensão com base nos equipamentos utilizados (Tabela 2), conforme a Tabela 3.

Vale destacar que as subestações devem abrigar os equipamentos que irão operar em média tensão, exceto quando houver apenas chaves seccionadora em poste ou para raio. Tendo como finalidade a proteção geral, transformação, medição em média tensão e chaves seccionadoras.

Na planta serão na totalidade modulares, localizadas em caixas de alvenaria e compreende ao mesmo local de alocação dos transformadores, previamente discutido neste memorial, permitindo maior flexibilidade caso haja aumento da fábrica, necessitando alocação de mais transformadores e também em virtude de que a distribuição dos cabos no projeto foi subterrânea, facilitando o processo.

Quanto a subestação que recebe a entrada de energia em média tensão (SE0), esta está alocada seguindo alinhamento da planta e a menos de 10m do muro, conforme determina a concessionária.

Bloco	Subestação	Nível de tensão
Fábrica 1	SE1 - TR1	380V/220V
Centro de Convivência	SE2 – TR2	220V/127V
Fábrica 2	SE3 - TR3	380V/220V
Depósito 1	SE4 – TR4	220V/127V
Depósito 2	SE4 – TR4	220V/127V
Oficina	SE5 – TR5	380V/220V
Laboratório	SE6 – TR6	380V/220V
ADM	SE7 – TR7	380V/220V

Tabela 3: Níveis de tensão para cada bloco

Por mais que existam diferentes tipos de cargas com diferentes tipos de potências, optou-se em procurar utilizar uma potência padrão para cada bloco, afim de minimizar os gastos e simplificar o projeto.

Da mesma maneira com base nos sistemas de média e baixa tensão e nas cargas utilizadas em cada unidade a tabela abaixo foi estabelecida com a finalidade de se visualizar com maior clareza a distribuição das SE's, QDG's, QD's e CCM's. Optou-se inserir um QDG por bloco, afim de concentrar um comando em geral em um único ponto.

Bloco	Comando		Carga	
Fábrica 1	SE1	QDG_1	CCM_1	20 x Motor 2CV
			CCM_2	20 x Motor 2CV
			CCM_3	20 x Motor 2CV
			CCM_4	Motor 400CV
			CCM_5	4 x Motor 7,5CV
			QD_1	Iluminação TUG
Centro de Convivência	SE2	QDG_2	QD_2	Iluminação TUG TUE (20x Chuveiros)
Fábrica 2	SE3	QDG_3	QD_3	5 x CNC
			QD_4	4 x Ventilador 25CV
			QD_5	8 x Injetora
			QD_6	Iluminação TUG
			QD_7	Iluminação TUG
			QD_8	Iluminação TUG
Depósito 1	SE4	QDG_4		
Depósito 2				
Oficina	SE5	QDG_5	CCM_6	2 x compressor 15CV
			QD_9	5 x Solda TIG
			QD_10	3 x Solda MIG
			CCM_7	Ponte Rolante - 10CV
			QD_11	Iluminação TUG
Laboratório	SE6	QDG_6	CCM_8	6 x Motor 15CV (ar cond.)
			QDNB	No Break
			QD_12	Iluminação TUG
ADM	SE7	QDG_7	CCM_9	Ar cond. 79kVA
			QD_13	Iluminação TUG

Tabela 4: Distribuição das SE's, QDG's, QD's e CCM's

## 6. CÁLCULO DE DEMANDA DOS QD'S E CCM'S

O cálculo de demanda, foi utilizado um fator de demanda igual 1 para todas as cargas de iluminação e tomadas de uso geral, já para cargas motrizes foram utilizados os fatores de simultaneidade e utilização com o propósito de não haver um superdimensionamento do projeto que por sua vez resulta em gastos desnecessários.

### 6.1 DEMANDA DOS QUADROS DE DISTRIBUIÇÃO (QD)

Como o fator de potência da iluminação e das tomadas de uso geral foram previamente estabelecidos foi-se possível calcular a potência ativa e reativa de cada carga com as equações 1 e 2, posteriormente estas mesmas equações são utilizadas para o cálculo de demanda dos motores.

$$P = S_{inst} * FP \quad (1)$$

$$S_{inst} = P / FP \quad (2)$$

Onde:

- P - Potência Ativa;
- $S_{inst}$  - Potência aparente instalada;
- FP- Fator de potência.

