



**Universidade Federal de Campina Grande**

**Centro de Engenharia Elétrica e Informática**

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

RAFAEL ARARUNA MARTINS

**DETALHAMENTO DE UMA SUBESTAÇÃO ABAIXADORA DE  
TENSÃO DO TIPO ABRIGADA PARA CONSUMIDOR**

Campina Grande, Paraíba  
Outubro de 2011

RAFAEL ARARUNA MARTINS

DETALHAMENTO DE UMA SUBESTAÇÃO ABAIXADORA DE  
TENSÃO DO TIPO ABRIGADA PARA CONSUMIDOR

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador:

Prof. Genoilton João de Carvalho Almeida, M. Sc.

Campina Grande, Paraíba  
Outubro de 2011

RAFAEL ARARUNA MARTINS

DETALHAMENTO DE UMA SUBESTAÇÃO ABAIXADORA DE  
TENSÃO DO TIPO ABRIGADA PARA CONSUMIDOR

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em        /        /

**Professor Tarso Vilela Ferreira, D. Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador, UFCG

**Prof. Genoilton João de Carvalho Almeida, M. Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

À minha avó (*in memoriam*), por torcer e acreditar nos meus sonhos. Aos meus pais, pelos ensinamentos que moldaram minha personalidade com a perseverança e a disciplina necessárias para alcançar meus objetivos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, meu principal companheiro nessa caminhada, por me conceder a oportunidade e as condições necessárias para cursar uma graduação.

Agradeço aos meus pais, Alderi e Francisca, pelo estímulo e compreensão que me disponibilizaram. Pelo apoio afetivo, material, e por permanecerem ao meu lado nos momentos difíceis. Por serem prova viva de que tudo que é feito com esforço e dedicação rende bons frutos, e que não há distância que separe a união de uma família.

Agradeço aos meus colegas, amigos e familiares, pelo incentivo, carinho e pelos momentos de alegria e descontração que me proporcionaram.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram, direta e indiretamente para que eu pudesse chegar ao fim dessa longa jornada, quer tivessem consciência disso ou não. Em especial ao senhor Paulo Marcelo pelo aporte e à minha namorada, Gerleide, pela dedicação e colaboração sem os quais não seria possível concluir este trabalho.

*“... Mas pra quem tem pensamento forte o impossível é só questão de opinião.”*  
Chorão / Thiago Castanho.

## RESUMO

O presente trabalho faz uma análise sobre Subestações Abaixadoras de Tensão. Inicialmente, são feitas considerações sobre a Energia Elétrica, apresentando suas principais fontes e aspectos relativos à geração, transmissão e distribuição da mesma. A seguir, faz-se um breve estudo sobre subestações, tratando de suas classificações e seus principais equipamentos. Ao longo do trabalho, procura-se dar ênfase à Subestação Abaixadora de Tensão Abrigada para Consumidor. São apresentados os seus tipos, suas partes componentes e um exemplo resumido de projeto, com o intuito de analisar os principais elementos e requisitos mínimos a fim de dimensionar corretamente esse tipo de instalação.

**Palavras-chave:** Energia Elétrica; Subestações; Subestação Abaixadora; Tensão; Abrigada; Consumidor.

## ABSTRACT

This work makes an analysis on Voltage Step-Down Substations. Initially, considerations are made about Electrical Energy, presenting their main sources and aspects related to the generation, transmission and distribution of it. Then, a brief study about substations, presenting their classifications and main equipments. Alongside the work, an emphasis is given towards to the Voltage Step-Dwon Indoor Substation for Consumer. Types, parts, components and a summarized project will be presented, in order to analyze the main elements and minimal requisites and to scale this type of installation properly.

**Keywords:** Electrical Energy, Substations, Step-Down Substation, Voltage; Indoor; Consumer.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Usina Hidrelétrica de Itaipu .....	21
Figura 2: Usina Termelétrica de Linhares – ES .....	21
Figura 3: Usina Nuclear de Angra 1 – RJ .....	22
Figura 4: Usina de Biomassa de Lages – SC .....	22
Figura 5: Parque Eólico de Osório – RS .....	23
Figura 6: Estação Solar de Odeillo Front Tomeau – França .....	23
Figura 7: Processo de Geração de Energia numa Hidrelétrica .....	25
Figura 8: Representação do Sistema Elétrico Nacional .....	26
Figura 9: Transformadores de Distribuição .....	27
Figura 10: Rede Primária e Secundária .....	28
Figura 11: SE Elevadora – aumentando de 6,6 kV para 69 kV .....	29
Figura 12: SE Abaixadora – rebaixando de 69 kV para 34,5 kV .....	29
Figura 13: SE de Distribuição .....	30
Figura 14: SE Seccionadora .....	30
Figura 15: SE em Pátio Aberto .....	31
Figura 16: SE Abrigada .....	32
Figura 17: SE Blindada a Gás SF <sub>6</sub> .....	32
Figura 18: Tipos de Arranjo para Barramento.....	33
Figura 19: Elementos da Entrada de Serviço para Consumidor em Alta Tensão .....	39
Figura 20: SE com Ramal de Entrada Subterrâneo .....	42
Figura 21: SE com Ramal de Entrada Aéreo .....	42
Figura 22: Divisão da SE em Cabines ou Postos .....	44
Figura 23: SE Modular Metálica .....	45
Figura 24: Subestação Aérea .....	47
Figura 25: Subestação Instalada ao Nível do Solo .....	48
Figura 26: Representação de um Relé num Sistema Radial .....	62
Figura 27: Curva de Temporização Muito Inversa .....	63
Figura 28: Coordenograma de Proteção da SE 500 + 300 kVA da Guaraves .....	67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Levantamento de Carga do QGF 1 .....	69
Tabela 2: Levantamento de Carga do QGF 2 .....	70
Tabela 3: Levantamento de Carga do QGF 3 .....	71
Tabela 4: Levantamento de Carga do QGF 4 .....	72
Tabela 5: Cálculo da Demanda do QGF 1 .....	73
Tabela 6: Cálculo da Demanda do QGF 2 .....	74
Tabela 7: Cálculo da Demanda do QGF 3 .....	74
Tabela 8: Cálculo da Demanda do QGF 4 .....	75
Tabela 9: Cálculo da Demanda Geral .....	75

# LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS, UNIDADES E TERMOS EM INGLÊS

*ABB* – Associação Brown-Boveri

*ABNT* – Associação Brasileira de Normas Técnicas

*AL* – Alimentador

*AT* – Alta Tensão

*BT* – Baixa Tensão

*CV* – Cavalo Vapor (736 W)

*cos  $\phi$*  – Fator de potência do motor (adimensional)

*D* – Demanda a ser contratada (em kVA)

*D<sub>efe</sub>* – Demanda efetiva (em kVA)

*D<sub>max</sub>* – Demanda máxima solicitada da rede (em kVA)

*EI* – Extremamente Inversa

*F* – Fator de sobrecorrente (adimensional)

*F<sub>sim</sub>* – Fator de simultaneidade

*F<sub>ut</sub>* – Fator de utilização (adimensional)

*Energisa* – Distribuidora de Energia S/A

*Inrush* – Tradução livre: Corrente de magnetização

*IL* – Inversa Longa

*IP* – Índice de Proteção

*I<sub>a\_if</sub>* – Corrente ajustada da unidade instantânea de fase

*I<sub>a\_in</sub>* – Corrente ajustada da unidade instantânea de neutro

*I<sub>a\_tf</sub>* – Corrente ajustada da unidade temporizada de fase

*I<sub>a\_tn</sub>* – Corrente ajustada da unidade temporizada de neutro

*I<sub>ac</sub>* – Corrente de acionamento do relé (em A)

*I<sub>ANSI,Ti</sub>* – Valor máximo de corrente que o transformador de interesse 1 ou 2 pode suportar durante um período definido de tempo sem se danificar.

*I<sub>cc\_3 $\phi$</sub>*  – Corrente de curto-circuito trifásica (em A)

*I<sub>cc\_AL</sub>* – Corrente de curto-circuito na derivação do alimentador (em A)

$I_{cc\_\emptyset T}$  – Corrente de curto-circuito fase-terra  
 $I_f$  – Corrente de fase ou corrente de falta  
 $I_i$  – Corrente da unidade de interesse referida ao primário (em A)  
 $I_{if}$  – Corrente instantânea de fase  
 $I_{in}$  – Corrente instantânea de neutro  
 $I_m$  – Corrente de magnetização  
 $I_{ma}$  – Corrente máxima admitida no local do defeito (em A)  
 $I_{max}$  – Corrente máxima exigida pela carga (em A)  
 $I_n$  – Corrente nominal de carga (em A)  
 $I_{n,Ti}$  – Corrente nominal do transformador de interesse 1 ou 2 (em A)  
 $I_p$  – Corrente de partida do relé  
 $I_{p\_ff}$  – Corrente de partida da unidade temporizada de fase  
 $I_{p\_tn}$  – Corrente de partida da unidade temporizada de neutro  
 $I_{TC}$  – Corrente primária nos enrolamentos do TC em caso de sobrecorrente  
 $LT$  – Linha de Transmissão  
 $LTDA$  – Limitada  
 $MI$  – Muito Inversa  
 $NI$  – Normalmente Inversa  
 $NBR$  – Norma Brasileira Regulamentar  
 $NDU$  – Norma de Distribuição Unificada  
 $\eta$  – Rendimento do motor (adimensional)  
 $P_{n,Ti}$  – Potência nominal de cada transformador (em kVA)  
 $P_{CV}$  – Potência nominal do motor (em CV)  
 $P_{kW}$  – Potência ativa (em kW)  
 $P_{kVA}$  – Potência aparente (em kVA)  
 $Q_{td}$  – Quantidade de motores com a mesma potência (em Un)  
 $QGBT$  – Quadro Geral de Baixa Tensão  
 $QGF$  – Quadro Geral de Força  
 $RTC$  – Relação de Transformação de Corrente (adimensional)  
 $SE$  – Subestação  
 $SF_6$  – Hexafluoreto de enxofre  
 $SiC$  – Carboneto de silício  
 $Tap$  – Tradução livre: Dispositivo para ajuste dos enrolamentos de um transformador  
 $TC$  – Transformador de Corrente

*TP* – Transformador de Potencial

$T_{mi}$  – Tempo de operação do relé para a característica muito inversa (em s)

$T_{ms}$  – Fator multiplicador de tempo (adimensional)

$T_{ms\_tf}$  – Fator multiplicador de tempo da unidade temporizada de fase

$T_{mi\_tf}$  – Tempo de atuação da unidade temporizada de fase do relé

$T_{ms\_tn}$  – Fator multiplicador de tempo da unidade temporizada de neutro

$T_{mi\_tn}$  – Tempo de atuação da unidade temporizada de neutro

*USSG* – United States Services Group

*ZnO* – Óxido de zinco

*A* – Ampère

*m* – Metro

*cm* – Centímetro ( $10^{-2}$  m)

*mm* – Milímetro ( $10^{-3}$  m)

$mm^2$  – Milímetros quadrado

” – Polegada

*s* – Segundo

*VA* – Volt-ampère

*kVA* – Quilovolt-ampère ( $10^3$  VA)

*MVA* – Megavolt-ampère ( $10^6$  VA)

*V* – Volt

*kV* – Quilovolt ( $10^3$  V)

*MV* – Megavolt ( $10^6$  V)

*kW* – Quilowatt ( $10^3$  W)

$Z_{mt}$  – Impedância média de curto-circuito (em %)

$Z_{Ti}$  – Impedância do transformador de interesse 1 ou 2 (em %)

$^{\circ}\text{C}$  – Graus Celsius

% - Por cento

# SUMÁRIO

<b>Capítulo 1 – Introdução .....</b>	<b>16</b>
1.1 Objetivos .....	17
1.1.1 Objetivo Geral .....	17
1.1.2 Objetivos Específicos .....	17
1.2 Estrutura do Trabalho .....	18
<b>Capítulo 2 – Referencial Teórico .....</b>	<b>19</b>
2.1 Energia Elétrica .....	19
2.2 Fontes de Energia Elétrica .....	20
2.3 Geração de Energia Elétrica .....	24
2.4 Transmissão de Energia Elétrica.....	25
2.5 Distribuição de Energia Elétrica .....	27
2.6 Subestações de Energia Elétrica .....	28
2.6.1 Classificação .....	28
2.6.1.1 Quanto à Função.....	29
2.6.1.2 Quanto ao Tipo de Instalação .....	31
2.6.2 Principais Equipamentos de uma Subestação .....	32
2.6.2.1 Barramento .....	33
2.6.2.2 Isoladores .....	34
2.6.2.3 Transformadores .....	34
2.6.2.4 Reatores em Derivação .....	34
2.6.2.5 Buchas .....	35
2.6.2.6 Transformadores de Corrente .....	35
2.6.2.7 Transformadores de Potencial .....	36
2.6.2.8 Para-raios .....	36
2.6.2.9 Chaves Seccionadoras .....	37
2.6.2.10 Disjuntor .....	37
2.7 Subestação Abaixadora de Tensão para Consumidor .....	38
2.7.1 Partes Componentes .....	39

2.7.1.1 Entrada de Serviço .....	39
2.7.1.2 Ramal de Entrada .....	41
2.7.2 Tipos de Subestação de Consumidor .....	41
2.7.2.1 Subestação de Instalação Interior .....	41
2.7.2.2 Subestação de Instalação Exterior .....	47
<b>Capítulo 3 – Detalhamento de uma Subestação Abaixadora de Tensão para Consumidor .....</b>	<b>50</b>
3.1 Memorial Descritivo .....	50
3.1.1 Assunto .....	50
3.1.2 Finalidade .....	51
3.1.3 Condições Gerais .....	51
3.1.4 Ramal de Ligação .....	51
3.1.5 Cubículo de Medição e Proteção .....	52
3.1.6 Ramal de Entrada .....	53
3.1.7 Ramal de Saída .....	53
3.1.8 Cubículos de transformação .....	54
3.1.9 Circuitos Alimentadores .....	55
3.1.10 Malha de Aterramento .....	56
3.1.11 Detalhes Construtivos .....	57
3.1.12 Proteção Secundária .....	58
3.1.13 Coordenograma .....	67
3.1.14 Levantamento de Carga .....	68
3.1.15 Cálculo da Demanda .....	73
<b>Capítulo 4 – Considerações Finais .....</b>	<b>76</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>78</b>
<b>Sites Visitados .....</b>	<b>79</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>80</b>

## CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Garantir energia elétrica significa possuir fonte primária de energia em quantidade suficiente para ser transformada em eletricidade nas usinas de geração. Como no Brasil a maior parte do atendimento energético é feito por usinas hidrelétricas, a garantia de água nos reservatórios é um fator importante para a continuidade do funcionamento das usinas. Isto é feito a custo da ocorrência de precipitações pluviométricas que dependem de fatores aleatórios como variações climáticas, alterações ambientais e evolução dos ciclos hidrológicos.

Nos grandes sistemas de energia elétrica, a energia produzida nas usinas percorre um longo caminho para chegar até o consumidor. Normalmente, as usinas hidrelétricas estão localizadas distantes dos centros consumidores, o que já não acontece com as usinas térmicas que podem ser construídas próximas a estes centros. De qualquer forma tanto num caso quanto no outro são necessários meios eficazes para conduzir esta energia até o consumidor.

O sistema elétrico brasileiro é constituído por usinas geradoras de energia, estações de elevação de tensão e chaveamento, linhas de transmissão, estações abaixadoras de tensão e redes de distribuição. Através deste conjunto, grandes blocos de energia são gerados, transformados em subestações elevadoras de tensão próximas a estas usinas, sendo transportadas por linhas de transmissão até os centros de carga, onde sofrem nova transformação em subestações abaixadoras e a partir daí atende aos consumidores ligados às redes de distribuição.

As subestações elétricas, comumente chamadas de SE, constituem uma parte importante do sistema elétrico. Nelas começam e/ou terminam as linhas e ainda convertem os níveis de tensão para os ideais, técnica e economicamente, através do uso de transformadores. São nelas também que são instalados os equipamentos para proteção das linhas bem como os equipamentos para manobras, que aumentam a confiabilidade do sistema.

Dada a sua importância, a partir de meados da década de noventa, as concessionárias começaram a investir intensamente na melhoria e automação de suas subestações, com o objetivo de aumentar a confiabilidade do sistema, reduzir custos operacionais, melhorar a qualidade das previsões de investimentos e melhorar os índices de qualidade.

Normalmente, as concessionárias de serviço público de eletricidade estabelecem limites de carga para o abastecimento dos consumidores em tensão secundária. Quando a



carga a ser instalada é grande, torna-se inconveniente realizar a alimentação de energia em baixa tensão.

No Brasil, até uma demanda de 60 kVA, é comum realizar a alimentação instalando-se um transformador em poste ou cabine subterrânea próxima à entrada do cabo alimentador. No entanto, cada concessionária estabelece a carga instalada acima da qual se exige do consumidor a montagem de uma subestação abaixadora de tensão. Assim, realiza-se o fornecimento em tensão primária sendo mais usual a tensão de entrada em 13,8 kV.

Por se tratar de uma instalação em alta tensão, faz-se necessário projetar uma subestação abaixadora que deve obedecer às exigências determinadas pelas normas brasileiras pertinentes (NBR-14039) e aos padrões estabelecidos pela concessionária local a fim de que possa ser aprovada.

## 1.1 Objetivos

A seguir, são descritos os objetivos da proposta desse trabalho tanto em caráter geral quanto específico.

### 1.1.1 Objetivo Geral

O estudo completo de uma subestação foge ao cerne deste trabalho. Todavia, o objetivo maior será desenvolver temas que conduzam ao detalhamento de uma subestação abaixadora de tensão para o consumidor de médio porte de modo a se ter uma visão geral do assunto.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Apresentar conceitos importantes, compreender melhor os tipos de subestações para consumidor existentes e estudar suas partes componentes. Para tanto será indispensável estudar as exigências normativas (NBR-14039) e os padrões estabelecidos pela concessionária local no que se refere às instalações em alta tensão.

Por fim, mostrar um exemplo resumido para o projeto de uma subestação abaixadora abrigada, apresentando os elementos indispensáveis para a boa elaboração do mesmo e tratar do dimensionamento físico das instalações destinadas às subestações abrigadas.

## 1.2 Estrutura do Trabalho

O Capítulo 2 faz um resumo geral sobre o assunto em questão e foi dividido em três partes. A primeira trata da Energia Elétrica, apresentando algumas de suas principais fontes e aborda aspectos relativos à geração, transmissão e distribuição da mesma. A segunda detalha melhor uma subestação, classificando-a quanto a alguns aspectos e apresenta seus principais equipamentos. Na terceira, é dada ênfase à subestação abaixadora de tensão para consumidor, mostrando os seus tipos e as partes componentes a fim de facilitar a sua melhor compreensão.

O Capítulo 3 apresenta um exemplo resumido para o projeto de uma subestação abaixadora de tensão do tipo abrigada para consumidor, com o intuito de analisar os principais elementos e requisitos mínimos que devem ser observados a fim de fazer o correto dimensionamento desse tipo de instalação.

O Capítulo 4 apresenta as considerações finais seguidas da bibliografia, das referências e de outras fontes utilizadas para pesquisa.

## CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO

Não se pode deixar de falar que hoje em dia, é enorme e crescente a influência que a energia elétrica exerce em todos os setores da atividade humana. A cada dia que passa, o ser humano torna-se mais dependentes desta energia, no lar, no trabalho, nos locais de lazer, de compras, enfim, em toda parte. O uso da energia elétrica é uma das grandes conquistas realizadas pelo homem.

### 2.1 Energia Elétrica

Poucas palavras suportam tantos sentidos e definições como energia. O termo energia vem do grego — “*energeia*” — e, conforme a sua formulação, é quase sinônimo de trabalho. Na acepção moderna, energia corresponde essencialmente a um conceito desenvolvido a partir de meados do século XIX. A definição mais usual que corresponde ao senso comum e é encontrada em muitos livros afirma que “energia é a medida de capacidade de efetuar trabalho” (GUSSOW, 2001).

Também pode ser definida como uma grandeza que caracteriza um sistema físico, mantendo seu valor independente das transformações que ocorrem nesse sistema, expressando também a capacidade de modificar o estado de outros sistemas com os quais interage. Já eletricidade, é uma forma de energia associada aos fenômenos causados por cargas elétricas em repouso (eletrostática) e em movimento (eletrodinâmica) (SANTOS, 2011).

Como consequência de sua capacidade de ser transformada em outras formas de energia, sua facilidade de transporte e grande alcance através das linhas de alta tensão, a energia elétrica se converteu na fonte energética mais utilizada no século XX.

Ainda que a pesquisa de fontes de eletricidade tenha se voltado para campos pouco conhecidos, como o aproveitamento do movimento e da energia dos mares, as formas mais generalizadas são a hidrelétrica, obtida pela transformação mecânica da força de quedas d'água, e a térmica, constituída por centrais geradoras de energia alimentadas por combustíveis minerais sólidos e líquidos (GUSSOW, 2001, p. 109).

O século XXI é o século da energia. Sem ela, tudo que foi desenvolvido nos últimos séculos perderia o sentido e os cidadãos voltariam a escuridão da idade média. Chegar em casa e tomar um banho quente, assistir a um programa de TV e usar o computador é o

resultado do conforto e da qualidade de vida que a energia elétrica proporciona. É praticamente impossível imaginar a vida moderna sem energia elétrica. É ela que proporciona conforto, bem-estar, segurança e lazer a vida. Portanto, deve ser bem utilizada.