Desta maneira, foi-se possível calcular a demanda dos QD's com a equação 3.

$$D_{QD} = \sqrt{P_{total}^2 + Q_{total}^2} \quad (3)$$

Onde:

- $D_{QD}$  – Demanda do quadro de distribuição;
- $P_{total}$  – Potência ativa total;
- $Q_{total}$  – Potência reativa total.

Assim obteve-se a demanda de cada QD para cada bloco, conforme a tabela abaixo:

Bloco	Circuito	Potência Ativa (W)	Soma Pot. Ativa (W)	Potência Reativa (VAr)	Soma Pot. Reativa (VAr)	Demanda (kVA)	Fator de Potência
Fábrica 1	Iluminação	88200	154800	56971,57	89227,42	178,67449	0,86638
	TUG	66600		32255,85			
Fábrica 2	Iluminação	54180	92880	32148,52	50891,79	105,90878	0,876981
	TUG	38700		18743,27			
Depósito 1	Iluminação	19800	27000	9589,578	13076,7	30	0,9
	TUG	7200		3487,119			
Depósito 2	Iluminação	19800	27000	9589,578	13076,7	30	0,9
	TUG	7200		3487,119			
Oficina	Iluminação	62780	145580	37251,46	77353,33	164,85471	0,883081
	TUG	82800		40101,87			
Laboratório	Iluminação	68400	102600	33127,63	49691,45	114	0,9
	TUG	34200		16563,82			
ADM	Iluminação	32930	58740	16870,54	30093,39	66	0,89
	TUG	25810		13222,86			

<b>Centro de Conv.</b>	Iluminação	10800	41200	5230,679	19954,07	45,777778	0,9
	TUG	5400		2615,339			
	TUE	25000		12108,05			

Tabela 4: Demanda dos QD's

Vale destacar que a Tabela 4 e a Tabela 7, que será posteriormente abordada, possuem a finalidade de mostrar com maior clareza os cálculos realizados, os valores dos QD's e CCM's estão dispostos de maneira mais clara na Tabela 8.

## 6.2 DEMANDA DO CENTRO DE CONTROLE DO MOTOR (CCM)

Para o cálculo da demanda das cargas dos CCMs foram utilizados parâmetros de acordo com a equação 4, onde se leva em consideração o fator de utilização e o fator de simultaneidade. Os valores obtidos estão contidos na Tabela 7.

$$D_{CCM} = N * \frac{P(cv) * 736}{1000 * \eta * FP} * FU * FS \quad (4)$$

Onde:

- N é a quantidade de motores;
- FU é o fator de utilização;
- FS é o fator de simultaneidade;
- D é a Demanda calculada;
- P é a potência do motor em CV;
- $\eta$  é o rendimento do motor;
- FP é o fator de potência.

Onde os fatores de simultaneidade e de demanda para os motores são tabelados e foram retirados do livro Instalações Elétricas Industriais 8ed de João Mamede Filho, conforme as tabelas abaixo:

Aparelhos(cv)	Números de aparelhos							
	2	4	5	8	10	15	20	50
Motores: 3/4 a 2,5	0,85	0,8	0,75	0,7	0,6	0,55	0,5	0,4
Motores: 3 a 15 cv	0,85	0,8	0,75	0,75	0,7	0,65	0,55	0,45
Motores: 20 a 40 cv	0,8	0,8	0,8	0,75	0,65	0,6	0,6	0,5
Acima de 40 cv	0,9	0,8	0,7	0,7	0,65	0,65	0,65	0,6
Retificadores	0,9	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,7	0,7
Soldadores	0,45	0,45	0,45	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
Fornos resistivos	1	1	-	-	-	-	-	-
Forno de indução	1	1	-	-	-	-	-	-

Tabela 5: Fatores de Simultaneidade

Aparelhos	Fator de Utilização
Fornos à resistência	1
Secadores, caldeiras etc.	1
Fornos de indução	1
Motores de 3/4 a 2,5 cv	0,7
Motores de 3 a 15 cv	0,83
Motores de 20 a 40 cv	0,85
Acima de 40 cv	0,87
Soldadores	1
Retificadores	1