Sem uma fonte de energia não se pode realizar muitas das tarefas do dia-a-dia e muitas delas podem até comprometer vidas. Para iluminar residências, ruas e avenidas de pequenas e grandes cidades; para movimentar aparelhos e ferramentas que proporcionam conforto e segurança às pessoas; para manter em funcionamento hospitais, escolas, escritórios e muitos outros estabelecimentos; é preciso gerar grande quantidade de energia elétrica.

Da eletricidade depende a produção, locomoção, eficiência, segurança, conforto e vários outros fatores associados à qualidade de vida. É a energia que gera iluminação, movimenta máquinas e equipamentos, controla a temperatura produzindo calor ou frio, agiliza as comunicações e etc.

A vida seria muito diferente se o homem não tivesse descoberto como utilizar a energia elétrica, principalmente nas cidades, pois ela produziu uma complexa infra-estrutura industrial que modelou a sociedade moderna e se tornou um dos bens de consumo mais fundamentais. Sem luz elétrica, rádio, televisão e geladeira não teriam funcionalidade. Para quem está acostumado com todas as comodidades que a energia elétrica proporciona, seria difícil imaginar a vida sem ela.

Essas transformações indicam que há uma necessidade do uso eficiente de energia nos mais diversos ramos de atividade da sociedade. Hoje se torna praticamente inconcebível a ideia de se viver sem energia elétrica. Pois é uma das energias mais importantes para a vida dos seres humanos.

## 2.2 Fontes de Energia Elétrica

Há várias formas de energia e diferentes maneiras de se obtê-las. Cada tipo de obtenção de energia tem seu respectivo custo, seus impactos ambientais e a quantidade que é possível produzir. Em cada região uma forma de obter energia é mais vantajosa que outras. Isso depende das características do lugar tais como relevo, clima e condições financeiras. A seguir, citam-se alguns tipos de fontes energéticas existentes. Entretanto, maiores informações podem ser obtidas em: GOLDEMBERG, Jose. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. São Paulo: Scipione, 1998.

## A. Energia Hidráulica

É a energia proveniente do movimento das águas. Ela é produzida por meio do aproveitamento do potencial hidráulico existente nos rios. Para tanto, utilizam-se desníveis naturais como as quedas de água ou artificiais produzidos pelo desvio do curso original ou represamento do rio.

A produção deste tipo de energia é principalmente obtida através de centrais hidrelétricas de maior ou menor porte. Elas consistem na construção de barragens onde são instaladas as turbinas.



*Figura 1 – Usina Hidrelétrica de Itaipu.  
Fonte: Itaipu Binacional – Energia, 2011.*

## B. Energia Térmica

É a produção de energia elétrica por meio da queima de matérias encontradas na terra ou no mar, gerando calor e produzindo vapor, que irá entrar em uma turbina, girando um gerador e assim produzindo energia. Para tanto, utiliza gás natural, óleo diesel, bagaço de cana, palha de arroz, resíduos de madeira e outros.



*Figura 2 – Usina Termelétrica de Linhares – ES.  
Fonte: Prefeitura de Linhares – Primeira Termelétrica a Gás Natural do País, 2011.*

## C. Energia Nuclear

É a energia gerada pela radiação do elemento urânio, o qual é colocado em um recipiente, gerando calor, que por sua vez aquece uma serpentina com água, produzindo vapor. As turbinas, ligadas a um gerador elétrico, produzem eletricidade por meio do vapor. As desvantagens referentes a esse tipo de energia são o temor de um acidente e o problema relacionado ao armazenamento dos dejetos radioativos. A Figura 3 exibe a foto da usina nuclear de Angra 1 (RJ – Brasil) .



*Figura 3 – Usina Nuclear de Angra 1 – RJ.  
Fonte: Eletronuclear – Multimídia, 2011.*

## D. Energia de Biomassa

Faz uso de resíduos orgânicos como carburantes. Existem dois tipos: por vapor d'água e por gaseificação. Exemplos de carburante: bagaço de cana, palha de arroz, resíduos de madeira e outros.



*Figura 4 – Usina de Biomassa de Lages – SC.  
Fonte: Aeroar – Caldearia, 2011.*

## E. Energia Eólica

É a energia proveniente dos ventos e que possibilita a movimentação de uma turbina ligada a um gerador de eletricidade, produzindo energia elétrica. No Brasil o potencial eólico encontra-se nas regiões Norte e Nordeste, parte da Bahia e Minas Gerais e na região Sul.



*Figura 5 – Parque Eólico de Osório – RS.  
Fonte: Ventos do Sul Energia – Galeria de Fotos, 2011.*

## F. Energia Solar

É a energia obtida por meio dos raios solares, podendo ser térmica ou fotovoltaica. A Figura 6 representa a estação de energia solar de Odeillo-Front-Tomeau, na França. Ela tem um refletor parabólico que concentra os raios solares numa fornalha situada em seu foco. A temperatura no interior desta chega a  $3800^{\circ}\text{C}$  e o sistema pode gerar mais de 1000 kW de potência.



*Figura 6 – Estação Solar de Odeillo Front Tomeau – França.  
Fonte: Science Photo Library, Science & Technology Images, 2011.*

## 2.3 Geração de Energia Elétrica

A energia elétrica é gerada a partir de outras formas de energia e em todas as situações há transformação de um ou mais tipos de energia em energia elétrica. Ela pode ser obtida a partir de fontes renováveis (a força das águas e dos ventos, o sol e a biomassa), ou não renováveis (combustíveis fósseis e nucleares). No Brasil, onde é grande o número de rios, a opção hidráulica é a mais utilizada.

Nas usinas hidrelétricas, uma parte do rio é desviada e devolvida num local desnivelado onde a força da queda de um grande volume de água represada é utilizada para movimentar turbinas. Assim, a energia potencial do rio transforma-se em energia cinética nas turbinas que acionam um gerador elétrico transformando-a finalmente em energia elétrica.

Após gerada, a energia elétrica é conduzida por cabos até a subestação elevadora, onde transformadores elevam o valor da tensão elétrica. Assim, nesse nível de tensão, a eletricidade pode percorrer longas distâncias pelas linhas de transmissão, sustentadas por torres, até chegar às proximidades de onde será consumida.

Antes disso, a energia elétrica precisa ser reduzida na subestação abaixadora através de transformadores. Em seguida, ela percorre as linhas de distribuição, que podem ser subterrâneas ou, como é mais comum, aéreas. Finalmente, a energia elétrica é transformada novamente para os padrões de consumo local e chega às residências e a outros estabelecimentos.

O Brasil detém a maior bacia hidrográfica do planeta, oferecendo diversos rios volumosos com quedas d'água, possibilitando a construção de hidroelétricas, assim como Itaipu, situada na divisa do estado do Paraná com Paraguai, considerada a segunda maior usina geradora de energia elétrica do mundo, fornecendo energia para boa parte da América do Sul (KAGAN, 2005).

As hidrelétricas possuem uma unidade geradora de eletricidade, que compreende dois equipamentos necessários, a turbina e o gerador.

- **Turbina:** Dispositivo mecânico que através da energia cinética da água, desenvolve um movimento rotacional, capaz de impulsionar o gerador;
- **Gerador:** Seu funcionamento baseia-se nas leis da indução eletromagnética. Constituído de uma espira retangular que se encontra imersa em um campo magnético, a mesma gira em torno de um eixo perpendicular às linhas desse campo. Ao girar, o fluxo magnético que atravessa sua superfície varia



continuamente, surgindo uma corrente alternada. A tensão de saída do gerador pode variar conforme o modelo, podendo variar de 1 kV até 25 kV.

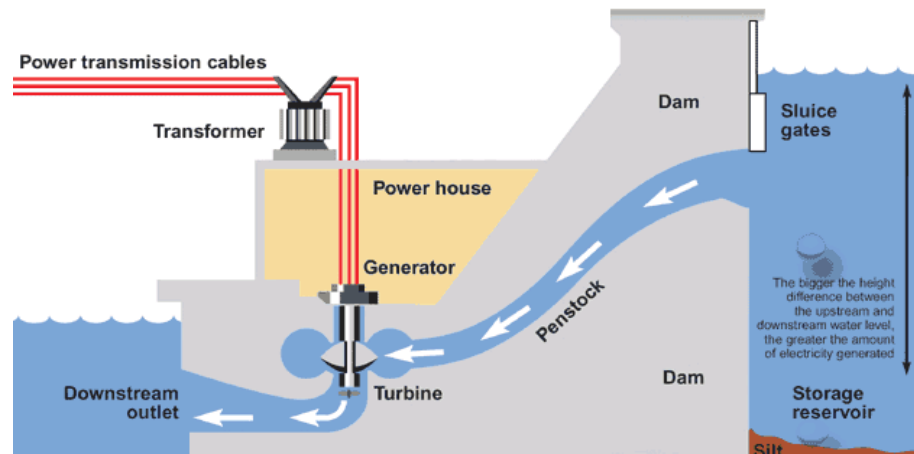


Figura 7 – Processo de Geração de Energia numa Hidrelétrica.

Fonte: United States Geological Survey – Hydroelectric Power Water Use, 2011.

## 2.4 Transmissão de Energia Elétrica

A transmissão de energia elétrica é o processo de levar energia a dois pontos distantes. Isso é realizado por meio de linhas de transmissão de alta tensão, geralmente usando corrente alternada, conectando assim uma usina ao consumidor. Esse processo é dividido em duas faixas: a transmissão propriamente dita, para potências mais elevadas e ligando grandes centros, e a distribuição, usada dentro de centros urbanos.

Os maiores consumidores de eletricidade estão nos grandes centros urbanos, distantes algumas centenas de quilômetros das hidroelétricas. A transmissão de energia elétrica para estes é feita através de cabos, podendo ser de cobre ou alumínio, capazes de conduzir a eletricidade. Porém, é errado imaginar que a energia elétrica é transmitida nos mesmos níveis de tensão de sua geração. Há alguns fatores que devem ser esclarecidos quanto a esta transmissão de energia entre dois pontos distantes (KAGAN, 2005, p. 8).

Pode-se afirmar que é necessário elevar o nível de tensão para diminuir a corrente a ser transmitida, buscando reduzir perdas e custos com cabos. Conseqüentemente, torna-se indispensável o uso de subestações elevadoras e subestações abaixadoras que utilizam transformadores para as conversões dos níveis de tensão (KAGAN 2005).

Cada linha de transmissão possui um nível de tensão nominal. Encontram-se linhas de até 750 kV, com diversos estudos e protótipos em 1 a 1,2 MV. As linhas de distribuição são usualmente na faixa de 13,8 kV. Para a conversão entre níveis de tensão usam-se transformadores.

Em sistemas de grande porte é usual a interligação redundante entre sistemas, de modo a formar uma rede. O número de interligações aumenta a confiabilidade do sistema, porém aumentando a complexidade. A interligação pode tanto contribuir para o suprimento de energia quanto para a propagação de falhas do sistema. Um problema que ocorra em um ponto da rede pode afundar a tensão nos pontos a sua volta e acelerar os geradores, sendo necessário o desligamento de vários pontos, incluindo centros consumidores, havendo o aparecimento de um colapso de tensão.

Depois de gerada a energia, ela é transportada a longas distâncias em tensões elevadas por razões de custos (69 kV a 750 kV), até os centros de consumidores através de linhas de transmissão compostas por circuitos de cabos de alumínio com alma de aço, dispostos em grandes estruturas de metal ou concreto, por cadeias de isoladores.

As tensões são elevadas através da subestação que corresponde à parte das instalações elétricas que agrupa os equipamentos eletromagnéticos estáticos conhecidos como transformadores. Esses equipamentos têm a função de transferir energia elétrica de um circuito para o outro, variando os valores de corrente e tensão. A subestação pode ser tanto elevadora quanto abaixadora de tensão.

Na Figura 8, mostra-se uma representação do sistema elétrico brasileiro como um todo, compreendendo desde a geração nas usinas, passando pelas linhas de transmissão até chegar aos diversos consumidores finais por meio das linhas de distribuição.

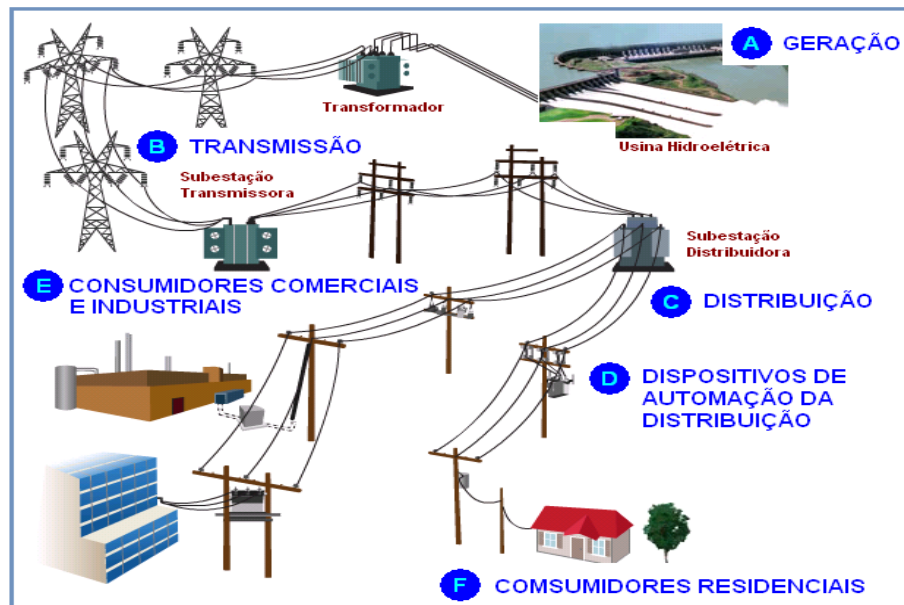


Figura 8 – Representação do Sistema Elétrico Nacional.

Fonte: Rede Inteligente – Rede Inteligente: Por Que, Como, Quando, Onde?, 2011.

## 2.5 Distribuição de Energia Elétrica

A transmissão da energia elétrica é feita em alta tensão. Porém, para distribuí-la é necessário reduzir a tensão. Os sistemas de distribuição são compostos de todos os equipamentos e acessórios instalados a partir das subestações abaixadoras até os pontos de consumo. Normalmente, eles são subdivididos em redes de distribuição primária e secundária.

Na etapa de distribuição, a subestação abaixadora, localizada na área dos centros consumidores, reduz a tensão da linha de transmissão para 13.8 kV (padrão usado nos centros urbanos do Brasil). Esta redução é feita por transformadores instalados nas subestações abaixadoras e em seguida, a energia elétrica é transmitida através das linhas de distribuição que formam a rede primária.

A distribuição da energia elétrica para os consumidores finais, normalmente é feita pela rede secundária que opera em torno de 220 V ou 127 V. A redução de tensão da rede primária para a baixa-tensão da rede secundária é feita pelos transformadores de distribuição.

As redes de distribuição nos centros urbanos podem ser aéreas ou subterrâneas. Nas redes aéreas, os transformadores (Figura 9) são montados em postes ou em suas subestações abrigadas. Já nas redes subterrâneas, eles são montados em câmaras subterrâneas.



*Figura 9 – Transformadores de Distribuição.  
Fonte: Transformadores União – Produtos, 2011.*

Normalmente, consumidores de grande porte como indústrias, fábricas, prédios comerciais e residenciais são alimentados em alta tensão diretamente pela rede de distribuição primária. Já para consumidores de pequeno porte como residências, comércios e pequenos prédios são atendidos em baixa tensão pela rede secundária.

A rede de distribuição primária e secundária, Figura 10, normalmente é trifásica e as ligações aos consumidores são monofásicos ou trifásicos, de acordo com a carga instalada.



*Figura 10 – Rede Primária e Secundária.*

*Fonte: Poli Energia – Regulamentação do Mercado Livre, 2011.*

Usualmente, a operação de um sistema de distribuição (primário e secundário) é da forma radial de modo a não permitir ciclos. Esta configuração visa adequar o custo e requisitos de proteção para a operação da rede. No entanto, os alimentadores primários podem ser conectados aos seus vizinhos através de chaves de interligação, normalmente aberto. Estas chaves têm a função de aumentar a confiabilidade do sistema em caso de falhas. Podem também ser usado para reconfigurações com objetivo de redução de perdas.

Um sistema de distribuição de energia elétrica deve suprir adequadamente as necessidades de energia em todos os pontos de consumo de energia. A qualidade do fornecimento é caracterizada pelo funcionamento de energia a estes pontos de forma contínua com constância na frequência e nível de tensão. O fornecimento de energia com o menor custo possível e baixo impacto ambiental também são indicativos de qualidade.

## 2.6 Subestações de Energia Elétrica

Uma Subestação (SE) é formada por um conjunto de máquinas, aparelhos e circuitos que têm a finalidade de adequar os parâmetros de tensão e corrente das linhas e sistemas as quais está ligada, a níveis econômica e tecnicamente viáveis bem como a de permitir a distribuição de energia nas mesmas.

### 2.6.1 Classificação

As SE podem ser classificadas com base em diversos parâmetros. Entretanto, dentre eles pode-se destacar os que se seguem.

### 2.6.1.1 Quanto à sua Função

#### A. Elevadoras

Localizam-se na saída das usinas e são responsáveis pela distribuição de energia para os pontos consumidores. São instaladas próximas às unidades geradoras de eletricidade a fim de elevar a tensão e diminuir a corrente. Por exemplo, as hidrelétricas geram tensões da ordem de 10 kV que são elevadas cerca de 10 vezes a tensão gerada (138 kV) (BEGGS, 2002).



Figura 11 – SE Elevadora – aumentando de 6,6 kV para 69 kV.  
Fonte: Ceriluz – Usina José Barasuol, 2011.

#### B. Abaixadoras

Localizam-se nas periferias das cidades. São instaladas várias SE abaixadoras de modo a distribuir e transmitir eletricidade para diversos locais consumidores. Elas são responsáveis por rebaixar a tensão e aumentar a corrente. Neste caso, a tensão de transmissão que foi elevada para 138 kV, é reduzida para níveis próximos a 13,8 kV. (BEGGS, 2002, p. 25)



Figura 12 – SE Abaixadora - rebaixando de 69 kV para 34,5 kV.  
Fonte: Eletrobras – Governador Inaugura uma Nova Subestação em Uruçuí, 2011.



### C. De Distribuição

São subestações que servem para abaixar o nível de tensão de modo que seja compatível com a tensão da rede distribuição urbana. Normalmente, elas estão localizadas nos centros das cidades e podem pertencer tanto às concessionárias quanto aos grandes consumidores;



*Figura 13 – SE de Distribuição.*

*Fonte: Energisa Minas Gerais – Ampliação da Subestação Ubá II, 2011.*

### D. Seccionadora

São subestações localizadas ao longo de pontos estratégicos do sistema elétrico de potência. Estas instalações são destinadas, exclusivamente, ao chaveamento e manobras de linhas de transmissão. Assim, operam em um único nível de tensão dispensam-se os equipamentos necessários para elevar ou abaixar a tensão do sistema.



*Figura 14 – SE Seccionadora.*

*Fonte: Sobradinho OnLine – Hidrelétrica de Sobradinho – Bahia, 2011.*

## E. Conversoras

O uso de corrente contínua em um sistema de corrente alternada necessita de subestações conversoras, nas quais a energia entre os dois sistemas é convertida. Também são denominadas de subestação Retificadora e subestação Inversora. Por exemplo a SE Itaipú, Retificadora, Furnas, de 18 kV para 600 kV.

## F. De Utilização

Conhecidas como subestação de consumidor, elas são destinadas ao suprimento de energia elétrica em tensão primária de distribuição para atender grandes unidades consumidoras tais como edifícios residenciais, comerciais ou indústrias. Normalmente, esse tipo de instalação é constituída de três cubículos: medição, proteção e transformação.

### 2.6.1.2 Quanto ao Tipo de Instalação

#### A. Subestação a Céu Aberto

São subestações cujas instalações são montadas a céu aberto, em locais amplos e ao ar livre, cujos equipamentos ficam sujeitos às intempéries (vento, chuva, poluição, etc.).



*Figura 15 – SE em Pátio Aberto.*

*Fonte: WEG, Votorantim Instala Subestação no CE, 2011.*

#### B. Subestação Abrigada

São subestações cujas instalações são montadas abrigadas nos interiores de edificações ou protegidas por cobertas, proporcionando maior segurança contra as intempéries.



*Figura 16 – SE Abrigada.*

*Fonte: Control Engenharia e Automação – Serviços, 2011.*

### C. Subestação Blindada

São subestações construídas em locais abrigados onde os equipamentos estão protegidos e isolados em óleo, ou em gás (ar comprimido ou SF<sub>6</sub>). Como vantagens apresentam espaço reduzido, baixa manutenção, operação segura e estão disponíveis em níveis de tensão de até 500 kV. Em contrapartida, necessita de pessoal com treinamento especializado e as operações de chaveamento/manobra não podem ser visualizadas, apenas supervisionadas por indicadores luminosos.