Tabela 6: Fatores de Utilização



Bloco	Equipamento / Dispositivo de Partida	Qtde	Potência Unitária (kW)	Potência Instalada Total (kW)	Tensão de Alimentação (V)	Fator de Potência (75% de carga)	Fator de Utilização	Fator de Simultaneidade	Rendimento (para 75% de carga)	Demanda (kVA)
Fábrica 1	Motor 2CV - Partida direta - Intermitente	60	1,5	90	380	0,79	0,7	0,4	0,85	37,52792
	Motor 400CV - Partida direta	1	294,2	294,2	380	0,84	0,87	1	0,964	316,08625
	Motor 7,5CV com Soft Starter SSW070017T5SZ	4	5,5	22	380	0,82	0,83	0,8	0,894	19,92688
Total		65		406,2						373,54
Fábrica 2	CNC	5	23	115	380	0,89	0,83	0,75	0,9	89,3726
	Ventilador 25CV	4	18,5	74	380	0,83	0,85	0,8	0,924	65,6131
	Injetora - APTA 190	8	32,9	263,2	380	1	0,83	0,75	0,9	182,04667
Total		17		912,2						337,03
Oficina	Compressor 15CV com Soft Starter SSW070017T5SZ	2	11	22	380	0,85	0,83	0,4	0,913	20
	Solda TIG	5	12	60	220	0,95	1		0,9	28,07018
	Solda MIG	3	15	45	220	0,95	1		0,9	21,05263
	Ponte Rolante - 10CV	1	7,5	7,5	380	0,78	0,83	1	0,916	8,71263
Total		11		134,5						77,84
Laboratório	Ar Condicionado - Motor - 15CV	6	11	66	220	0,85	1	0,75	0,913	63,78455
	No Break - 40KVA	1	36	36	220	0,9	1	1	1	40
Total		7		102						103,78
ADM	Ar Condicionado - 79KVA	1	75	75	380	0,87	1	1	0,954	90,36362
Total		1	75	75						90,36362

Tabela 7: Demanda das cargas

Bloco	Comando			Demanda (kVA)
Fábrica 1	SE1	QDG_1	CCM_1	12,509
			CCM_2	12,509
			CCM_3	12,509
			CCM_4	316,086
			CCM_5	19,927
			QD_1	178,675
Total = Demanda QDG_1				552,215
FP QDG_1				0,89
Centro de Convivência	SE2	QDG_2	QD_2	45,778
Total = Demanda QDG_2				45,778
FP QDG_2				0,9
Fábrica 2	SE3	QDG_3	QD_3	89,3726
			QD_4	65,613
			QD_5	182,0467
			QD_6	105,908
Total = Demanda QDG_3				442,94
FP QDG_3				0,93
Depósito 1	SE4	QDG_4	QD_7	30
Depósito 2			QD_8	30
Total = Demanda QDG_4				60
FP QDG_4				0,9
Oficina	SE5	QDG_5	CCM_6	20
			QD_9	28,070
			QD_10	21,053
			CCM_7	8,713
			QD_11	164,855
Total = Demanda QDG_5				242,69
FP QDG_5				0,905
Laboratório	SE6	QDG_6	CCM_8	63,785
			QDNB	40
			QD_12	114
Total = Demanda QDG_6				217,785
FP QDG_6				0,89
ADM	SE7	QDG_7	CCM_9	90,364
			QD_13	66
Total = Demanda QDG_7				156,364
FP QDG_7				0,88

Tabela 8: Demanda dos QD's, CCM's e QDG's.

## 7. LOCALIZAÇÃO DOS QUADROS, SUBESTAÇÕES E PONTO DE ENTREGA

### 7.1 QDLs e CCMs

Para definir a posição dos QDLs e CCMs foi considerado que as cargas de cada região estão distribuídas igualmente por toda a sua área, e dessa forma optou-se por posicionar o QDL e/ou CCM exatamente no centro de carga dessa região (no meio da área), excetuando-se o QDL\_1 (Bloco Montagem) que por ser um bloco muito longo, preferiu-se posicionar o QDL\_1 na parede do bloco, e o QDL\_4, QDL\_5, CCM\_AC\_CPD e CCM\_AC\_ADM, que por não serem ambiente fabril, também posicionou-se na parede do bloco. Este posicionamento pode ser observado mais precisamente nas representações gráficas das figuras 1 e 2.

### 7.2 SUBESTAÇÕES

Para encontrar um ponto ideal para as subestações, foi utilizado o método da média de posições. Encontrar um lugar que contenha a média de todas as cargas de uma determinada localização implica no lugar com os menores custos de materiais. Infelizmente, este método sempre resulta em subestações que ficam na parte interna do ambiente fabril, sendo necessário realizar alterações para o projeto real.