*Figura 17 - SE Blindada a Gás SF<sub>6</sub>.*

*Fonte: UHE Igarapava – Dados Técnicos da Usina, 2011.*

### 2.6.2 Principais Equipamentos de Uma Subestação

Uma Subestação é formada por um conjunto de máquinas e equipamentos, dentre os quais destacam-se o barramento, os isoladores, os transformadores, reatores em derivação, buchas, transformadores de corrente, transformadores de potencial, para-raios, chaves seccionadoras, disjuntores, capacitores em derivação e capacitores série. A seguir será



descrito cada um deles de forma resumida. Entretanto, maiores informações podem ser obtidas em: MAMEDE FILHO, João. **Manual de Equipamentos Elétricos**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Livro Técnico e Científico, 1994, v.1 & v.2.

### 2.6.2.1 Barramento

A configuração do barramento de uma SE influi de forma decisiva na sua flexibilidade, tanto do ponto de vista da operação quanto da manutenção. De acordo com Mamede Filho, os barramentos podem ser classificados quanto à sua continuidade de duas maneiras distintas:

- **Contínuos:** não existem chaves ou disjuntores particionando o barramento;
- **Seccionados:** o barramento é constituído por duas ou mais seções interligadas por chaves ou disjuntores, onde cada seção pode atender a um ou mais consumidores.

Já quanto ao arranjo físico, os barramentos podem apresentar configurações bastante diversas. Porém, na sua grande maioria, as mais comuns são indicadas a seguir:

- **Simples:** possui uma só barra de AT e/ou BT e são usados em pequenas SE;
- **Principal e Transferência:** este é o tipo de arranjo utilizado na maioria das SE, pois oferece um bom plano de manutenção, principalmente devido à existência do disjuntor de interligação de barras, que pode substituir qualquer outro. Por ter dois barramentos, existe a possibilidade de manutenção de um deles, mantendo-se as cargas em outro, ainda que com limitações. A Figura 18.b apresenta um exemplo deste tipo de barramento.

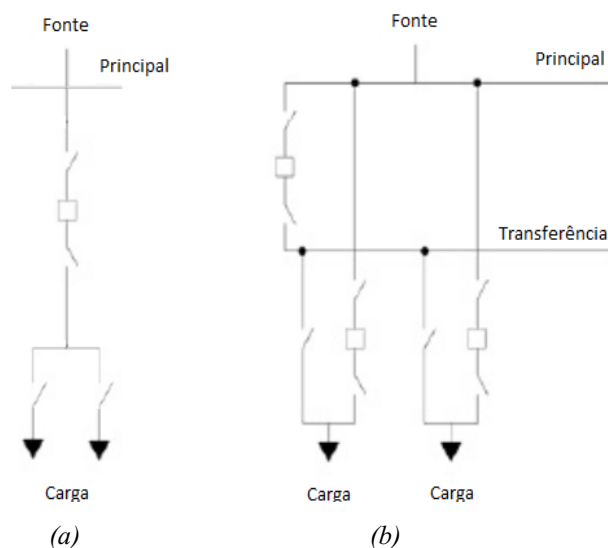


Figura 18 – Tipos de Arranjo para Barramento: (a) simples (b) principal e de transferência (MAMEDE FILHO, 2010).

### 2.6.2.2 Isoladores

Os isoladores são instalados em conjunto denominados de cadeia de isoladores. Juntamente com as ferragens, eles servem para fixar os condutores nas estruturas, mantendo-se o isolamento necessário entre eles. Em geral os isoladores são discos de vidro, porcelana ou poliméricos. As ferragens são dimensionadas para suportarem as cargas mecânicas transmitidas pelos cabos condutores e às solicitações elétricas pelas sobretensões que ocorrem numa linha de transmissão.

### 2.6.2.3 Transformadores

O transformador é um conversor de energia eletromagnética, cuja operação pode ser explicada em termos do comportamento de um circuito magnético excitado por uma corrente alternada. Consiste de duas ou mais bobinas de múltiplas espiras enroladas no mesmo núcleo magnético e isoladas deste. Uma tensão variável aplicada à bobina de entrada (primário) provoca o fluxo de uma corrente variável, criando assim um fluxo magnético variável no núcleo. Devido a este é induzida uma tensão na bobina de saída (ou secundário). Não existe conexão elétrica entre a entrada e a saída do transformador.

Com relação ao número de fases, os transformadores de potência podem ser classificados em monofásicos ou trifásicos. Já quanto ao número de enrolamentos eles se classificam em:

- **Transformadores de dois ou mais enrolamentos:** possuem dois ou mais enrolamentos isolados eletricamente uns dos outros (primário, secundário e terciário);
- **Autotransformadores:** possui apenas um enrolamento, com ramificações para obter outros níveis de tensão.

### 2.6.2.4 Reatores em Derivação

Em sistemas de potência, os reatores em derivação são empregados para controlar as tensões nos barramentos em regime permanente, compensando a capacitância das linhas de transmissão no período de carga leve. Também são usados para a redução das sobrecorrentes nos surtos de manobra. Para atender estas funções, a característica “tensão x corrente” deve ser linear até um determinado valor de tensão. Isto é conseguido com reatores com núcleo de ar ou reatores com núcleo de ferro e entreferros, sendo estes últimos os de maior utilização em sistemas de potência.

Os reatores em derivação podem ser de ligação permanente ou manobrável através de disjuntores. Eles podem ser classificados de acordo com a sua localização, quanto ao número de fases e segundo o tipo de núcleo.

Quanto à sua localização:

- Reatores de linha: instalados diretamente nas linhas de transmissão;
- Reatores de barra: instalados na barra da subestação;
- Reatores de terciário: instalados no terciário de transformadores.

Quanto ao número de fases, podem ser classificados em monofásicos ou trifásicos.

- Em geral, nos sistemas brasileiros, os reatores de alta tensão são formados por bancos trifásicos em estrela aterrada. Os reatores de terciário são trifásicos, em estrela não aterrada. Com relação ao tipo de núcleo, estes podem ser de ar ou de ferro.

### 2.6.2.5 Buchas

As buchas são empregadas para a passagem de um condutor de alta tensão através de uma superfície aterrada, como o tanque de um transformador ou de um reator.

Elas devem ser capazes de transportar as correntes dos equipamentos em regime normal de operação e de sobrecarga, de manter o isolamento, tanto para a tensão nominal quanto para as sobretensões, e de resistir a esforços mecânicos. De acordo com suas funções, classificam-se em: buchas de terminais de linha, buchas de terminais de neutro e buchas de terciário.

### 2.6.2.6 Transformadores de Corrente

Os medidores e relés de proteção do tipo corrente alternada são atuados por correntes e tensões supridas por transformadores de corrente e de potencial. Estes transformadores proporcionam isolamento contra a alta tensão do circuito de potência. Eles são chamados de transformadores para instrumentos e suprem os relés e medidores com quantidades proporcionais aos circuitos de potência, mas suficientemente reduzidas, de forma que estes instrumentos podem ser fabricados relativamente pequenos, do ponto de vista de isolamento (MAMEDE FILHO, 1994).

Os transformadores de corrente, também chamados de TC, têm seu enrolamento primário ligado em série com o circuito de alta tensão. A impedância do transformador de corrente, vista do lado do enrolamento primário é desprezível, comparada com a do sistema

ao qual estará instalado, mesmo que se leve em conta a carga que se coloca em seu secundário. Desta forma, a corrente que circulará no primário dos transformadores de corrente é ditada pelo circuito de potência, chamado de circuito primário.

### 2.6.2.7 Transformadores de Potencial

Normalmente em sistemas acima de 600 V, as medições de tensão não são feitas diretamente da rede primária e sim através de equipamentos denominados transformadores de potencial ou TP. Estes equipamentos têm como finalidades isolar o circuito de baixa tensão (secundário) do circuito de alta tensão (primário) e de reproduzir os efeitos transitórios e de regime permanente aplicados ao circuito de alta-tensão, o mais fielmente possível, no circuito de baixa tensão.

### 2.6.2.8 Para-Raios

Os para-raios são equipamentos responsáveis por funções de grande importância nos sistemas elétricos de potência, contribuindo decisivamente para a sua finalidade, economia e continuidade de operação.

Os equipamentos de uma subestação podem ser solicitados por sobretensões provenientes de ocorrências no sistema ou de descargas atmosféricas. Com o objetivo de impedir que estes equipamentos sejam danificados, é necessária a instalação de dispositivos de proteção contra sobretensões, sendo os para-raios os equipamentos mais adequados para esta finalidade. Atuam como limitadores de tensão, impedindo que valores acima de um determinado nível pré-estabelecido possam alcançar os equipamentos para os quais fornecem proteção.

De uma forma geral, pode-se afirmar que se trata de um equipamento bastante simples do ponto de vista construtivo. Um para-raios é constituído de um elemento resistivo não-linear associado ou não a um centelhador em série. Em operação normal, o para-raios é semelhante a um circuito aberto. Quando ocorre uma sobretensão, o centelhador dispara e uma corrente circula pelo resistor não-linear impedindo que a tensão nos seus terminais ultrapasse um determinado valor.

É possível a eliminação do centelhador, utilizando-se somente o resistor não-linear se o material não-linear apresentar uma característica suficientemente adequada para esta finalidade. Os elementos utilizados no componente não-linear são o carboneto de silício (SiC) e o óxido de zinco (ZnO).

### 2.6.2.9 Chaves Seccionadoras

As chaves desempenham diversas funções nas subestações. A mais comum é a de seccionamento de circuitos por necessidade operativa ou por necessidade de isolar componentes do sistema (equipamentos ou linhas) para realizar manutenção nos mesmos. Neste último caso, as chaves abertas, que isolam o componente em manutenção, devem ter uma suportabilidade entre terminais às solicitações dielétricas de forma que o pessoal de campo possa executar o serviço de manutenção em condições adequadas de segurança.

### 2.6.2.10 Disjuntores

O disjuntor é um dispositivo que pode interromper um circuito mesmo em condições anormais de tensão ou corrente. É um equipamento complexo, sendo ele a alma da proteção dos sistemas elétricos, pois sobre o mesmo atua todo o esquema de relés de proteção assegurando assim a continuidade do fornecimento de energia.

A principal função dos disjuntores é a interrupção de correntes de falta tão rapidamente quanto possível, de forma a limitar a um mínimo os possíveis danos aos equipamentos pelos curtos-circuitos. Além das correntes de falta, o disjuntor deve ser capaz de interromper correntes normais de carga, correntes de magnetização de transformadores e reatores e as correntes capacitivas de bancos de capacitores e linhas em vazio.

O disjuntor deve ser capaz também de fechar circuitos elétricos, não só durante condições normais de carga, como na presença de curtos-circuitos. Algumas falhas podem ser temporárias, como por exemplo, um galho de árvore que cai sobre a linha de distribuição, fecha curto-circuito e cai no chão retirando o curto e por este motivo são feitas algumas tentativas de religar o sistema, caso o defeito persista é feito o desligamento definitivamente.

As funções mais frequentemente desempenhadas pelos disjuntores são, em primeiro lugar, a condução de correntes de carga na posição fechada, seguindo-se o isolamento entre duas partes de um sistema elétrico. Em geral, os disjuntores são solicitados a mudar de uma condição para outra ocasionalmente e a desempenhar a função de abrir faltas ou fechar circuitos sob falta apenas muito raramente.

Os disjuntores devem ser mecanicamente capazes de abrir correntes de 20 a 50 vezes a sua corrente nominal, em tempos tão curtos quanto 2 ciclos (aproximadamente 33,3 ms), após terem permanecido na posição fechada por vários meses. Esta exigência impõe cuidados especiais no projeto do equipamento, no sentido de reduzir a um mínimo as massas das partes móveis e de garantir a mobilidade das válvulas, ligações mecânicas, etc.

## 2.7 Subestação Abaixadora de Tensão para Consumidor

Para a energia ser útil o sistema de transmissão é escalonado para baixo e transforma-se no sistema de distribuição. Isto pode acontecer em várias fases. O lugar onde ocorre a conversão de "transmissão" para "distribuição" é em uma Subestação Abaixadora ou de Subtransmissão que tem como funções típicas:

- Escalonar as tensões de transmissão (dezenas ou centenas de milhares de volts) até tensões de distribuição (cerca de 13.800 volts) através de transformadores;
- Distribuir a energia em múltiplas direções por meio de um "barramento";
- Manobrar e chavear os circuitos por meio de disjuntores e seccionadoras de forma que a subestação pode ser desconectada do sistema de transmissão ou desconectar linhas de distribuição separadas da subestação quando necessário.

Costumam-se instalar várias SE abaixadoras, para que se possa distribuir a eletricidade para diversos locais consumidores. Elas são responsáveis por rebaixar o nível de tensão e aumentar a corrente elétrica. Neste caso, a tensão de transmissão que foi aumentada na subestação elevadora, é reduzida para níveis próximos a 13,8 kV (BEGGS, 2002, p. 25).

No caso de grandes consumidores, torna-se mais conveniente para a concessionária de energia elétrica abastecê-los em tensão primária. Até uma demanda máxima contratada de 2500 kW, a legislação estabelece que a concessionária deve suprir os seus consumidores em média tensão (13,8 kV). A partir desse valor, o suprimento deve ser em alta tensão (69 kV, 138 kV ou 230 kV) de acordo com o sistema disponível no local do empreendimento, o valor da carga a ser suprida e o cálculo econômico, envolvendo o custo da rede de alimentação externa, o custo da subestação e o custo da tarifa média da energia a ser consumida.

Até uma demanda de 60 kVA, é comum realizar a alimentação instalando-se um transformador em poste ou cabine subterrânea próxima à entrada do cabo alimentador. No entanto, cada concessionária estabelece a carga instalada acima da qual se exige do consumidor a montagem de uma instalação capaz de realizar o fornecimento em tensão primária (13,8 kV). Neste caso, essas instalações recebem a denominação de Subestação Abaixadora de Tensão para Consumidor ou simplesmente, Subestação de Consumidor.

Normalmente, esse tipo de subestação é aplicada aos consumidores industriais cuja demanda máxima não supere 2500 kW. Ela pode ser localizada num único ponto da indústria ou ser distribuída em vários pontos aos centros de carga e sua capacidade nominal depende do valor das cargas elétricas instaladas no local.

Existe uma grande quantidade de tipos construtivos de subestações de média tensão. A escolha do tipo da subestação a ser adotada depende de muitos fatores, sendo os mais significativos os que se seguem:

- Meio ambiente agressivo: poluição industrial, atmosfera salina, etc.;
- Proximidade da carga: motores de grande porte, setores de produção com cargas concentradas;
- Dimensões da área reservada para a área da subestação.

### 2.7.1 Partes Componentes de uma Subestação de Consumidor

Segundo Mamede Filho, as subestações de consumidor, exceto aquelas destinadas ao atendimento a edifícios de múltiplas unidades de consumo, apresentam os seguintes componentes:

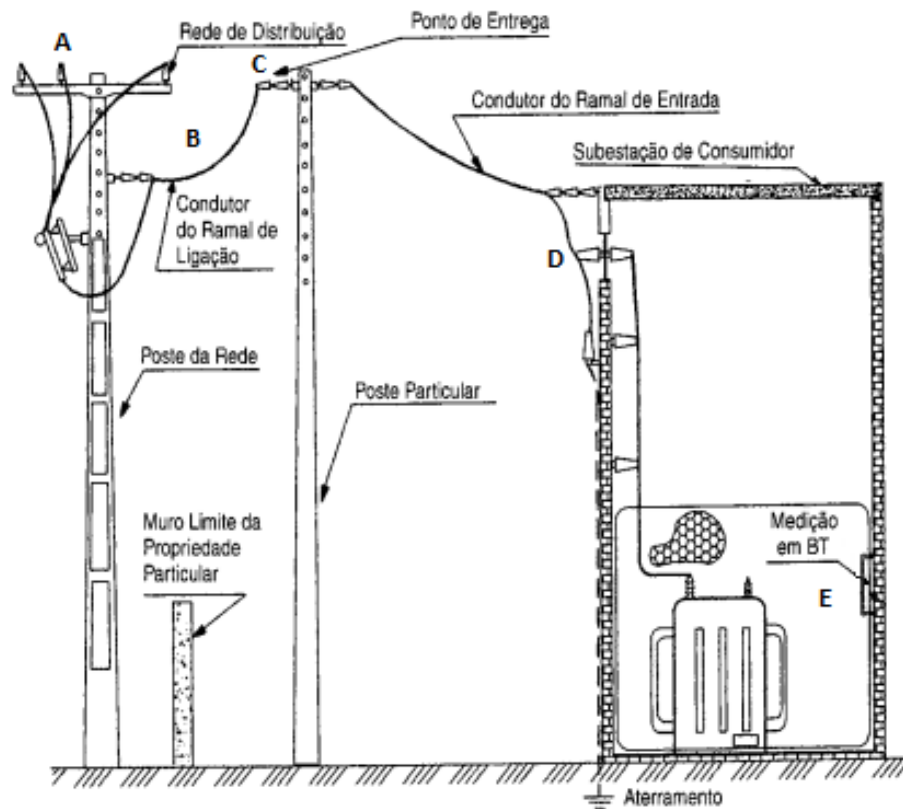


Figura 19 – Elementos da Entrada de Serviço para Consumidor em Alta Tensão (MAMEDE FILHO, 2010).

#### 2.7.1.1 Entrada de Serviço

A entrada de serviço compreende o trecho do circuito desde o ponto de derivação da rede de distribuição pública até os terminais da medição, situando-se entre os pontos *A* e *E* na Figura 19.

## A. Ponto de Ligação

É aquele de onde deriva o ramal de ligação, correspondendo ao trecho entre os pontos *A* e *B* conforme é indicado na Figura 19.

## B. Ramal de Ligação

É o trecho do circuito aéreo compreendido entre o ponto de ligação e o ponto de entrega, situado entre os pontos *B* e *C* da Figura 19. É importante frisar que o ramal de ligação, por definição, é o trecho do circuito aéreo, não devendo ser confundido com o trecho de circuito subterrâneo (caso exista), que é denominado ramal de entrada subterrâneo. Geralmente, este conceito é válido para todas as concessionárias de serviço público de eletricidade, exceto para aquelas que exploram redes de distribuição subterrâneas (MAMEDE FILHO, 2010).

## C. Ponto de Entrega

É aquele no qual a concessionária se obriga a fornecer a energia elétrica, sendo responsável, tecnicamente, pela execução dos serviços de construção, operação e manutenção, correspondendo ao ponto *C* na Figura 19. Não deve ser confundido, entretanto, com o ponto de medição. Dependendo do tipo de subestação, o ponto de entrega pode ser:

- **Subestação com entrada aérea:** o ponto de entrega se localiza nos limites da propriedade particular com o alinhamento da via pública, quando a fachada do prédio da unidade consumidora é construída no referido limite do passeio. Quando o prédio da unidade consumidora é afastado em relação à via pública, o ponto de entrega se localiza no primeiro ponto de fixação do ramal de ligação, podendo ser na própria fachada do prédio ou em estrutura própria.
- **Subestação com entrada subterrânea:** o ponto de entrega deve ser localizado em domínio particular. Porém, no caso de unidades consumidoras cuja fachada do prédio se limita com a via pública, o ponto de entrega poderá situar-se no poste fixado no passeio. Neste caso os terminais do lado externo devem se instalados a uma altura de 5,5 m. Deve ser empregado cabo com isolamento correspondente à tensão de serviço, protegido por eletroduto de aço no trecho exposto, até a altura mínima de 3 m acima do nível do solo. As terminações devem ser do tipo apropriado e ligadas à terra.



### 2.7.1.2 Ramal de Entrada

É o conjunto de condutores com os respectivos materiais necessários à sua fixação e interligação elétrica do ponto de entrega aos terminais de medição, correspondendo ao trecho entre os pontos *C* e *E* conforme indicado na Figura 19. A queda de tensão no ramal de entrada deve ser de no máximo 5 % e ele pode ser definido em função do tipo de subestação.

- **Ramal de entrada aéreo:** é aquele constituído de condutores nus suspensos em estruturas para instalações aéreas.
- **Ramal de entrada subterrânea:** é aquele constituído de condutores isolados instalados dentro de um duto ou diretamente enterrados no solo.

### 2.7.2 Tipos de Subestação de Consumidor

Dependendo das condições técnicas e econômicas do projeto, adota-se um ou mais tipos de subestação para suprimento da carga da instalação. De forma geral, as subestações podem ser dos tipos abrigadas e ao tempo. A seguir serão relacionadas algumas prescrições básicas a serem adotadas no projeto e construção de subestações de transformação.

#### 2.7.2.1 Subestação de Instalação Interior

É aquela em que os equipamentos e aparelhos são instalados em dependências abrigadas das intempéries. Para essa maneira de instalação, as subestações podem ser construídas em alvenaria ou em invólucro metálico (Mamede Filho, 2010).

##### 2.7.2.1.1. Subestação em Alvenaria

É o tipo mais comum de subestação industrial. Apresenta um custo reduzido e é de fácil montagem e manutenção. No entanto, requer uma área construída relativamente grande. A sua aplicação é mais notável em instalações industriais que tenham espaços disponíveis próximos aos centros de carga. De acordo com o tipo do ramal de entrada, as subestações em alvenaria podem ser classificadas da seguinte forma:

- **Subestação Alimentada por Ramal de Entrada Subterrânea:** Quando montadas no nível do solo, as subestações alimentadas por ramal de entrada subterrâneo são construídas, normalmente, com altura mínima definida pela

distância entre partes vivas e entre partes vivas e a terra, pela altura dos equipamentos e pela altura de instalação das chaves, barramento e isoladores;

- **Subestação Alimentada por Ramal de Entrada Aéreo:** Quando montadas no nível do solo, as subestações alimentadas por ramal de entrada aéreo são construídas com altura mínima de 6 m ou superior. A preferência de construção recai, em geral, nas subestações alimentadas por ramal de entrada subterrâneo, por ser mais compacta. No entanto, quando a instalação já dispõe de galpão com altura elevada, aproveita-se a construção existente e se projeta a subestação com o ramal de entrada aéreo.

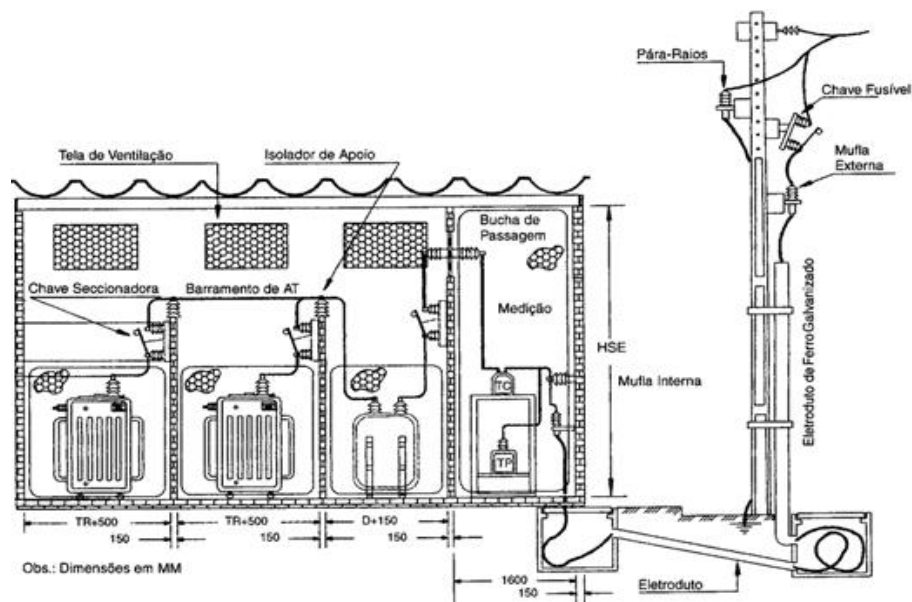


Figura 20 - SE com Ramal de Entrada Subterrânea (MAMEDE FILHO, 2010).

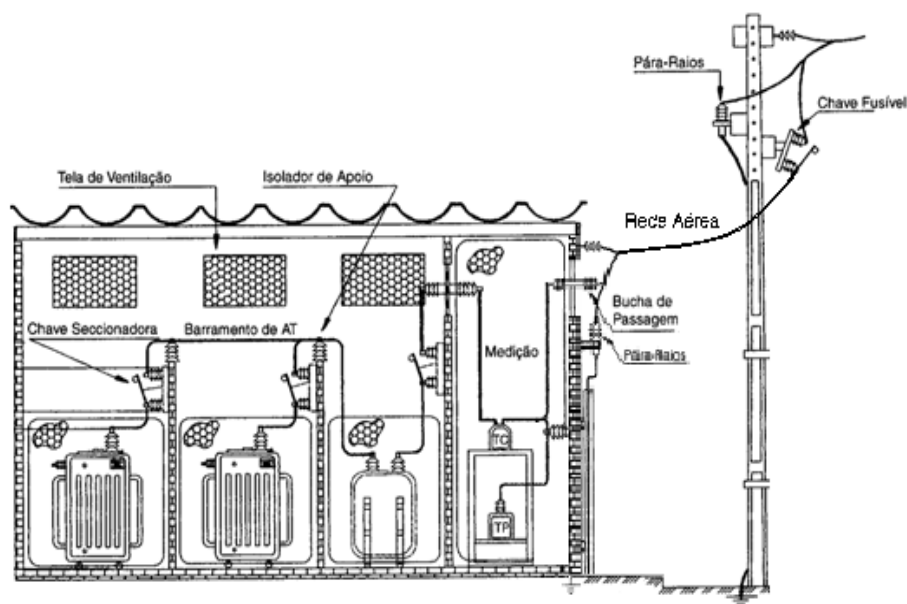


Figura 21 - SE com Ramal de Entrada Aéreo (MAMEDE FILHO, 2010).

As subestações em alvenaria são divididas em compartimentos denominados postos ou cabines, cada um deles desempenhando uma função bem definida.

## A. Posto de Medição Primária

É aquele destinado à localização dos equipamentos auxiliares da medição, tais como transformadores de corrente e de potencial. Esse posto é de uso exclusivo da concessionária, sendo o seu acesso devidamente lacrado, de modo a não permitir a entrada de pessoas estranhas à companhia fornecedora. A sua construção é obrigatória nos seguintes casos:

- Quando a potência de transformação for superior a 225 kVA;
- Quando existir mais de um transformador na subestação;
- Quando a tensão secundária do transformador for diferente da tensão padronizada pela concessionária.

Quando a capacidade de transformação for igual ou inferior a 225 kVA, caso de pequenas indústrias, a medição é feita em tensão secundária, sendo dispensada a construção do posto de medição. Porém, se há perspectiva de crescimento da carga, é conveniente prever o local reservado ao posto de medição, evitando futuros transtornos.

A maneira de instalar os equipamentos auxiliares de medição varia para cada concessionária, que se obriga apenas a fornecer gratuitamente os transformadores de corrente, de potência e medidores. As normas de fornecimento dessas concessionárias geralmente estabelecem os padrões dos suportes necessários à fixação desses equipamentos.

## B. Posto de Proteção Primária

É destinado à instalação de chaves seccionadoras, fusíveis ou disjuntores responsáveis pela proteção geral e seccionamento da instalação. A NBR 14039 estabelece que, para subestações com capacidade de transformação trifásica superior a 300 kVA, a proteção geral na média tensão deve ser realizada por meio de um disjuntor acionado através de relés secundários com as funções 50 e 51, proteções de fase e neutro, 64 /6r 0e56 de chave seccionadora e fusível; neste caso, adicionalmente, a proteção geral, na baixa tensão, deve ser realizada através de disjuntor.

## C. Posto de Transformação

É aquele destinado à instalação dos transformadores de força, podendo conter ou não os equipamentos de proteção individual. A NBR 14039 estabelece que nas instalações de

transformadores de 500 kVA ou maiores, em líquido isolante inflamável, devem ser observadas as seguintes precauções:

- Construções de barreiras incombustíveis entre os transformadores e os demais aparelhos;
- Construção de dispositivos adequados para drenar ou conter o líquido proveniente de um eventual rompimento do tanque.

Esses dispositivos podem ser construídos de diferentes formas, porém todas elas têm como objetivo fundamental a limitação da quantidade de óleo a ser queimado, no caso de incêndio eventual. Depois da descarga do líquido do transformador e da coleta do mesmo através de um recipiente, o óleo pode ser reaproveitado após tratamento.

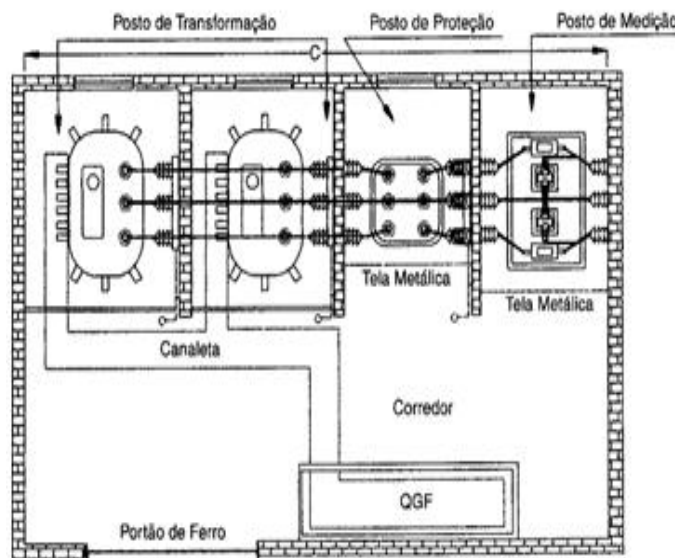


Figura 22 – Divisão da SE em Cabines ou Postos (MAMEDE FILHO, 2010).

Para que possa funcionar adequadamente, um sistema coletor de óleo deve possuir um sistema com barreiras corta-chamas, um recipiente armazenar o óleo e um tanque acumulador.

O recipiente de coleta de óleo pode ser construído com uma área plana igual à seção transversal do transformador, incluindo os radiadores. Também pode ser construído com a área plana de dimensões reduzidas, provendo-se, no entanto, um declive mínimo do piso de 10 % no sentido do recipiente, a fim de coletar o óleo que vaze pelos radiadores.

O tanque acumulador deve ter capacidade de armazenar todo o volume de óleo contido no transformador. Esta capacidade útil de armazenamento está referida no nível da extremidade do tubo de descarga no tanque. Para potência nominal ou superior a 1500 kVA e inferior a 3000 kVA, a capacidade útil mínima do tanque acumulador.

Quando existirem vários transformadores, pode-se construir apenas um tanque acumulador ligado, através de sistemas corta-chamas, aos recipientes de coleta de óleo. Neste caso, a capacidade útil mínima do tanque acumulador deve ser igual à capacidade volumétrica do maior transformador do conjunto considerado. Uma solução alternativa é a construção de um sistema coletor de óleo dotado de sifão corta-chama.

### 2.7.2.1.2 Subestação Modular Metálica

Também chamada de subestação em invólucro metálico, é destinada à indústria ou a outras edificações onde, em geral, o espaço disponível é reduzido. Pode ser construída para uso interno ou externo (MAMEDE FILHO, 2010).

As subestações modulares metálicas podem ser classificadas, segundo a sua construção, em quatro tipos básicos:

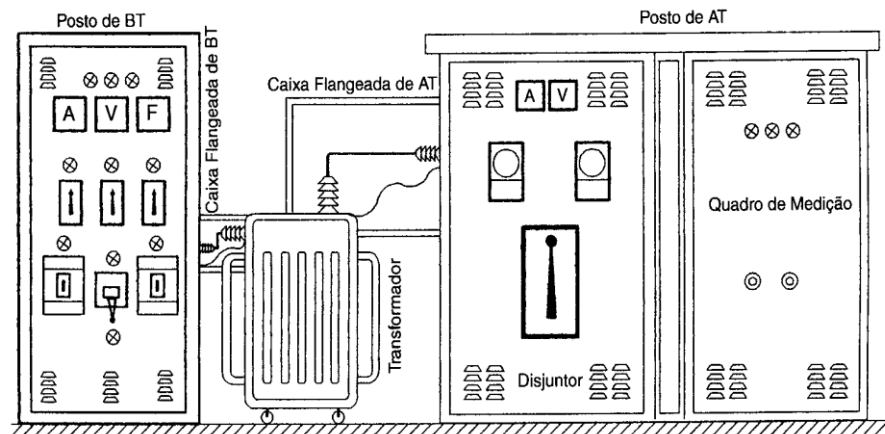


Figura 23 - SE Modular Metálica (MAMEDE FILHO, 2010).

#### A. Subestação com Transformador com Flanges Laterais

Este é um dos tipos mais utilizados em instalações industriais, principalmente quando se deseja prover um determinado setor de produção de grandes dimensões e um elevado número de máquinas de um ponto de suprimento localizado no centro de carga. É uma subestação compacta que ocupa uma área reduzida, podendo ter grau de proteção igual ou superior a IP 3X (índice de proteção que impede o acesso de ferramentas às partes perigosas do equipamento), oferecendo assim segurança aos operadores e aos operários em geral.

É constituída de transformador de construção especial, onde as buchas, primária e secundária, são fixadas lateralmente à carcaça e protegidas por um flange de seção retangular que se acopla aos módulos metálicos primário e secundário. Os módulos metálicos poderão ser complementados acoplando-se novos módulos aos existentes, caso haja necessidade de aumento do número de saídas de ramais primários e secundários.

## B. Subestação com Transformador com Flanges Superior e Lateral

É constituída de um transformador de construção convencional, acoplado aos módulos metálicos primário e secundário, através de duas caixas flangeadas, sendo uma fixada na parte superior do transformador e a outra lateralmente. Pode ter grau de proteção igual ou superior a IP 3X (índice de proteção que impede o acesso de ferramentas às partes perigosas do equipamento) e tem a mesma aplicação da subestação de flanges laterais.

## C. Subestação com Transformador Enclausurado em Posto Metálico em Tela Armada

Essa subestação é constituída por transformadores instalados internamente a um invólucro metálico cuja cobertura é feita de chapa de aço, em geral 2 mm (14 USSG). Esse invólucro é lateralmente protegido por uma tela armada, com malha de 13 mm, ou menor, e está acoplada a módulos metálicos primário e secundário.

Dado o seu baixo grau de proteção, principalmente o dos módulos de transformação e proteção, que geralmente são fabricados com grau de proteção IP X1 (índice de proteção que protege o equipamento contra respingos na vertical), essas subestações não devem ser utilizadas em ambientes poluídos, notadamente de materiais de fácil combustão, ou em áreas onde haja a presença de pessoas não habilitadas ao serviço de eletricidade. Há fortes restrições quanto à sua instalação ao tempo. Os transformadores e os demais equipamentos são de fabricação convencional, tornando o seu custo bastante reduzido.

## D. Subestação com Transformador Enclausurado em Posto Metálico em Chapa de Aço

Esse tipo de subestação é composto de transformadores instalados internamente a invólucros metálicos, constituídos totalmente em chapa de aço de espessura adequada, geralmente de 2 mm (14 USSG), e providos de pequenas aberturas para ventilação. Os postos metálicos são acoplados lateralmente através de parafusos e constituem um módulo compacto cujo grau de proteção depende da solicitação do interessado, sendo função do ambiente onde o mesmo for operar.

Os transformadores, chaves e demais acessórios são de fabricação convencional. Relativamente aos tipos de subestações modulares metálicas relacionadas anteriormente, existem outros modelos de fabricação comercial, porém todos eles de concepção derivada de um dos quatro tipos aqui apresentados.

## 2.7.2.2 Subestação de Instalação Exterior

É aquela em que os equipamentos são instalados ao tempo e, normalmente, os aparelhos ficam abrigados (MAMEDE FILHO, 2010).

### 2.7.2.3.1. Classificação

As subestações de instalação exterior podem ser classificadas segundo a montagem dos equipamentos em dois tipos básicos:

#### A. Subestação Aérea em Plano Elevado

São assim consideradas as subestações cujo transformador está fixado em torre ou plataforma que, geralmente, são fabricadas em concreto armado, aço ou madeira. Normalmente, os equipamentos e todas as partes vivas são colocados a uma altura tal que não estejam ao alcance de pessoas não autorizadas.

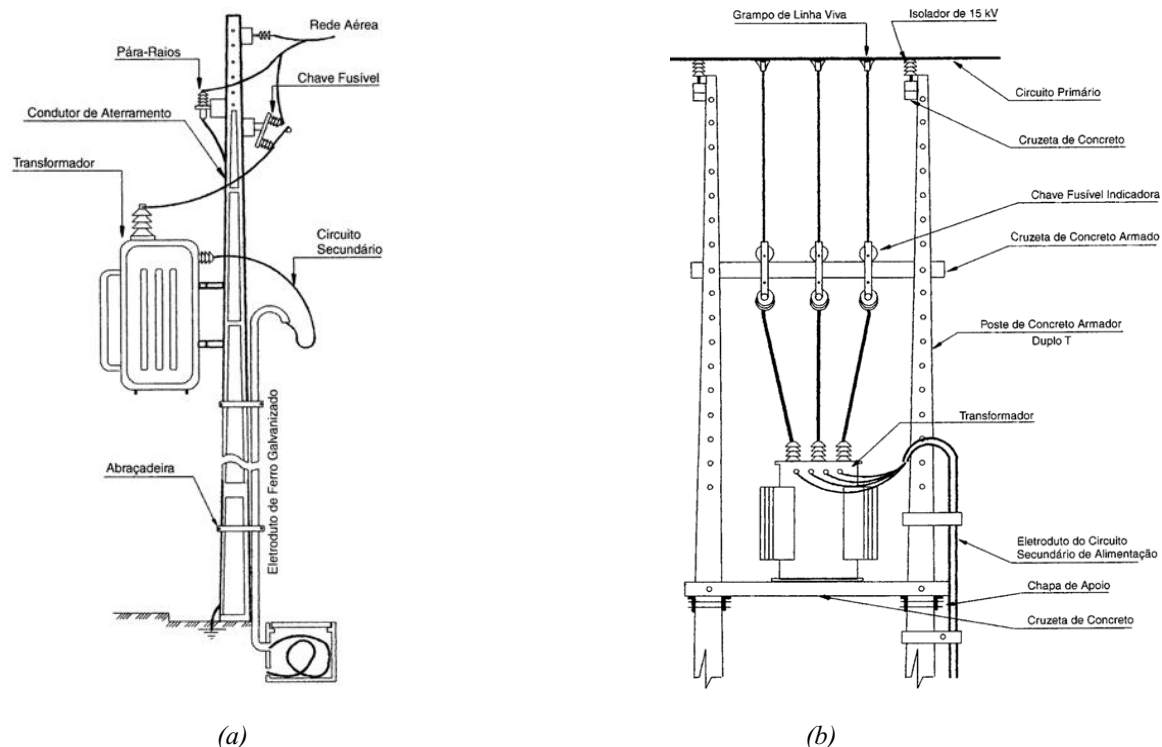


Figura 24 – Subestação Aérea: (a) em um só poste e (b) em dois postes (MAMEDE FILHO, 2010).

Todas as partes vivas não protegidas devem estar situadas, no mínimo, a 5 m acima do piso. Quando isso não for possível, pode-se tolerar o limite de 3,5 m, desde que o local seja provido de um sistema de proteção de tela metálica ou equivalente, devidamente ligado à terra, com as seguintes características:

- Afastamento mínimo de 30 cm das partes vivas;
- Malha de 50 mm de abertura, no máximo, fabricadas com fios de aço zincado ou material equivalente, de 3 mm de diâmetro, no mínimo.

Os equipamentos podem ser instalados da seguinte forma:

- Em postes ou torres de aço, concreto ou madeira adequada;
- Em plataformas elevadas sobre estrutura de concreto, aço ou madeira tratada;
- Em áreas sobre cobertura de edifícios, inacessíveis a pessoas não qualificadas ou providas do necessário sistema de proteção externa. Em nenhum equipamento, neste caso, não deve ser empregado líquido isolante inflamável.

As normas de algumas concessionárias limitam em 150 kVA a potência do transformador instalado em um só poste, ficando a instalação em dois postes para transformadores de potência igual ou superior a 225 kVA.

## B. Subestação de instalação no Nível do Solo

São aquelas em que os equipamentos, tais como disjuntores e transformadores, são instalados em bases de concreto construídas ao nível do solo. Os demais equipamentos, tais como para-raios, chaves fusíveis e seccionadoras, são montados em estruturas aéreas.

Em áreas urbanas, normalmente este tipo de subestação é de custo elevado. Isso se deve ao fato de que os equipamentos serem apropriados para instalação ao tempo e devido ao preço do próprio terreno. Porém, em áreas rurais esse tipo de subestação apresenta vantagens econômicas. Ao nível de tensão de 13,5 kV tem-se mostrado pequena a utilização desse tipo de subestação (MAMEDE FILHO, 2010, p. 434).

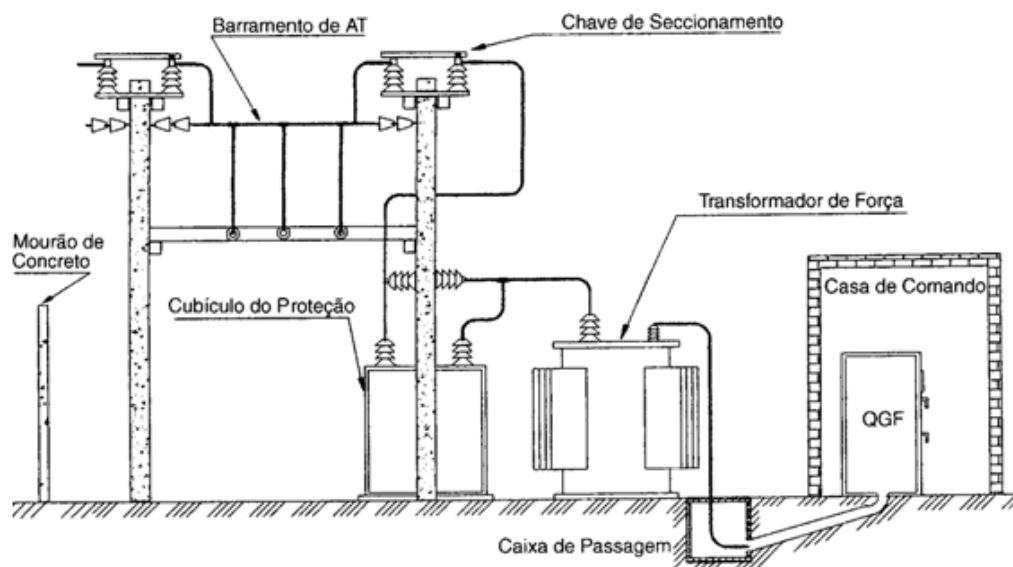


Figura 25 – Subestação Instalada ao Nível do Solo (MAMEDE FILHO, 2010).