#### 7.2.1 SE1

O ponto de referência para a região da fábrica 1 foi o canto inferior direito do local, usando as posições relativas de 'x' e de 'y', conforme as Equações 5 e 6:

$$Pos_x = \frac{\sum Dem_i \cdot X_i}{\sum Dem} \quad (5)$$

$$Pos_x = \frac{29440.33,57 + 29440.31,90 + 29440.31,90 + 316480.190,38}{404800}$$

$$Pos_x = 155,92$$

$$Pos_y = \frac{\sum Dem_i \cdot y_i}{\sum Dem} \quad (6)$$

$$Pos_y = \frac{29440.4,77 + 29440.49,44 + 29440.95,79 + 316480.34,61}{404800}$$

$$Pos_y = 37,92$$

#### 7.2.2 SE2

O ponto de referência para a região do centro de convivência foi o canto inferior do local, usando as posições relativas de 'x' e de 'y', conforme as Equações 5 e 6:

$$Pos_x = \frac{20000.(-25,01) + 110000.37,17}{130000}$$

$$Pos_x = 27,60$$

$$Pos_y = \frac{20000 \cdot (40,30) + 110000 \cdot 92,41}{130000}$$

$$Pos_y = 83,39$$

### 7.2.3 SE3

O ponto de referência para a região da fábrica 2 foi o canto inferior direito do local, usando as posições relativas de 'x' e de 'y', conforme as Equações 5 e 6:

$$Pos_x = \frac{129213,48 \cdot 29,24 + 73600 \cdot 2,02 + 124800 \cdot 51,18}{327613}$$

$$Pos_x = 31,48$$

$$Pos_y = \frac{129213,48 \cdot 97,59 + 73600 \cdot 45,09 + 124800 \cdot 2,03}{327613}$$

$$Pos_y = 49,39$$

### 7.2.4 SE4

Para os depósitos, foi considerado que as cargas de iluminação e de TUGs estão distribuídas uniformemente, então, optou-se por colocar a subestação centralizada e à direita dos depósitos a fim de dar continuidade ao sistema de distribuição.

### 7.2.5 SE5

O ponto de referência para a região da oficina foi o canto inferior direito do local, usando as posições relativas de 'x' e de 'y', conforme as Equações 5 e 6:

$$Pos_x = \frac{7360 \cdot 22,7 + 47368,42 \cdot 70,31 + 63157,89 \cdot 9,24 + 22080 \cdot 0}{139966}$$

$$Pos_x = 29,16$$

$$Pos_y = \frac{7360 \cdot 0 + 47368,42 \cdot 0 + 63157,89 \cdot 52,83 + 22080 \cdot 98,52}{139966}$$

$$Pos_y = 39,38$$

### 7.2.6 SE6

O ponto de referência para a região do laboratório foi o canto superior direito do local, usando as posições relativas de 'x' e de 'y', conforme as Equações 5 e 6:

$$Pos_x = \frac{66240.14,72 + 40000.4,9}{106240}$$

$$Pos_x = 11,02$$

$$Pos_y = \frac{66240.0.90 + 40000.42.48}{106240}$$

$$Pos_y = 16,56$$

### 7.2.7 SE7

Para o bloco administrativo, foi considerado que as cargas de iluminação e de TUGs estão distribuídas uniformemente. Então, optou-se por colocar a subestação o mais próximo possível do sistema de ar condicionado, a fim de dar continuidade ao sistema de distribuição e reduzir o uso de materiais.

## 7.3 DISTRIBUIÇÃO DAS SE's E PONTO DE ENTREGA

Com todas as regiões calculadas, basta estipular os melhores valores possíveis para cada subestação, e com esses valores, encontrar a melhor localização do ponto de entrega. A tabela a seguir apresenta os valores calculados (posições relativas já citadas) e os valores optados (posição total, com a origem no canto inferior direito da planta baixa).