O fosso coletor de óleo do transformador de força é geralmente construído sob o equipamento e deve conter, pelo menos, 1,25 vezes a capacidade de óleo contido no mesmo. A base dos aparelhos contendo líquidos isolantes inflamáveis deve ser dotada de revestimento do tipo autoextintor de incêndio, tais como pedra britada ou sistema de drenagem adequada.

O fundo do fosso do coletor do óleo do transformador deve ser recoberto por 20 cm de brita e possuir dispositivo do tipo autoextintor de incêndio, tal como pedra britada ou sistema de drenagem adequada.

A subestação deve ser protegida externamente com tela metálica, arame farpado ou mureta de alvenaria, a fim de evitar a aproximação de pessoas ou animais. Quando usada uma tela de proteção externa, esta deve ter malha de abertura máxima de 50 mm e ser constituída de aço zincado de diâmetro 3 mm ou material com resistência mecânica equivalente. Quando for usado arame farpado, o espaçamento entre os fios não deve exceder 15 cm.

Deve-se fixar pelo menos um aviso indicando o perigo que a instalação pode causar. Esse aviso deve ser colocado em local visível e externamente à subestação.

Quando não houver mureta de base em alvenaria, a parte inferior da tela não deve ficar a mais de 10 cm do solo.

O acesso de pessoas qualificadas deve ser feito através de portão, abrindo para fora, com dimensões mínimas de 0,80 x 2,10 m. A porta deve ser adequada também à entrada de materiais no interior da subestação. Deve-se prever a construção de um sistema adequado de escoamento de águas pluviais.

Os suportes podem ser construídos de vigas e postes de concreto armado ou perfis de aço galvanizado. Geralmente, os aparelhos são instalados em quadros metálicos abrigados em construção de alvenaria. Também podem ser instalados em quadros metálicos apropriados para operação ao tempo com grau de proteção IP 54 (índice de proteção do equipamento contra poeira e projeção de água em todas as direções).

## CAPÍTULO 3 – DETALHAMENTO DE UMA SUBESTAÇÃO ABAIXADORA DE TENSÃO PARA CONSUMIDOR

A elaboração do projeto de uma subestação para consumidores industriais deve ser precedida do conhecimento dos dados relativos às condições de suprimento e das características funcionais da indústria. Também se faz necessário o conhecimento de um conjunto de plantas da indústria que contemplem a planta de situação, a planta baixa do prédio, o arranjo físico das máquinas e as plantas de detalhes.

Todo projeto precisa ser elaborado com base em documentos normativos. Para tanto, deve-se atentar para as normas da ABNT e seguir também as normas particulares das concessionárias responsáveis pelo fornecimento de energia elétrica. De acordo com as normas da Energisa, concessionária exclusiva da Paraíba, o consumidor deverá apresentar um projeto elétrico que atenda a uma série de exigências visando a aprovação da futura subestação. Sendo assim, o projeto elétrico a ser apresentado deve contemplar alguns itens básicos dentre os quais se destacam:

- Planta de situação localizando o ramal de ligação, o ramal de entrada, o ramal de saída, o ponto de medição e a subestação na área construída;
- Desenho completo da subestação mostrando partes de alta e baixa tensão, os equipamentos instalados, os condutores e demais acessórios utilizados;
- Diagrama unifilar da instalação indicando a ligação dos equipamentos e a bitola dos condutores;
- Memorial descritivo e de cálculo fazendo uma listagem da carga instalada, cálculo de demanda e ajuste da proteção de modo a detalhar melhor o projeto;
- Lista de materiais, equipamentos e dispositivos a serem usados na subestação.

### 3.1 Memorial Descritivo

#### 3.1.1 Assunto

Projeto de instalações elétricas de uma subestação abaixadora de tensão do tipo abrigada para o consumidor de 500 + 300 kVA.

### 3.1.2 Finalidade

Este projeto visa atender às adequações das instalações elétricas da fábrica de rações da GUARAVES – GUARABIRA AVES LTDA, que está localizada no município paraibano de Guarabira. Inicialmente, a fábrica destina-se à produção de ração para camarão. Entretanto, faz-se necessário ampliar as suas instalações de modo que possa fabricar ração para peixe.

### 3.1.3 Condições Gerais

Como a fábrica encontra-se em funcionamento, o dimensionamento da potência da subestação levou em conta apenas o acréscimo de cargas motrizes proveniente do uso de motores, desconsiderando-se as cargas referentes a iluminação e tomadas já existentes.

O projeto foi elaborado de acordo com normas da concessionária local e em conformidade com a ABNT. Neste caso, utilizou-se a Norma de Distribuição Unificada número 02 da Energisa – PB que trata sobre o fornecimento de energia elétrica em tensão primária. Portanto, o projeto da instalação contempla os seguintes itens abaixo:

- Planta de situação localizando os vários ramais e as edificações referentes à subestação dentro dos limites da propriedade;
- Diagrama unifilar da instalação indicando equipamentos e condutores usados;
- Plantas e elevações dos cubículos de medição e proteção abrigados;
- Plantas e elevações dos cubículos de transformação;
- Plantas e detalhes do sistema coletor de óleo;
- Planta com detalhes construtivos diversos.

### 3.1.4 Ramal de Ligação

Será usada estrutura aérea em cabo de alumínio nu, 4 AWG (ver tabela 1 da NDU-02), derivando da rede da concessionária. No ponto de ligação será instalada uma cruzeta em concreto do tipo N3-2 permitindo a redução de bitola. O ramal de ligação será construído conforme a prancha 1/6 e atenderá aos requisitos estabelecidos nos itens 7.1 e 7.2 da NDU-02.

Para efeito de proteção e manobra, serão instalados junto ao poste da concessionária os seguintes equipamentos:

- 03 (três) chaves faca unipolar, classe 15 kV, 400 A (ver Tabela 12 da NDU-02), substituindo as chaves fusível existentes;

- 03 (três) para-raios polimérico de óxido de zinco, classe 15 kV, conectados por um cabo de cobre nu de 50 mm<sup>2</sup> à 03 (três) hastes de aterramento cobreadas de 5/8" x 2,40 m dispostas em linha e distantes 3 m uma da outra.

### 3.1.5 Cubículos de Medição e Proteção

O item 10.5 da NDU-02, estabelece que em subestações com capacidade acima de 300 kVA a medição deve ser realizada em média tensão e os equipamentos deverão ser abrigados em cubículo próprio numa edificação exclusiva. Além disso, dispõe que o cubículo de proteção deve ficar ao lado do cubículo de transformação.

A mesma norma estabelece que o disjuntor geral de proteção deve ficar, no máximo, a 50 m do último poste da concessionária. Porém, o posto de transformação está a cerca de 160 m do alimentador. Portanto, optou-se por construir o cubículo de proteção junto ao de medição numa edificação separada localizada próxima ao ponto de entrega (ver prancha 1/6). Estes cubículos serão construídos em alvenaria conforme a prancha 3/6 em anexo.

#### A. Cubículo de Medição

A medição será feita em média tensão e o consumidor contratará junto à concessionária local a tarifa em regime horossazonal verde. Na parte interna do cubículo deve haver um suporte metálico (ver prancha 6/6) para instalação dos seguintes equipamentos:

- 03 (três) transformadores de potencial, relação  $13.800/\sqrt{3} - 115$  V (70:1), classe 15 kV (ver Tabela 10 da NDU-02), uso interno, ligação fase e neutro;
- 03 (três) transformadores de corrente, relação 250 – 5 A (50:1), classe de isolamento 15 kV, para uso interno (ver Tabela 9 da NDU-02).

Na parte externa, será instalada uma caixa de medição, tipo CM-4 (ver prancha 6/6), ligada ao cubículo através de eletroduto aparente em aço galvanizado ( $\varnothing$  32 mm<sup>2</sup>), contendo:

- 01 (um) medidor de energia ativa (kWh) e de demanda, trifásico, 120 V, a três elementos;
- 01 (um) medidor de energia reativa (kvarh) equipado com catraca, trifásico, 120 V, a três elementos;
- 01 (uma) chave de aferição.

O cubículo deverá ser isolado da área de circulação por meio de tela metálica em cantoneira *L* (1.1/2" x 1.1/2" x 3/16") e arame galvanizado 12 BWG, com malha de 10 mm, até a altura do teto sendo provida de porta para acesso (0,6 x 2,0 m) e dispositivo de selagem.

## B. Cubículo de Proteção

A proteção geral será em média tensão realizada exclusivamente por meio de disjuntor acionado por relé secundário. O cubículo será construído conforme indicado na prancha 4/6, sendo isolado da área de circulação através de tela metálica em cantoneira **L** (1.1/2" x 1.1/2" x 3/16") e arame galvanizado 12 BWG, com malha de 10 mm, até a altura de 2,0 m provida de porta para acesso (0,6 x 2,0 m). Na parte interior do cubículo serão instalados:

- 01 (um) disjuntor tripolar a pequeno volume de óleo (PVO), classe 15 kV, capacidade de interrupção de 350 MVA, uso interno, abertura automática, comando frontal, operação manual, tipo PL15B, fabricado pela Beghim;
- 01 (um) transformador de potencial, relação 13,8 kV/ 220 V, classe 15 kV, 1000 VA para serviço de iluminação;
- 01(uma) chave seccionadora tripolar, classe 15 kV, 400 A, acionamento simultâneo e operação à distância.

Na parte externa, será instalada uma caixa metálica conectada à parte interna por meio de eletroduto aparente em aço galvanizado ( $\varnothing$  32 mm<sup>2</sup>), dentro da qual será instalado 01 (um) relé de sobrecorrente, com fonte capacitiva na alimentação auxiliar, modelo URPE-7104, corrente nominal de 1 A, fabricado pela PEXTRON, com funções 50/ 50N, 51/ 51N e 51GS.

### 3.1.6 Ramal de Entrada

Serão utilizados vergalhões de cobre eletrolítico, redondos, bitola 6,3 mm<sup>2</sup> (ver tabela 4 da NDU-02), pintados nas cores vermelho, branco e marrom para identificar as fases **A**, **B** e **C** respectivamente. Eles serão assentados sobre isoladores de coluna, em porcelana, classe 15 kV adotando espaçamento entre fases de 45 cm.

As conexões entre os vergalhões serão feitas usando ligadores em latão, para condutor redondo ( $\varnothing$  6,3 mm<sup>2</sup>), dos tipos: simples, em **T** e olhal. Já as conexões aos equipamentos de medição e proteção serão feitas por meio de terminais angulares e concêntricos de 6,3 mm<sup>2</sup>.

### 3.1.7 Ramal de Saída

O ramal de saída estende-se desde o cubículo de medição e proteção até o cubículo de transformação por cerca de 145 m. Ele reutilizará a estrutura de postes e cruzetas que atendem a uma subestação aérea de 300 kVA. Essa subestação será desativada e o transformador de potência será reaproveitando nos cubículos de transformação.

Sendo assim, faz-se necessário readaptar os condutores de modo a atender à nova configuração. Portanto, o ramal de saída será do tipo aéreo na tensão de 13,8 kV em cabo de alumínio nu, 4 AWG – CA (ver tabela 1 da NDU-02), conforme a prancha 1/6 em anexo.

### 3.1.8 Cubículos de Transformação

Serão construídos três cubículos abrigados, sendo que um deles ficará como reserva. A potência total é de 800 kVA sendo dividida em dois transformadores conforme indica a prancha 4/6 em anexo. Não será previsto o uso de grupo gerador e os equipamentos estarão distribuídos em cubículos distintos onde serão instalados:

- 01 (um) transformador industrial, trifásico, selado, 500 kVA, classe 15 kV, impedância 4,2 %, com relações de transformação 13.800/380/220 V;
- 01 (um) transformador industrial, trifásico, selado, 300 kVA, classe 15 kV, impedância 4,7 %, com relações de transformação 13.800/380/220 V;
- 02 (duas) chaves seccionadoras tripolar, uso interno, operação sem carga, acionamento manual, classe 15 kV, corrente nominal de 400 A;

#### A. Barramento de Alta Tensão

De forma semelhante ao ramal de entrada, para confecção do barramento de alta tensão também serão utilizados vergalhões de cobre eletrolítico, redondos, bitola 6,3 mm<sup>2</sup> (ver tabela 4 da NDU-02), pintados nas cores vermelho, branco e marrom para identificar as fases **A**, **B** e **C** respectivamente.

Eles serão assentados sobre isoladores de coluna, em porcelana, classe 15 kV com espaçamento entre fases de 45 cm. As conexões entre os vergalhões serão feitas usando ligadores em latão, específicos para condutor redondo ( $\varnothing$  6,3 mm<sup>2</sup>), dos tipos simples, em *T* e em olhal ao passo que as conexões aos equipamentos serão feitas usando terminais angulares e concêntricos de 6,3 mm<sup>2</sup>.

#### B. Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT)

O quadro geral de baixa tensão propriamente dito é um conjunto formado por 02 (dois) quadros individuais cada um medindo cerca de 1,2 x 0,8 x 1,7 m onde serão instalados os seguintes componentes:

- 01 (um) disjuntor termomagnético tripolar, em caixa moldada, 500 A;
- 01 (um) disjuntor termomagnético tripolar, em caixa moldada, 350 A;

- 01 (um) disjuntor termomagnético tripolar, em caixa moldada, 175 A;
- 01 (um) disjuntor termomagnético tripolar, em caixa moldada, 125 A;
- 06 (seis) transformador de corrente, relação de 600:5 A;
- 06 (seis) amperímetros, faixa de operação de 0 a 600 A;
- 01 (um) voltímetro, faixa de operação de 0 a 500 V;
- 02 (duas) chaves comutadoras para voltímetro;
- Barramento e demais acessórios.

O barramento do QGBT é feito em barras retangulares de cobre, sem pintura. Para seu dimensionamento considerou-se a corrente de carga solicitada pelos quadros gerais de força a ele ligados (ver MAMEDE FILHO, 2010, p. 114 – tabela 3.38). Dessa forma, adotou-se barramento de 3 # 80 x 10 mm.

### 3.1.9 Circuitos Alimentadores

#### A. Circuitos Terminais dos Motores

A ligação dos motores até os respectivos quadros gerais de força será feita através de cabos flexíveis unipolar de cobre com isolamento em PVC/ 70°C acondicionados em eletrodutos de PVC embutidos sob o piso.

O dimensionamento dos condutores fase foi feito utilizando o critério da capacidade de condução de corrente levando-se em conta a corrente solicitada pelo motor, a forma de acondicionamento dos cabos e o tipo de isolamento do condutor (ver MAMEDE FILHO, 2010, p. 82 – tabela 3.6). Os valores obtidos são conforme indicados no diagrama unifilar da instalação (ver prancha 6/6).

#### B. Circuitos dos Quadros Gerais de Força ao QGBT

A ligação dos quadros gerais de força ao quadro geral de baixa tensão será por meio de cabos flexíveis unipolar de cobre com isolamento em EPR até 1 kV acondicionados em eletrodutos de PVC embutidos sob o piso.

O dimensionamento dos condutores fase foi feito utilizando o critério da capacidade de condução de corrente. Para tanto, levou-se em conta a corrente máxima solicitada pelos quadros, a forma de acondicionamento dos cabos e o tipo de isolamento do condutor (ver MAMEDE FILHO, 2010, p. 84 – tabela 3.7).

O dimensionamento dos condutores neutro (ver MAMEDE FILHO, 2010, p. 102 – tabela 3.23) e terra (ver MAMEDE FILHO, 2010, p. 103 – tabela 3.25) foi feito levando-se

em conta a seção do condutor fase e o fato de que não há presença de componentes harmônicos a fim de se obter a seção mínima do cabo.

Os barramentos dos quadros gerais de força são constituídos por barras retangulares de cobre, sem pintura. Para efeito de dimensionamento, considerando-se a corrente de carga solicitada pelos respectivos motores ligados ao quadro (ver MAMEDE FILHO, 2010, p. 114 – tabela 3.38).

Observando as diretrizes citadas acima, os resultados obtidos são os seguintes:

- QGF 1: cabos de  $2 \times \{3\#95(50)50\}$  mm<sup>2</sup> e barramento de  $3\#20 \times 10$  mm;
- QGF 2: cabos de  $3\#95(50)50$  mm<sup>2</sup> e barramento de  $3\#20 \times 03$  mm;
- QGF 3: cabos de  $3\#70(35)35$  mm<sup>2</sup> e barramento de  $3\#15 \times 03$  mm;
- QGF 4: cabos de  $2 \times \{3\#120(70)70\}$  mm<sup>2</sup> e barramento de  $3\#30 \times 10$  mm.

### C. Circuito do QGBT aos Transformadores

A ligação do quadro geral de baixa tensão aos transformadores será realizada através de cabos flexíveis unipolar de cobre com isolamento em EPR/ 70°C até 1 kV. Eles serão acondicionados em canaletas fechadas de alvenaria (30 x 30 cm) e conectados aos transformadores usando terminais de compressão.

O dimensionamento dos condutores fase, neutro e terra são feito de forma análoga ao procedimento apresentado anteriormente. Portanto, para o transformador de 500 kVA será usado  $2 \times \{3\#150(70)70\}$  mm<sup>2</sup> e para o transformador de 300 kVA  $2 \times \{3\#120(70)70\}$  mm<sup>2</sup>, conforme indicado na prancha 2/6 em anexo.

#### 3.1.10 Malha de Aterramento

Nos cubículos de medição e proteção a malha de terra é composta por 04 (quatro) hastes de aterramento cobreadas de 5/8” x 3,0 m, localizadas nas extremidades da malha e interligadas através de cabo de cobre nu de 50 mm<sup>2</sup> de modo a formar um reticulado de aproximadamente 2 x 2 m.

Já nos cubículos de transformação a malha de terra é composta por 10 (dez) hastes de aterramento cobreadas de 5/8” x 3,0 m. Elas estão localizadas nas extremidades e no centro da malha próxima aos transformadores. A malha é feita em cabo de cobre nu de 50 mm<sup>2</sup> formando um reticulado de aproximadamente 2,5 x 2,5 m.

Em ambos os casos, nos pontos de cruzamento da malha serão feitas soldas exotérmicas. Todos os equipamentos e partes metálicas não energizadas serão interligados à



malha através de cabo de cobre nu de 50 mm<sup>2</sup> e solda exotérmica ou por meio de cordoalha em cobre conectada através de terminais de compressão.

### 3.1.11 Detalhes Construtivos

Conforme fora mencionado anteriormente, os cubículos de medição e proteção são construídos separadamente dos cubículos de transformação. Entretanto, vale salientar que os aspectos construtivos das instalações atendem às exigências normativas do item 10.8 da NDU-002, dentre as quais se destacam:

- Ambas as edificações (medição/ proteção e transformação) terão paredes e pisos em alvenaria e tetos em laje pré-moldada com espessura de 15 cm;
- A laje será impermeabilizada e terá caimento de 2% orientado de modo que o escoamento das águas pluviais não recaia sobre os condutores de alta tensão;
- Como os ramais de ligação e de saída são aéreos, a altura mínima do pé-direito das edificações é de 5,50 m;
- O acesso principal às edificações é feito através de portão metálico (ver prancha 6/6), com 2,00 x 2,20 m, em duas folhas, abrindo para fora de modo a permitir a passagem folgada do maior equipamento da subestação (neste caso, o transformador de 500 kVA);
- Os acessos aos cubículos serão isolados da área de circulação por meio de tela metálica em cantoneira *L* (1.1/2" x 1.1/2" x 3/16") e arame galvanizado 12 BWG, com malha de 10 mm;
- Os corredores para acesso e manobra de equipamentos têm espaço livre com 1,50 m de largura (pelo menos) e neles serão instalados carpetes de borracha;
- As edificações possuem ventilação natural, sendo instaladas nos cubículos aberturas em combogós de concreto e protegidas por tela metálica (ver prancha 6/6) localizadas 30 cm acima do piso e 15 cm abaixo do teto;
- Junto às hastes de terra localizadas nas extremidades das malhas serão construídas caixas de inspeção de modo a permitir verificar as condições gerais do sistema de aterramento;
- Nos cubículos de transformação será construída uma bacia de contenção e instalado um dreno para coleta de óleo para caso de um possível vazamento, encaminhando-o a um tanque de acumulação cujo volume útil é de 430 litros.

### 3.1.12 Proteção Secundária

A metodologia de cálculo e ajuste da proteção secundária aqui apresentada fundamenta-se no material didático do professor Marco Dias de Almeida utilizado na disciplina Proteção de Sistemas Elétricos do Curso de Engenharia Elétrica da UFRN em consonância com as exigências do anexo II da NDU-02 da Energisa – Paraíba.

O esquema de proteção para instalações elétricas industriais envolve várias etapas, desde a escolha da estratégia de proteção, através dos dispositivos de atuação, até o cálculo dos valores para a calibração destes dispositivos. Assim, alguns dados fazem-se necessários:

- Rede Distribuição .....Energisa;
- Alimentador .....21L2/ GBA;
- Comprimento .....71.910 m;
- $I_{cc\_AL}$  .....4.405 A;
- Subestação .....Guaraves;
- $I_{cc\_3\phi}$  .....625 A;
- $I_{cc\_\phi T}$  .....155 A;
- Demanda .....655 kVA.

#### A. Cálculo da Corrente Nominal de Carga

Esse cálculo é utilizado para determinar a corrente de partida do relé e pode ser obtido segundo a Equação (1). Entretanto, deve-se considerar o valor da demanda contratada junto à concessionária e um fator de potência mínimo de 0,92 (ver item 20.1 da NDU-02).

$$I_n = \frac{D}{13,8 \times \sqrt{3}} \quad (1)$$

Em que:  $I_n$  – Corrente nominal em relação à demanda contratada (em A);

$D$  – Demanda a ser contratada (em kVA).

$$I_n = \frac{655}{13,8 \times \sqrt{3}} \Rightarrow I_n \approx 27,40A$$

#### B. Cálculo das Correntes Nominais dos Transformadores

Essas correntes servem de parâmetro para que seja determinada a corrente de magnetização dos transformadores, devendo ser calculadas de acordo com a equação (2), que leva em conta a potência nominal de cada um deles.

$$I_{n,Ti} = \frac{P_{n,Ti}}{13,8 \times \sqrt{3}} \quad (2)$$

Em que:  $I_{n,Ti}$  – Corrente nominal de cada transformador (em A);

$P_{n,Ti}$  – Potência nominal de cada transformador (em kVA).

$$I_{n,T1} = \frac{500}{13,8 \times \sqrt{3}} \Rightarrow I_{n,T1} = 20,92 A$$

$$I_{n,T2} = \frac{300}{13,8 \times \sqrt{3}} \Rightarrow I_{n,T2} = 12,55 A$$

### C. Cálculo da Corrente de Magnetização

Durante a energização da subestação surgem correntes bastante elevadas chamadas de corrente de *inrush*. Isso ocorre devido ao processo de magnetização e saturação do núcleo dos transformadores. Portanto, o cálculo desta corrente é importante para que a proteção não atue de forma indevida.

Para transformadores com potência até 2000 kVA, a corrente de magnetização ( $I_m$ ) é 8 vezes a corrente nominal do transformador com tempo de duração de 0,1 s. Caso haja mais de um transformador, deve ser considerada a corrente de magnetização do maior deles acrescida das correntes nominais dos demais (ver item 20.2 da NDU-02). Dessa forma, a corrente de magnetização pode ser encontrada através da Equação (3).

$$I_m = (8 \times I_{n,T1}) + I_{n,T2} \quad (3)$$

$$I_m = (8 \times 20,92) + 12,55 \Rightarrow I_m \approx 180 A$$

### D. Cálculo do Ponto ANSI

O ponto ANSI define o valor máximo de corrente que um transformador pode suportar durante um período definido de tempo sem se danificar. Portanto, este cálculo estabelece um limite seguro para operação dos equipamentos de transformação. Para transformadores em estrela-triângulo com neutro solidamente aterrado o valor dessa corrente ( $I_{ANSI}$ ) pode ser obtido usando a Equação (4) (ver item 20.3 da NDU-02).

$$I_{ANSI} = \frac{100}{Z_i} \times I_{n,Ti} \quad (4)$$

Em que:  $Z_i$  – Impedância de cada transformador (em %);

$I_{n,Ti}$  – Corrente nominal de cada transformador (em A);

$$I_{ANSI_{T1}} = \frac{100}{Z_{T1}} \times I_{n,T1} = \frac{100}{4,2} \times 20,92 \Rightarrow I_{ANSI_{T1}} \approx 498 A$$

$$I_{ANSI_{T2}} = \frac{100}{Z_{T2}} \times I_{n,T2} = \frac{100}{4,7} \times 12,55 \Rightarrow I_{ANSI_{T2}} \approx 267 A$$

## E. Cálculo das Correntes de Curto-Circuito

A determinação das correntes de curto-circuito nas instalações elétricas em alta tensão de sistemas industriais é fundamental para a elaboração do projeto de proteção e coordenação dos seus diversos elementos. Estas correntes podem assumir valores elevados, porém com duração limitada a frações de segundo. Geralmente, são causadas pela perda do isolamento de algum elemento energizado do sistema e o cálculo destas correntes baseia-se no conhecimento das impedâncias, desde o ponto de defeito até a fonte geradora.

### i. Corrente de Curto-Circuito Trifásico

Quando se pretende obter de forma simplificada o valor desta corrente nos terminais do transformador, pode-se aplicar a Equação (5). Entretanto, este resultado é aproximado já que não leva em conta a impedância reduzida do sistema de suprimento.

$$I_{cc\_3\phi} = \frac{I_n}{Z_{mt}} \times 100 \quad (5)$$

Em que:  $I_{cc\_3\phi}$  – Corrente de curto-circuito trifásica (em A);

$I_n$  – Corrente nominal de carga (em A);

$Z_{mt}$  – Impedância média de curto-circuito (em %) que é dada pela Equação (6).

$$Z_{mt} = \frac{\frac{P_{n,T1}}{Z_{T1}} + \frac{P_{n,T2}}{Z_{T2}}}{\frac{P_{n,T1}}{Z_{T1}} + \frac{P_{n,T2}}{Z_{T2}}} \quad (6)$$

Em que:  $P_{n,Ti}$  – Potência nominal de cada transformador (em kVA);

$Z_{Ti}$  – Impedância de cada transformador (em %).

$$Z_{mt} = \frac{\frac{500}{4,2} + \frac{300}{4,7}}{\frac{500}{4,2} + \frac{300}{4,7}} = 4,38\%$$

$$I_{cc\_3\phi} = \frac{I_n}{Z_{mt}} \times 100 = \frac{27,4}{4,38} \times 100$$

$$I_{cc\_3\phi} \approx 625 A$$

ii. *Corrente de Curto-Circuito Fase-Terra*

Em casos onde o transformador é ligado em estrela-triângulo com neutro solidamente aterrado, a Equação (7) fornece uma boa aproximação para a corrente de curto-circuito fase-terra. Para tanto, ela considera que seu valor máximo deve ser da ordem de 0,58 vezes o ponto ANSI do menor transformador.

$$I_{cc\_φT} = 0,58 \times (I_{ANSI,T1} \text{ ou } I_{ANSI,T2}) \tag{7}$$

$$I_{cc\_φT} = 0,58 \times 267,02 = 154,87$$

$$I_{cc\_φT} \approx 155A$$

## F. Dimensionamento dos TC de Medição e/ou Proteção

Faz-se necessário dimensionar corretamente os TC de modo a impedir que estes entrem em saturação caso sejam submetidos a correntes muito elevadas, levando-os a indicar valores distorcidos. Para tanto, deve-se considerar o valor da corrente de curto-circuito no ponto de derivação do ramal de ligação, que normalmente é informado pela concessionária.

Recomenda-se que os TC tenham uma corrente primária tal que o maior valor da corrente de curto-circuito não a exceda em 20 vezes, ou seja, que o fator de sobrecorrente (*F*) seja de no máximo 20 (ver item 20.5 da NDU-02). Dessa forma, a corrente à qual o TC estará submetido em caso de sobrecorrente (*I<sub>TC</sub>*) pode ser obtida através da Equação (8).

$$I_{TC} = \frac{I_{CC\_AL}}{F} \tag{8}$$

Em que: *I<sub>CC\\_AL</sub>* – Corrente de curto-circuito na derivação do alimentador (em A);

*F* – Fator de sobrecorrente (adimensional).

$$I_{TC} = \frac{4.405}{20} = 220,25A$$

$$I_{TC} = 250A \dots\dots\dots \text{Valor adotado}$$

A relação de transformação de corrente (*RTC*) pode ser obtida usando a Equação (9), considerando que a corrente secundária do TC seja de 5 A.

$$RTC = \frac{I_{TC}}{5} \tag{9}$$

$$RTC = \frac{250}{5} \Rightarrow RTC = 50$$

## G. Relé de Proteção

O relé URPE 7104 da PEXTRON é um dispositivo de sobrecorrente e como tal, responde à amplitude da corrente à qual está submetido podendo ser usado para proteger vários equipamentos. Geralmente, ele é conectado ao sistema de maneira tal como é mostrada na Figura 26, necessitando apenas de transformadores de corrente para entrar em operação.

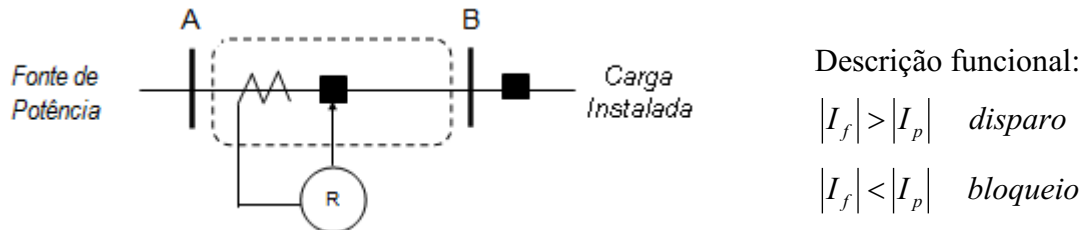


Figura 26 – Conexão de um Relé num Sistema Radial (Pextron – Catálogo de Produtos, 2010).

Em que:  $I_p$  – Corrente de partida do relé previamente definida;

$I_f$  – Corrente normal de fase ou em caso de defeito, corrente de falta.

Embora existam relés com características e funções bastante diferenciadas, o relé URPE 7104 é dotado de duas funções básicas, ambas disponíveis para fase e neutro, atendendo às exigências da concessionária local. Uma delas é a proteção de sobrecorrente instantânea (função 50) e a outra é a proteção de sobrecorrente temporizada (função 51).

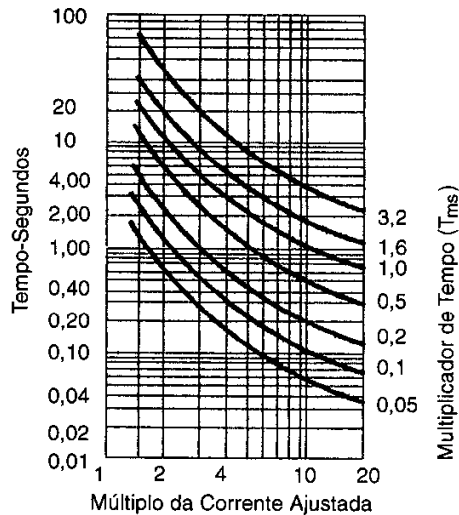
Ele possui uma bobina de *trip* que é energizada quando se detecta um valor irregular de corrente fazendo com que os contatos do disjuntor se abram. De modo a garantir o bom funcionamento dessa bobina, o relé possui uma fonte capacitiva de alimentação auxiliar que já vem incorporada ao mesmo.

Normalmente, há dois tipos de ajustes a serem feitos nesses tipos de relés. O primeiro é o ajuste de corrente, definindo previamente o módulo de  $I_p$  ao variar os *taps* do enrolamento de atuação. Já o segundo, é o ajuste de tempo feito a partir da curva de temporização que pode ser deslocada em passos definidos de modo a obter uma operação mais rápida ou mais lenta.

## H. Escolha da Curva de Temporização

Os relés podem apresentar diversas curvas características de temporização que os habilitam para determinadas aplicações. Assim, pode-se escolher entre a característica normalmente inversa (NI), extremamente inversa (EI), inversa longa (IL) ou muito inversa (MI). A concessionária local recomende a escolha da curva extremamente inversa, pois se adaptam melhor às curvas de temporização dos elos fusíveis.

Entretanto, a característica adotada foi a curva do tipo **muito inversa (MI)** que é aplicada em sistemas industriais onde as correntes de curto-circuito variam consideravelmente em função do local da falha. Esta escolha foi feita tendo em vista ajustar corretamente a proteção do sistema aos valores obtidos em projeto. Na Figura 27, apresentam-se curvas características para este tipo que podem ser determinadas usando a Equação (10).



$$T_{mi} = \frac{13,5}{\left(\frac{I_{ma}}{I_{ac}}\right)^{-1}} \times T_{ms} \quad (10)$$

Figura 27 – Curva de Temporização Muito Inversa (MAMEDE FILHO, 2010).

Em que:  $T_{mi}$  – Tempo de operação do relé para a característica muito inversa (em s);

$T_{ms}$  – Fator multiplicador de tempo (adimensional);

$I_{ma}$  – Corrente máxima admitida no local do defeito (em A);

$I_{ac}$  – Corrente de acionamento do relé (em A).

## I. Ajustes do Relé

Inicialmente, calcula-se a corrente de partida das unidades temporizadas de fase e neutro (5I/ 5IN) para depois optar pela curva de temporização que melhor se adapte aos valores de projeto. Esses cálculos são usados para determinar o valor da corrente necessária para sensibilizar o relé fazendo com que se inicie o processo de contagem de tempo para atuação da unidade temporizada em casos de sobrecarga do sistema.

A seguir, determina-se também a corrente de acionamento das unidades instantâneas de fase e neutro (50/ 50N). Esses cálculos serão utilizados para ajustar o valor da corrente necessária para fazer com que o relé atue imediatamente em casos de curto-circuito. Vale ressaltar que para efeitos práticos de ajustes do relé, faz-se necessário referir todos os valores de corrente ao secundário dos TC. Isso pode ser feito usando a Equação (11).

$$I_{a\_i} = \frac{I_i}{RTC} \quad (11)$$

Em que:  $I_{a\_i}$  – Corrente ajustada da unidade de interesse referida ao secundário (em A);

$I_i$  – Corrente da unidade de interesse referida ao primário (em A);

$RTC$  – Relação de transformação de corrente (adimensional);

*i. Unidade Temporizada de Fase (51)*

A corrente de partida da unidade temporizada de fase ( $I_{p\_tf}$ ) pode ser obtida usando a Equação (12), admitindo que a demanda contratada possa ser ultrapassada em até 10%.

$$I_{p\_tf} = 1,25 \times I_n \tag{12}$$

$$I_{p\_tf} = 1,25 \times 27,40 = 34,25$$

$$I_{p\_tf} = 35,0A \text{ ..... Valor adotado}$$

Para o tipo de relé usado, a corrente ajustada da unidade temporizada de fase ( $I_{a\_tf}$ ) deve ser escolhida numa faixa de valores que vai de 0,10 a 6,50 ampères em passos de 0,1.

$$I_{a\_tf} = \frac{I_{p\_tf}}{RTC} = \frac{35}{50}$$

$$I_{a\_tf} = 0,70A$$

A escolha da característica de tempo e a respectiva curva de temporização foram feitas através do método ponto a ponto. Esse método consiste em variar o tipo de curva (NI, EI, MI) e seu fator multiplicador de tempo ( $0,1 \leq T_{ms} \leq 2,0$ ) até que os pontos de interesse atendam às condições de coordenação e proteção.

Neste caso, a curva que melhor se adaptou às condições impostas foi a 2,0 (MI). Dito de outra forma, curva característica muito inversa (MI) com fator multiplicador de tempo da unidade temporizada de fase ( $T_{ms\_tf}$ ) igual a 2,0. A partir daí, procede-se o cálculo do tempo de atuação da unidade temporizada de fase do relé ( $T_{mi\_tf}$ ) usando a Equação (10).

$$T_{mi\_tf} = \frac{13,5}{\left(\frac{I_{ma}}{I_{ac}}\right) - 1} \times T_{ms\_tf} = \frac{13,5}{\left(\frac{I_{cc\_3\phi}}{I_{a\_tf} \times RTC}\right) - 1} \times T_{ms\_tf} = \frac{13,5}{\left(\frac{625}{0,7 \times 50}\right) - 1} \times 2,0$$

$$T_{mi\_tf} \approx 1,6s \Leftrightarrow T_{ms\_tf} = 2,0$$

*ii. Unidade Temporizada de Neutro (51N)*

A corrente de partida da unidade temporizada de neutro ( $I_{p\_tm}$ ) pode ser encontrada utilizando a Equação (13) que leva em conta o fato de que existem cargas ligadas entre fase e neutro podendo atingir até 30% da corrente de carga do circuito devidos aos desequilíbrios admissíveis do sistema.



$$I_{p\_tn} = 0,30 \times I_n \tag{13}$$

$$I_{p\_tn} = 0,30 \times 27,40 = 8,22 A$$

$$I_{p\_tn} = 8,5 A \dots\dots\dots \text{Valor adotado}$$

Aplicando a Equação (11), pode-se referir o valor desta corrente ao secundário dos TC de modo a facilitar o ajuste prático do relé. Neste caso, a corrente ajustada da unidade temporizada de neutro ( $I_{a\_tn}$ ) deve ser escolhida convenientemente numa faixa de valores que varia entre 0,10 e 6,50 ampères em passos de 0,1.

$$I_{a\_tn} = \frac{I_{p\_tn}}{RTC} = \frac{8,5}{50}$$

$$I_{a\_tn} = 0,17 A$$

Uma vez determinada a característica de tempo (MI) ela é mantida para as demais unidades e escolhe-se a curva de temporização que melhor se adapte às condições impostas através do método ponto a ponto. Neste caso, fazendo o fator multiplicador de tempo variar na faixa de ajuste ( $0,1 \leq T_{ms} \leq 2,0$ ) a curva que demonstrou melhor resultado foi a 0,4 (MI), isto é, característica muito inversa (MI) com fator multiplicador de tempo da unidade temporizada de neutro ( $T_{ms\_tn}$ ) igual a 0,4. A partir daí, procede-se o cálculo do tempo de atuação da unidade temporizada de neutro ( $T_{mi\_tn}$ ) conforme indica a Equação (10).

$$T_{mi\_tn} = \frac{13,5}{\left(\frac{I_{ma}}{I_{ac}}\right) - 1} \times T_{ms\_tn} = \frac{13,5}{\left(\frac{I_{cc\_fT}}{I_{a\_tn} \times RTC}\right) - 1} \times T_{ms\_tn} = \frac{13,5}{\left(\frac{155}{0,17 \times 50}\right) - 1} \times 0,4$$

$$T_{mi\_tn} \approx 0,3s \Leftrightarrow T_{ms\_tn} = 0,4$$

iii. *Unidade Instantânea de Fase (50)*

A corrente instantânea de fase ( $I_{if}$ ) pode ser encontrada usando a Equação (10). Entretanto, deve ser escolhido o menor valor possível de tal forma que não provoque a atuação indevida do relé durante a energização dos transformadores e que não seja superior ao menor valor de curto-circuito (trifásico) e ao ponto ANSI do menor transformador. O fator de multiplicação 8 depende da natureza da carga do circuito e em instalações com grande quantidade de motores de indução, trabalha-se com esse fator.

$$I_{if} = 8 \times I_n \tag{14}$$

$$I_{if} = 8 \times 27,40 = 219,20 A$$

Condição:

$$I_m \leq I_{if} \leq (I_{cc\_3\phi} \text{ ou } I_{ANSI,T1} \text{ ou } I_{ANSI,T2})$$

$$179,91 \leq I_{if} \leq 267,02$$

$$I_{if} = 200A \dots\dots\dots \text{Valor adotado e que satisfaz a condição}$$

Aplicando a Equação (11), pode-se referir o valor desta corrente ao secundário dos TC. Neste caso, a corrente ajustada da unidade instantânea de fase ( $I_{a\_if}$ ) deve ser escolhida numa faixa de valores que varia entre 0,10 e 20,0 ampères em passos de 0,1.

$$I_{a\_if} = \frac{I_{if}}{RTC} = \frac{200}{50}$$

$$I_{a\_if} = 4,0A$$

iv. *Unidade Instantânea de Neutro (50N)*

A corrente instantânea de neutro ( $I_{in}$ ) pode ser encontrada usando a Equação (15). No entanto, devem-se fazer duas ressalvas. A primeira é admitir que a unidade instantânea de neutro do relé não deve atuar durante energização de cargas ligadas entre fase e neutro e a segunda é que a corrente de acionamento do relé deve ser menor que a corrente de curto-circuito fase-terra.

$$I_{in} = 8 \times (0,30 \times I_n) \tag{15}$$

$$I_{in} = 8 \times (0,30 \times 27,40) = 65,76A$$

Condição:

$$I_{in} \leq I_{cc\_fT}$$

$$I_{in} \leq 155A$$

$$I_{in} = 40A \dots\dots\dots \text{Valor adotado e que satisfaz a condição}$$

Aplicando a Equação (11), refere-se o valor desta corrente ao secundário dos TC. Assim, a corrente ajustada da unidade instantânea de neutro ( $I_{a\_in}$ ) deve ser escolhida numa faixa de valores que varia entre 0,10 e 10,0 ampères em passos de 0,1.

$$I_{a\_in} = \frac{I_{in}}{RTC} = \frac{40}{50}$$

$$I_{a\_if} = 0,8A$$

### 3.1.13 Coordenograma

O coordenograma trata-se de um gráfico em escala bi-logarítmica onde o tempo de operação do relé é dado em função da amplitude de corrente à qual está submetido. Este gráfico tem o objetivo de visualizar a atuação da proteção permitindo a coordenação e a seletividade do sistema para qualquer valor de corrente.