Local	SE	x calc	y calc	x real	y real
Fábrica 1	1	155,92	37,96	665	191,5
Centro de convivência	2	27,60	84,39	1087,8	690,7
Fábrica 2	3	31,48	49,39	135,22	436,36
Depósitos 1 e 2	4	125,51	307,76	125	308
Oficina	5	29,16	39,38	1087,8	690,7
Laboratório	6	11,02	16,56	8	170
Administrativo	7	322,11	109.89	322,11	109.89
Ponto de Entrega		398,8	337,33	374.56	10

Tabela 9: Distribuição das SE's e PE

## 8. DETERMINAÇÃO DOS TRANSFORMADORES E DEMANDA GERAL

### 8.1 DEFINIÇÃO DOS TRANSFORMADORES

O projeto elétrico dispõe de 7 transformadores em toda planta e estes transformadores foram escolhidos a partir das cargas demandadas e conectados no modo Triângulo – Estrela aterrado, com o intuito de obter dois níveis de tensão no secundário.

Todos os transformadores escolhidos foram da marca União, transformadores secos com bobinas encapsuladas a vácuo em resina epóxi, da série DRY PLUS.

**Características do Transformador Padrão**

Classe de Tensão AT	7,2 / 15,0 / 24,2 / 36,2 kV	[outras características sob consulta]
Tensão aplicada Suportável AT	20 / 34 / 50 / 70 kV	
Nível Básico de Impulso AT (NBI)	40 / 95 / 125 / 150 kV	
Descargas parciais (induzida 2x Vn)	< 10pC	
Nível de Tensão máxima BT	1,2 KV	
Tensão aplicada Suportável BT	10 KV	
Grupo de Ligação	Dyn1	
Frequência	60Hz	
Classe de Temperatura / Elevação	F-155°C / 105°C	
Fator K	K= 4	
Normas	ABNT NBR 10295 / 5356-1/5 e IEC EN 60076	

Tabela 10: Características transformador marca União.

Os dados técnicos dos transformadores utilizados, com base no catálogo do fabricante, além das relações de tensões entre o primário e secundário, são:

Bloco	Demanda (kVA)	Subestação	Potência (kVA)	Perda a Vazio (W)	Perdas totais (W)	Z (%)	Nível de Tensão
Fábrica 1	552,215	SE1 - TR1	750	2000	115000	6	13,8kV - 380V/220V
Centro de Conv.	45,778	SE2 – TR2	112,5	600	2400	5	13,8kV - 220V/127V
Fábrica 2	442,94	SE3 - TR3	500	1650	8500	5	13,8kV - 380V/220V
Depósito 1 e 2	60	SE4 – TR4	112,5	600	2400	5	13,8kV - 220V/127V
Oficina	242,69	SE5 – TR5	300	1100	6000	5	13,8kV - 380V/220V
Laboratório	217,785	SE6 – TR6	225	1000	4000	5	13,8kV - 380V/220V
ADM	156,364	SE7 – TR7	225	1000	4000	5	13,8kV - 380V/220V

Tabela 11: Transformadores Utilizados

## 8.2 DEMANDA GERAL

Para o cálculo da demanda geral da planta foi considerado a soma das potências dos transformadores a fim de ficar liberado toda a potência de transformação de todos eles, sendo assim, pode-se verificar a demanda geral desta indústria na equação abaixo:

$$D_{geral} = P_{tr\_1} + P_{tr\_2} + P_{tr\_3} + P_{tr\_4} + P_{tr\_5} + P_{tr\_6} \quad (7)$$

$$D_{geral} = 750kVA + 112,5kVA + 500kVA + 112,5kVA + 300kVA + 225kVA + 225kVA$$

$$D_{geral} = 2,225MVA$$

## 9. CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

A correção do fator de potência foi realizada de forma setorizada, o que se deve ao fato de que para corrigir de forma geral seria necessária uma correção na parte de média potência da planta. Dimensionou-se os bancos de capacitores escolhendo o valor de 0,95, para que haja uma margem de segurança em relação ao fator mínimo imposto pela legislação vigente (0,92).

Dessa forma, calculou-se a potência ativa e a potência reativa em cada quadro, obtida através da potência aparente e do fator de potência inicial, que podem ser conferidos na tabela 8.

$$P = S \cdot FP_{inicial}$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

Logo em seguida, utilizando-se a função inversa do cosseno foi obtido o ângulo equivalente ao novo fator de potência (0,95), e em seguida, utilizando a tangente desse ângulo, foram calculadas as novas potências reativas para cada quadro.

$$\arccos(0,95) = 18,1949$$

$$Q' = tg(18,1949) \cdot P$$

Dessa forma, para se obter os valores referentes às potências reativas dos capacitores, foi realizada a seguinte subtração:

$$Q_{capacitores} = Q - Q'$$

No caso do quadro geral 3, como o fator de potência já está acima de 0,93, optou-se por não realizar a correção deste, tendo em mente a economia realizada.