Na Figura 28 é apresentado o coordenograma referente à subestação em questão. Os valores de corrente estão referidos à tensão primária e não foram impressas as curvas de atuação dos elementos de proteção da concessionária devido à falta de dados. Entretanto, o gráfico destaca os pontos e curvas de interesse exigidos pela concessionária, dentre os quais:

- Corrente nominal de carga (ponto 1);
- Corrente de partida do relé (ponto 2);
- Corrente de curto-circuito máxima (ponto 3)
- Corrente de magnetização dos transformadores (ponto 4);
- Ponto ANSI dos transformadores (pontos 5 e 6);
- Curvas das unidades temporizadas (51/ 51N) e instantâneas (50/ 50N).

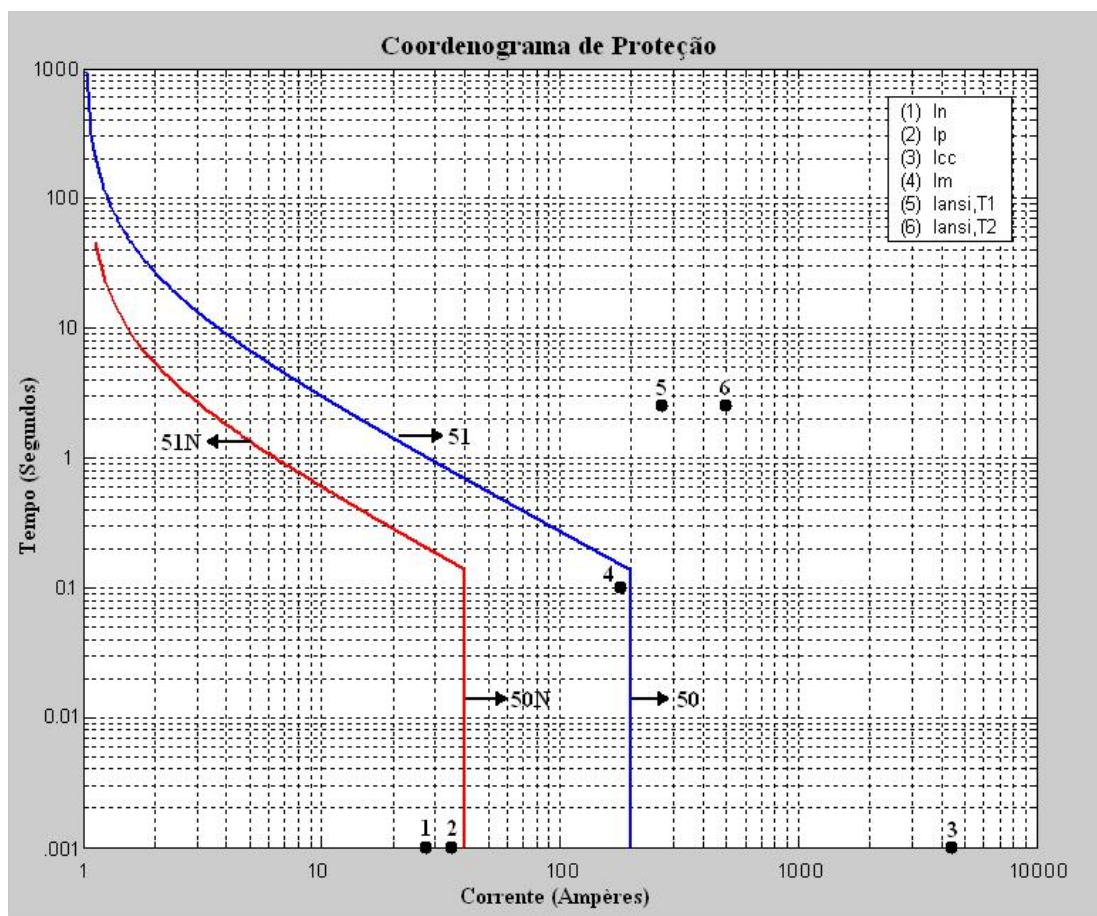


Figura 28 – Coordenograma de Proteção da SE 500 + 300 kVA da Guaraves (Fonte própria, 2011).

### 3.1.14 Levantamento de Carga

Antes de fazer o cálculo da demanda faz-se necessário realizar adequadamente o levantamento de carga em toda a instalação. Neste caso em particular, fez-se uma relação de todos os motores que serão instalados na unidade, separando-os por setor produtivo de modo que fossem listados os principais dados relativos a cada um deles.

Inicialmente, faz-se uma breve descrição da carga informando a utilização e a potência nominal (em CV) de acordo com os dados de placa dos equipamentos. De posse dessas informações, procede-se o levantamento do fator de potência ( $\cos \phi$ ), do rendimento ( $\eta$ ) e do fator de utilização ( $F_{ut}$ ) destas cargas conforme a Tabela 6 da NDU 18 da Energisa – PB.

A potência ativa foi calculada usando a Equação (16), ao passo que a potência aparente foi calculada através da Equação (17). Por fim, calculou-se a demanda máxima solicitada da rede utilizando a Equação (18) e a partir dela, foi possível determinar a corrente máxima exigida pela carga usando a Equação (19).

$$P_{kW} = \frac{P_{CV} \times 0,736}{\eta} \quad (16)$$

$$P_{kVA} = \frac{P_{kW}}{\cos \phi} \quad (17)$$

$$D_{\max} = P_{kVA} \times F_{ut} \quad (18)$$

$$I_{\max} = \frac{D_{\max}}{0,38 \times \sqrt{3}} \quad (19)$$

Em que:  $P_{CV}$  – Potência nominal do motor (em CV);

$P_{kW}$  – Potência ativa (em kW);

$P_{kVA}$  – Potência aparente (em kVA);

$\eta$  – Rendimento do motor (adimensional);

$\cos \phi$  – Fator de potência do motor (adimensional);

$D_{\max}$  – Demanda máxima solicitada da rede (em kVA);

$F_{ut}$  – Fator de utilização (adimensional);

$I_{\max}$  – Corrente máxima exigida pela carga (em A).

Todo o dimensionamento dos condutores fase que atendem aos circuitos terminais dos motores foi realizado a partir destes dados. Portanto, fica evidente a grande importância do levantamento de carga como subsídio para emprego do método da capacidade de corrente.

Tabela 1 - Levantamento de Carga do QGF 1 (Fonte própria, 2011)

Item	Descrição da Carga	Potência			Cos $\phi$	$\eta$	Fut	D <sub>max</sub> (kVA)	I <sub>max</sub> (A)
		CV	kW	kVA					
<b>1.1</b>	<b>Sistema de Extrusão</b>								
	Alimentador Externo	1,00	1,13	1,38	0,82	0,70	0,97	2,10	
	Válvula Rotativa Externa	1,50	1,58	2,02	0,78	0,70	1,42	3,07	
	Bomba D' Água Externa	3,00	2,91	3,63	0,80	0,83	3,01	5,52	
	Condicionador Externo	20,00	18,40	20,67	0,89	0,85	17,57	31,41	
	Transporte Pneumático	30,00	26,93	29,59	0,91	0,85	25,15	44,96	
	Extrusora	150,00	116,21	133,58	0,87	0,87	116,21	202,95	
<b>1.2</b>	<b>Sistema de Pesagem e Mistura</b>								
	Vibrador Caçamba Balança	0,12	0,18	0,27	0,67	0,75	0,20	0,41	
	Alimentador Moinho	1,00	1,13	1,38	0,82	0,70	0,97	2,10	
	Rosca Transportadora Saída Moinho	1,00	1,13	1,38	0,82	0,70	0,97	2,10	
	Rosca Dosadora 1	1,00	1,13	1,38	0,82	0,70	0,97	2,10	
	Rosca Dosadora 2	1,50	1,58	2,02	0,78	0,70	1,42	3,07	
	Rosca Dosadora 3	1,50	1,58	2,02	0,78	0,70	1,42	3,07	
	Elevador Moinho	2,00	1,94	2,39	0,81	0,70	1,67	3,63	
	Rosca Saída da Balança	2,00	1,94	2,39	0,81	0,70	1,67	3,63	
	Elevador Saída Misturador	2,00	1,94	2,39	0,81	0,70	1,67	3,63	
	Rosca Premix	3,00	2,91	3,63	0,80	0,83	3,01	5,52	
	Elevador Monta Carga	3,00	2,91	3,63	0,80	0,83	3,01	5,52	
	Exaustor Moinho	4,00	3,82	4,97	0,77	0,83	4,12	7,54	
	Misturador Vertical	5,00	4,78	5,62	0,85	0,83	4,67	8,54	
	Moinho	40,00	32,71	36,75	0,89	0,85	31,24	55,84	
						<b>Sub-Total</b>		<b>396,71</b>	

*Tabela 2 - Levantamento de Carga do QGF 2 (Fonte própria, 2011)*

Item	Descrição da Carga	Potência			Cos $\phi$	$\eta$	F <sub>ut</sub>	D <sub>max</sub> (kVA)	I <sub>max</sub> (A)
		CV	kW	kVA					
<b>1.3</b>	<b>Sistema de Engorduramento</b>								
	Peneira Silo Engordurador	0,50	0,57	0,72	0,79	0,65	0,75	0,54	1,09
	Mexedor de Óleo	0,75	0,82	1,08	0,76	0,67	0,70	0,76	1,65
	Bomba Óleo de Engorduramento	1,00	1,13	1,38	0,82	0,65	0,70	0,97	2,10
	Engordurador	1,50	1,58	2,02	0,78	0,70	0,70	1,42	3,07
	Elevador Silo Engordurador	2,00	1,94	2,39	0,81	0,76	0,70	1,67	3,63
<b>1.4</b>	<b>Sistema de Secagem</b>								
	Esteira Secador 1	0,75	0,82	1,08	0,76	0,67	0,70	0,76	1,65
	Esteira Secador 2	0,75	0,82	1,08	0,76	0,67	0,70	0,76	1,65
	Rosca Transportadora de Finos Secador 1	1,00	1,13	1,38	0,82	0,65	0,70	0,97	2,10
	Rosca Transportadora de Finos Secador 2	1,00	1,13	1,38	0,82	0,65	0,70	0,97	2,10
	Espalhador Ração do Secador	1,50	1,58	2,02	0,78	0,70	0,70	1,42	3,07
	Elevador Saída Secador e Joga Engordurador	1,50	1,58	2,02	0,78	0,70	0,70	1,42	3,07
	Rosa Transportadora Recebe do EI-01	2,00	1,94	2,39	0,81	0,76	0,70	1,67	3,63
	Ventilador do Secador 1	20,00	18,40	20,67	0,89	0,80	0,85	17,57	31,41
	Ventilador do Secador 2	20,00	18,40	20,67	0,89	0,80	0,85	17,57	31,41
	Ventilador do Secador 3	20,00	18,40	20,67	0,89	0,80	0,85	17,57	31,41
	Ventilador do Secador 4	20,00	18,40	20,67	0,89	0,80	0,85	17,57	31,41
	Exaustor do Secador	30,00	26,93	29,59	0,91	0,82	0,85	25,15	44,96
							<b>Sub-Total</b>		<b>199,41</b>

Tabela 3 - Levantamento de Carga do QGF 3 (Fonte própria, 2011)

Item	Descrição da Carga	Potência			Cos $\phi$	$\eta$	Fut	D <sub>max</sub> (kVA)	I <sub>max</sub> (A)
		CV	kW	kVA					
<b>1.5</b>	<b>Sistema de Resfriamento</b>								
	Válvula Rotativa de Finos Resfriador Contra-Fluxo	0,50	0,57	0,72	0,79	0,65	0,54	1,09	
	Peneira Vibratória Saída Resfriador 1	1,50	1,58	2,02	0,78	0,70	1,42	3,07	
	Peneira Vibratória Saída Resfriador 2	1,50	1,58	2,02	0,78	0,70	1,42	3,07	
	Válvula Rotativa do Teto do Resfriador	2,00	1,94	2,39	0,81	0,76	1,67	3,63	
	Elevador Saída da Peneira Resfriador	2,00	1,94	2,39	0,81	0,76	1,67	3,63	
	Exaustor Ciclone do Resfriador	20,00	18,40	20,67	0,89	0,80	17,57	31,41	
<b>1.6</b>	<b>Sistema de Descarrego</b>								
	Bomba Descarrego de Óleo	2,00	1,94	2,39	0,81	0,76	1,67	3,63	
	Peneira Descarrego	2,00	1,94	2,39	0,81	0,76	1,67	3,63	
	Rosca Transportadora do Silo Grande de Milho	2,00	1,94	2,39	0,81	0,76	1,67	3,63	
	Rosca Transportadora do Silo Grande de Soja	4,00	3,82	4,97	0,77	0,77	4,12	7,54	
	Elevador Peneira do Descarrego	5,00	4,78	5,62	0,85	0,77	4,67	8,54	
	Elevador Joga na Peneira do Descarrego	7,50	6,90	8,12	0,85	0,80	6,74	12,33	
	Elevador que Recebe dos Silos (Soja + Milho)	7,50	6,90	8,12	0,85	0,80	6,74	12,33	
	Aerador Silo Milho	10,00	9,68	10,76	0,90	0,76	8,93	16,35	
	Aerador Silo Farelo de Soja	12,50	11,79	12,04	0,98	0,78	9,99	18,29	
	Elevador Descarrego nos Silos (Soja + Milho)	15,00	13,63	14,98	0,91	0,81	12,43	22,76	
							<b>Sub-Total</b>	<b>154,95</b>	

*Tabela 4 - Levantamento de Carga do QGF 4 (Fonte própria, 2011)*

Item	Descrição da Carga	Potência			Cos $\phi$	$\eta$	Fut	D <sub>max</sub> (kVA)	I <sub>max</sub> (A)
		CV	kW	kVA					
<b>1.7</b>	<b>Sistema de Ração para Camarão</b>								
	Alimentador Moinho	1,50	1,58	2,02	0,78	0,70	1,42	3,07	
	Elevador Saída Rosca de Balança	2,00	1,94	2,39	0,81	0,76	1,67	3,63	
	Elevador Saída Rosca Misturador	2,00	1,94	2,39	0,81	0,76	1,67	3,63	
	Rosca da Saída Caçamba do Moinho	2,00	1,94	2,39	0,81	0,76	1,67	3,63	
	Rosca Transportadora Misturador	4,00	3,82	4,97	0,77	0,77	4,12	7,54	
	Elevador Saída Caçamba do Moinho	4,00	3,82	4,97	0,77	0,77	4,12	7,54	
	Misturador Horizontal	12,50	11,79	12,04	0,98	0,78	9,99	18,29	
	Exaustor Moinho	20,00	18,40	20,67	0,89	0,80	17,57	31,41	
	Moinho	300,00	230,00	261,36	0,88	0,96	227,39	397,10	
							<b>Sub-Total</b>	<b>475,86</b>	



### 3.1.15 Cálculo da Demanda

O cálculo da demanda é importante, pois serve de base para determinar a potência dos transformadores. No entanto, também é utilizado para balizar a demanda a ser contratada junto à concessionária. Neste caso em particular, a demanda foi calculada agrupando as cargas em quadros gerais de força (QGF) do modo mais conveniente possível.

De acordo com a tabela 16 da NDU-02 da Energisa – PB, a atividade produtiva da Guaraves encaixa-se no item 33 como uma instalação para fabricação de rações balanceadas e de alimentos preparados para animais, inclusive farinha de carne, sangue, osso e peixe.

Para determinar o valor da demanda total, calculou-se antes a demanda efetiva ( $D_{efe}$ ) através da Equação (20), levando-se em consideração o fator de simultaneidade das cargas motrizes da instalação (ver MAMEDE FILHO, 2010 – Tabela 1.3).

$$D_{efe} = Q_{td} \times F_{sim} \times D_{max} \quad (20)$$

Em que:  $D_{efe}$  – Demanda efetiva (em kVA);

$Q_{td}$  – Quantidade de motores com a mesma potência (em Un);

$F_{sim}$  – Fator de simultaneidade (ver MAMEDE FILHO, 2010 – Tabela 1.2);

$D_{max}$  – Demanda máxima solicitada da rede (em kVA).

#### i. Demanda do QGF 1

Para o cálculo da demanda, consideram-se as cargas referentes ao sistema de extrusão e ao sistema de pesagem e mistura (itens 1.1 e 1.2, respectivamente) conforme a Tabela 5.

Tabela 5 – Cálculo da Demanda do QGF 1 (Fonte Própria, 2011).

<b>Motor CV</b>	<b>Qtd (Un)</b>	<b>Dmax (kVA)</b>	<b>Fsim (%)</b>	<b>Defe (kVA)</b>
0,12	1	0,20	1,00	0,20
1,00	4	0,97	0,80	3,09
1,50	3	1,42	0,80	3,40
2,00	3	1,67	0,80	4,02
3,00	3	3,01	0,80	7,23
4,00	1	4,12	1,00	4,12
5,00	1	4,67	1,00	4,67
20,00	1	17,57	1,00	17,57
30,00	1	25,15	1,00	25,15
40,00	1	31,24	1,00	31,24
150,00	1	116,21	1,00	116,21
<b>Sub-Total</b>				<b>216,91</b>

ii. *Demanda do QGF 2*

Para o cálculo da demanda do quadro geral de força nº 2, levou-se em consideração as cargas referentes ao sistema de engorduramento e ao sistema de secagem que correspondem aos itens 1.3 e 1.4, respectivamente, conforme é indicado na Tabela 6.

Tabela 6 – Cálculo da Demanda do QGF 2 (Fonte Própria, 2011).

<b>Motor CV</b>	<b>Qtd (Un)</b>	<b>Dmax (kVA)</b>	<b>Fsim (%)</b>	<b>Defe (kVA)</b>
0,50	1	0,54	1,00	0,54
0,75	3	0,76	0,80	1,82
1,00	3	0,97	0,80	2,32
1,50	3	1,42	0,80	3,40
2,00	2	1,67	0,80	2,68
20,00	4	17,57	0,80	56,23
30,00	1	25,15	1,00	25,15
<b>Sub-Total</b>				<b>92,14</b>

iii. *Demanda do QGF 3*

Para o cálculo da demanda do quadro geral de força nº 3, levou-se em consideração as cargas referentes ao sistema de resfriamento e ao sistema de descarrego que correspondem aos itens 1.3 e 1.4, respectivamente, conforme é indicado na Tabela 7.

Tabela 7 – Cálculo da Demanda do QGF 3 (Fonte Própria, 2011).

<b>Motor CV</b>	<b>Qtd (Un)</b>	<b>Dmax (kVA)</b>	<b>Fsim (%)</b>	<b>Defe (kVA)</b>
0,50	1	0,54	1,00	0,54
1,50	2	1,42	0,85	2,41
2,00	5	1,67	0,75	6,28
4,00	1	4,12	1,00	4,12
5,00	1	4,67	1,00	4,67
7,50	2	6,74	0,85	11,45
10,00	1	8,93	1,00	8,93
12,50	1	9,99	1,00	9,99
15,00	1	12,43	1,00	12,43
20,00	1	17,57	1,00	17,57
<b>Sub-Total</b>				<b>78,39</b>

iv. Demanda do QGF 4

O cálculo da demanda do quadro geral de força nº 4 considerou as cargas referentes ao sistema de ração para camarão que corresponde ao item 1.7, conforme é indicado na Tabela 8.

Tabela 8 – Cálculo da Demanda do QGF 4 (Fonte Própria, 2011).

<b>Motor CV</b>	<b>Qtd (Un)</b>	<b>Dmax (kVA)</b>	<b>Fsim (%)</b>	<b>Defe (kVA)</b>
1,50	1	1,42	1,00	1,42
2,00	3	1,67	0,80	4,02
4,00	2	4,12	0,85	7,01
12,50	1	9,99	1,00	9,99
20,00	1	17,57	1,00	17,57
300,00	1	227,39	1,00	227,39
<b>Sub-Total</b>				<b>267,39</b>

v. Demanda Geral do QGBT

O cálculo da demanda total do quadro geral de baixa tensão considerou o resultado obtido para os quatro QGF individualmente, conforme é indicado na Tabela 9.

Tabela 9 – Cálculo da Demanda Geral (Fonte Própria, 2011).

<b>Nº do QGF</b>	<b>Imax (A)</b>	<b>Potência (kVA)</b>
1	396,71	216,91
2	199,41	92,14
3	154,95	78,39
4	475,86	267,39
<b>Demanda Efetiva Total</b>		<b>654,82</b>

A potência dos transformadores da subestação foi obtida usando a Equação (21), considerando a reutilização do transformador de 300 kVA da subestação aérea.

$$D_{efe} = P_{n,T1} + P_{n,T2} \tag{21}$$

Em que:  $D_{efe}$  – Demanda efetiva total (em kVA);

$P_{n,Ti}$  – Potência nominal de cada transformador (em kVA).

$$P_{n,T2} = 300kVA$$

$$P_{n,T1} = D_{efe} - P_{n,T2} = 654,82 - 300 = 354,82$$

$$P_{n,T1} = 500kVA \dots\dots\dots \text{Valor adotado}$$

$$D = 655kVA \dots\dots\dots \text{Valor adotado para a demanda contratada}$$

## CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

É importante ressaltar que um sistema elétrico de energia deve ser capaz de suprir adequadamente as necessidades de fornecimento em todos os seus pontos. No entanto, para que a energia esteja disponível para consumo ela percorre um longo caminho. Embora o objetivo deste trabalho tenha sido fazer um breve estudo sobre subestações, buscou-se dar uma visão de todo o sistema elétrico abordando temas desde as principais fontes de energia elétrica até como ela é gerada, transmitida e distribuída, até os grandes centros.