Foram escolhidos módulos de capacitores trifásicos com controladores automáticos. O controlador de 12 estágios é um dos mais facilmente encontrados nas indústrias e por isso foi escolhido para essa aplicação. O modelo escolhido foi o Controlador de Fator de Potência RVC-12 - 2GCA294987A0050, da fabricante ABB.

Assim, foi obtida a tabela 12, contendo cada um dos valores referentes aos bancos de capacitores:

Quadro	S (kVA)	FP Antigo	P (kW)	Q (kVAr)	Q' (kVAr)	Qbanco (kVAr)	Qcapacitor (kVAr)	Qreal (kVAr)	Modelo
QDG_1	552,22	0,89	491,47	251,79	161,54	90,3	15,04	15	UCWT15V40 N22
QDG_2	45,78	0,9	41,20	19,95	13,54	6,4	0,53	0,5	UCWT0,5V25 L10
QDG_3	442,94	0,93	-	-	-	-	-	-	-
QDG_4	60,00	0,9	54,00	26,15	17,75	8,4	0,70	1	UCWT1V25 L10
QDG_5	242,69	0,905	219,63	103,24	72,19	31,1	2,59	3	UCWT3V49 L10
QDG_6	217,79	0,89	193,83	99,30	63,71	35,6	2,97	3	UCWT3V49 L10
QDG_7	156,36	0,88	137,60	74,27	45,23	29,0	2,42	2	UCWT2V25 L10

Tabela 12: Potência reativa dos capacitores de cada quadro

## 10. SISTEMA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Como a indústria possui ao todo 800 painéis fotovoltaicos de 325W distribuídos pelas duas fábricas e pela oficina. Assim, é preciso utilizar um inversor solar com essa potência ou separar as placas em grupos para a ligar mais inversores na configuração paralela. Tendo em vista que a tensão de funcionamento escolhida é 380V, a potência máxima pesquisada para cada inversor é de 60kW, considerando-se os modelos da empresa WEG.

Considerando que a potência fotovoltaica total na fábrica 1 é de 162,5kW, foram utilizados 3 inversores de 60kW, do modelo SIW500H ST040, cada um responsável por cerca de 54,2kW. Esses inversores foram ligados no QDG1.

Para a fábrica 2 e para a oficina, como a potência fotovoltaica total em cada um dos blocos é de 48,75kW, foi utilizado mais um inversor de 60kW e modelo SIW500H ST040 para cada um desses dois blocos. O inversor da fábrica 2 foi ligado no QDG3, enquanto o inversor da oficina foi ligado no QDG5.

## 11. DIMENSIONAMENTO E OPERAÇÃO DO SISTEMA DE GERAÇÃO PRÓPRIA

O sistema de geração própria está conectado aos blocos administrativo e ao laboratório, cujas potências gerais, motrizes e totais podem ser conferidas na tabela 13:

	Pot. Geral (kW)	Pot. Motriz (kW)	Pot. Total (kW)	Pot. Aparente Geral (kVA)	Pot. Aparente Motriz (kVA)	Dem. Total (kVA)
<b>Laboratório</b>	102,6	102	204,6	114	103,78	217,78
<b>Administrativo</b>	58,74	75	133,74	66	90,36	156,36

Tabela 13: Cargas alimentadas pelo sistema de geração própria

Para o laboratório, foi escolhido o modelo GTA311AIVS da WEG, ligado em 380V, por atender aos parâmetros de potência ativa e aparente (295kVA e 236kW) do bloco em questão. No caso do bloco administrativo, foi escolhido o modelo GTA252AIII, também ligado em 380V, que atende a 164kW e 205kVA. Esses valores foram obtidos considerando-se a temperatura de operação igual a 80° C.

O gerador do laboratório foi conectado ao quadro QDG6 e o gerador do bloco administrativo foi conectado junto ao quadro QDG5.



O modo de operação escolhido para o suprimento de energia elétrica das cargas prioritárias em situação de falta de energia da rede de distribuição consiste no paralelismo momentâneo, por evitar maiores transtornos na operação da indústria.