Vale salientar também a importância das subestações de energia para a boa qualidade do fornecimento ao longo de todo esse caminho, pois elas são responsáveis pela conexão entre os vários subsistemas: geração, transmissão, distribuição e consumo. Tendo isso em mente, buscou-se estudar mais detalhadamente essas instalações mostrando os seus tipos, suas funções e os principais equipamentos que a compõem.

Atenção especial foi dada à subestação abaixadora de tensão para consumidor. Dessa forma, buscou-se estudar as suas partes componentes e os tipos de instalações que podem ser construídas para atender às exigências de fornecimento em tensão primária. O trabalho tem o seu ápice com a apresentação de um memorial descritivo onde é feito o detalhamento de uma subestação abrigada em alvenaria.

Quanto ao aspecto construtivo das SE, evidencia-se a necessidade de bons desenhos de modo a explicitar mais claramente as partes de alta e baixa tensão, os equipamentos instalados, os condutores e demais acessórios utilizados. Assim, tende-se a minimizar as falhas durante a fase de execução do projeto.

Do ponto de vista da concessionária de energia, percebe-se que é importante que esteja claro a localização da subestação e seus cubículos, a entrada de serviço e o ramal de entrada na área construída por meio de uma planta de situação. Já do ponto de vista do consumidor, é importante destacar o uso do diagrama unifilar mostrando a bitola dos condutores, as cargas instaladas e a forma como estas serão acionadas e/ou supridas. Do ponto de ambos, constata-se a importância de fazer uma listagem e/ou especificação dos materiais, equipamentos e dispositivos usados na subestação tendo em vista fatores de ordem econômica e técnica.

Foi possível constatar através deste, a importância de conhecer os dados relativos às condições de suprimento e das características funcionais do consumidor em geral. Para tanto, é fundamental entender o funcionamento do complexo industrial. O conhecimento desses

detalhes possibilitará ao projetista um melhor planejamento das instalações elétricas e, conseqüentemente, elaborar um excelente projeto executivo.

Em fim, foi de grande valia a realização deste trabalho, pois através das pesquisas realizadas, foi possível apresentar de forma sucinta o detalhamento de uma subestação abaixadora de tensão do tipo abrigada de modo a se ter uma visão geral do assunto. Também foi relevante compreender melhor os tipos de subestações para consumidor existentes, estudar suas partes componentes e entender melhor os aspectos envolvidos em seu projeto.

## BIBLIOGRAFIA

ABNT. **NBR 14039 – Instalações Elétricas de Média Tensão de 1,0 kV a 36,2 kV.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.]: ABNT. 2003.

ALMEIDA, Marco A. Dias de. **Proteção de Sistemas Elétricos.** Material Didático do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal: 2010.

CREDER, Helio. **Instalações Elétricas;** 14<sup>a</sup> Ed.. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

ENERGISA. **NDU-002– Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária.** Energisa Borborema. Versão 2.0. mar. 2010.

ENERGISA. **NDU-004 – Instalações Básicas para Construção de Redes de Distribuição Urbana.** Energisa Borborema. Versão 2.0. mar. 2010.

ENERGISA. **NDU-010 – Padrões e Especificações de Material da Distribuição.** Energisa Borborema. Versão 2.0. mar. 2010.

ENERGISA. **NDU-018 – Critérios Básicas de Projetos e Construção de Redes Subterrâneas em Condomínios.** Energisa Borborema. Versão 1.0. abr. 2008.

Manual de Equipamentos Elétricos – Especificação e Aplicação em Subestações de Corrente Alternada. Furnas/UFF, 1995.

GOLDEMBERG, Jose. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento.** São Paulo: Scipione, 1998.

KAGAN, Nelson. **Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica.** 1<sup>a</sup> ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

MAMEDE FILHO, João. **Manual de Equipamentos Elétricos.** 2<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Livro Técnico e Científico, 1994, v.1 & v.2.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais.** 8<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Livro Técnico e Científico, 2010.

NISKIER, Julio & MACINTYRE, Archibald Joseph. **Instalações Elétricas.** 5<sup>a</sup> Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

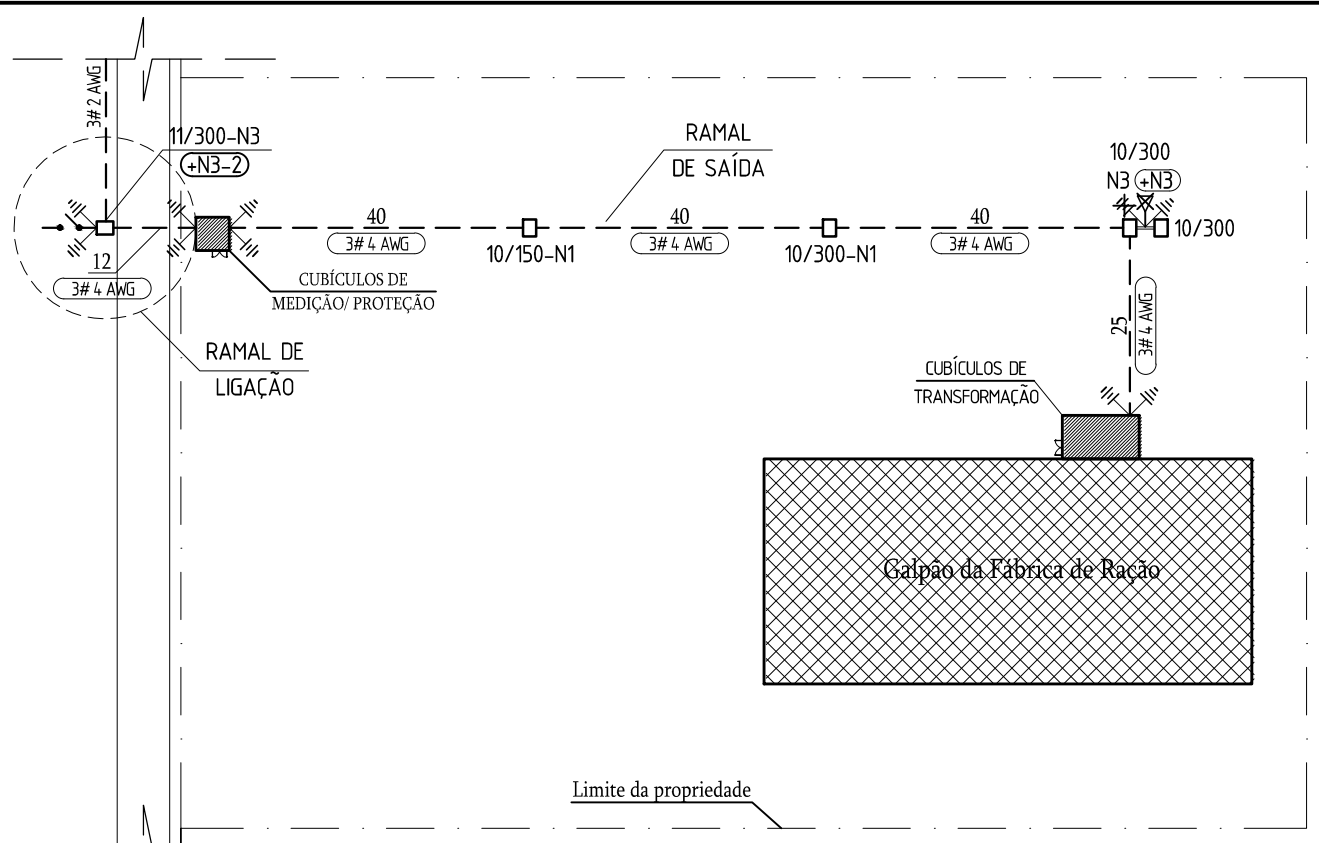
TEIXEIRA JUNIOR, Mario Daniel da Rocha. **FICAP – Cabos de Energia,** 1<sup>a</sup> ed.

## SITES VISITADOS

ga.water.usgs.gov .....	Acesso em:	08 nov.	2011.
http://conectadosnomotor.blogspot .....	Acesso em:	25 mai.	2011.
http://controlengenharia.blogspot .....	Acesso em:	17 dez.	2011.
http://m.albernaz.sites.uol.com.br .....	Acesso em:	12 jul.	2011.
www.aeroar.com.br .....	Acesso em:	06 dez.	2011.
www.aultimaarcadenoe.com.br .....	Acesso em:	15 jun.	2011.
www.cepisa.com.br .....	Acesso em:	13 nov.	2011.
www.ceriluz.com.br .....	Acesso em:	12 out.	2011.
www.ebah.com.br .....	Acesso em:	25 mai.	2011.
www.eletronuclear.gov.br .....	Acesso em:	06 nov.	2011.
www.energisa.com.br .....	Acesso em:	14 dez.	2011.
www.energisa.com.br .....	Acesso em:	19 nov.	2011.
www.fisica.net .....	Acesso em:	15 jul.	2011.
www.itaipu.gov.br .....	Acesso em:	05 nov.	2011.
www.linhares.es.gov.br .....	Acesso em:	05 dez.	2011.
www.polienergia.com.br .....	Acesso em:	11 dez.	2011.
www.polienergia.com.br .....	Acesso em:	20 dez.	2011.
www.redeinteligente.com .....	Acesso em:	09 dez.	2011.
www.redeinteligente.com .....	Acesso em:	21 nov.	2011.
www.sciencephoto.com .....	Acesso em:	07 dez.	2011.
www.sobradinho.siteonline.com.br .....	Acesso em:	15 out.	2011.
www.transformadoresuniao.com.br .....	Acesso em:	10 nov.	2011.
www.uhe-igarapava.com.br .....	Acesso em:	18 out.	2011.
www.ventosdosulenergia.com.br .....	Acesso em:	07 nov.	2011.
www.weg.net/br .....	Acesso em:	16 nov.	2011.

# ANEXOS

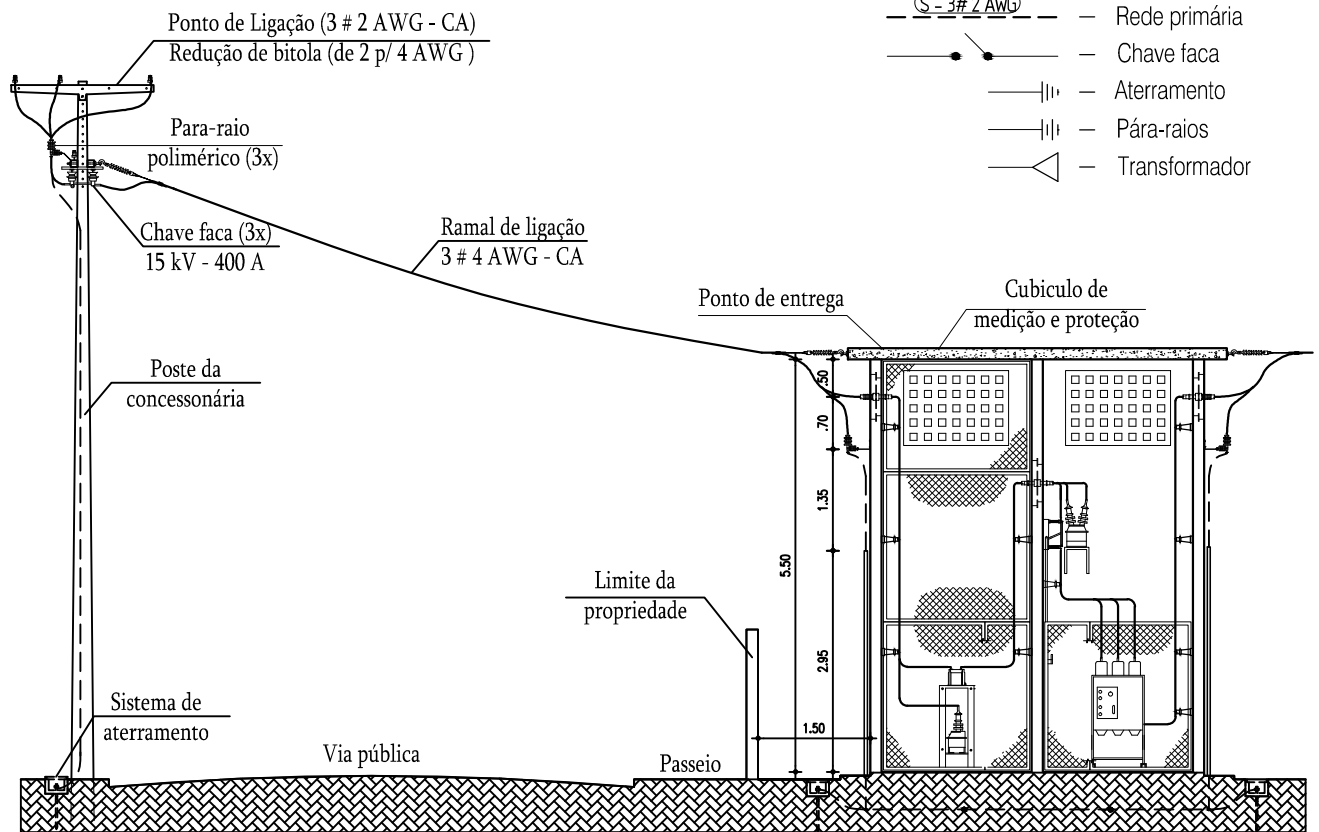




**PLANTA DE SITUAÇÃO**  
 ESCALA 1/1000

**SIMBOLOGIA:**

- — Poste de AT
- (S - 3# 2 AWG) — Rede primária
- ● — Chave faca
- ||| — Aterramento
- ||| — Pára-raios
- ◁ — Transformador



**RAMAL DE LIGAÇÃO**  
 ESCALA 1/100

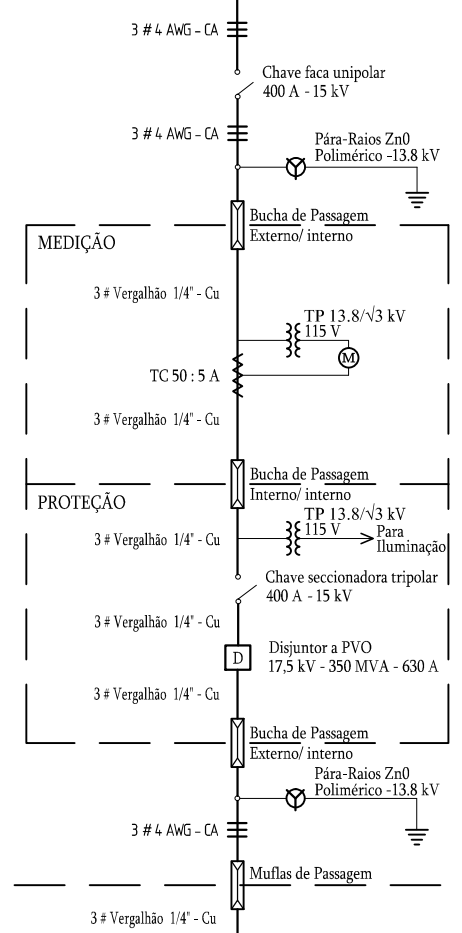
DESENHOS

PRANCHA

PLANTA DE SITUAÇÃO, PONTO E RAMAL DE LIGAÇÃO, PONTO DE ENTREGA E SIMBOLOGIA

01 / 06

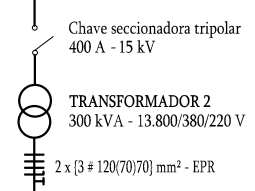
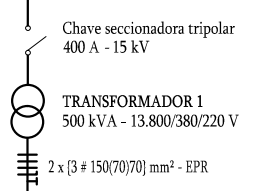
REDE DE DISTRIBUIÇÃO - ENERGISA PARAÍBA (13.8kV)



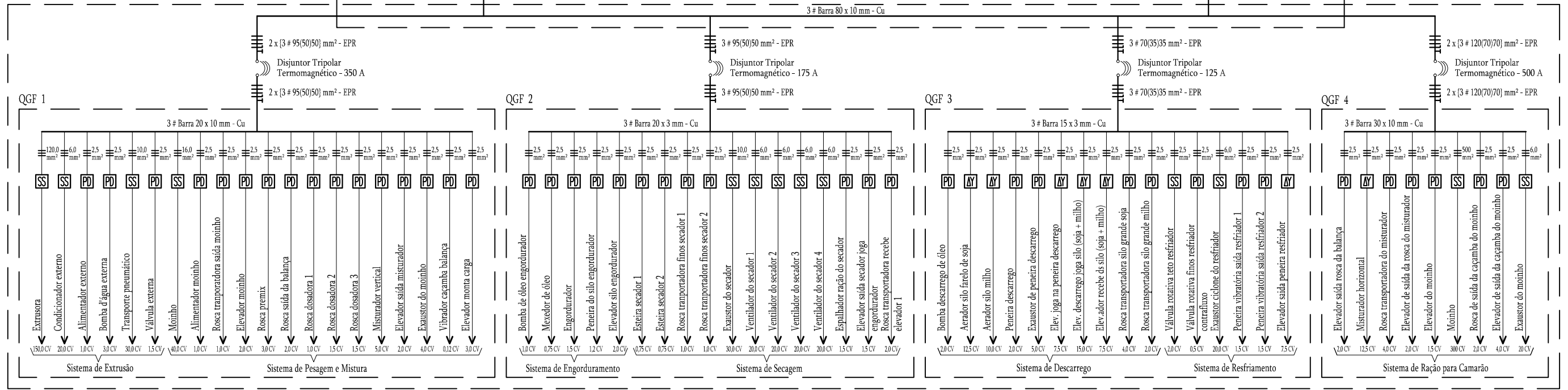
**LEGENDA:**

- SS — Soft Starter
- PD — Partida Direta
- ΔY — Chave Estrela-Triângulo

TRANSFORMAÇÃO



QGBT

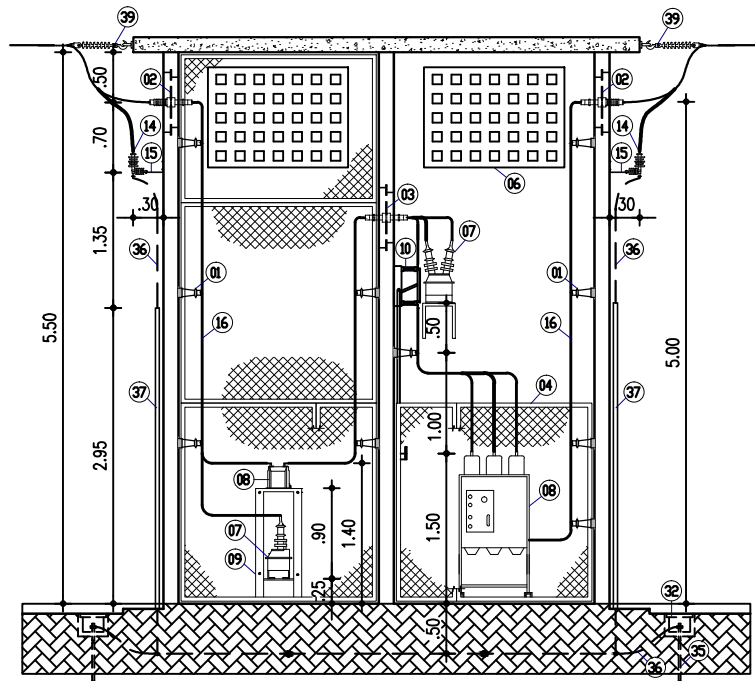


**DIAGRAMA UNIFILAR**  
SEM ESCALA

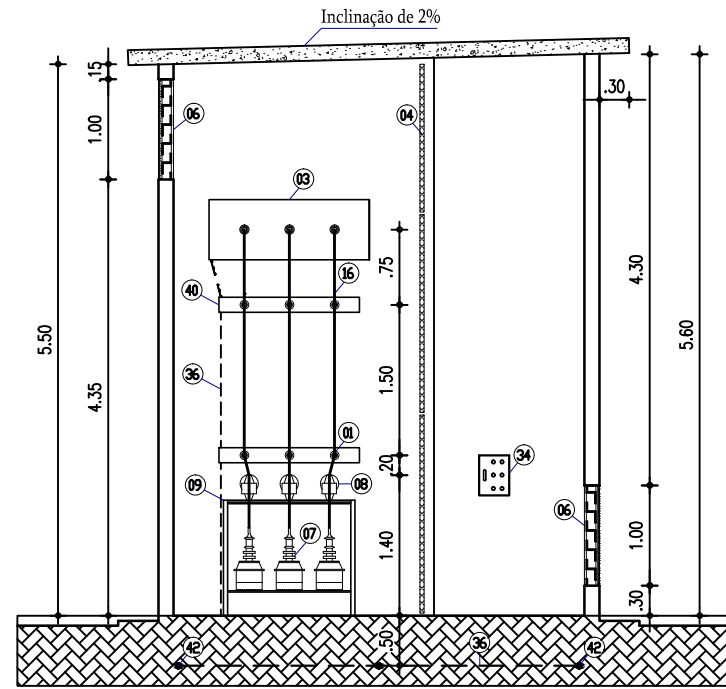
DESENHOS

DIAGRAMA UNIFILAR

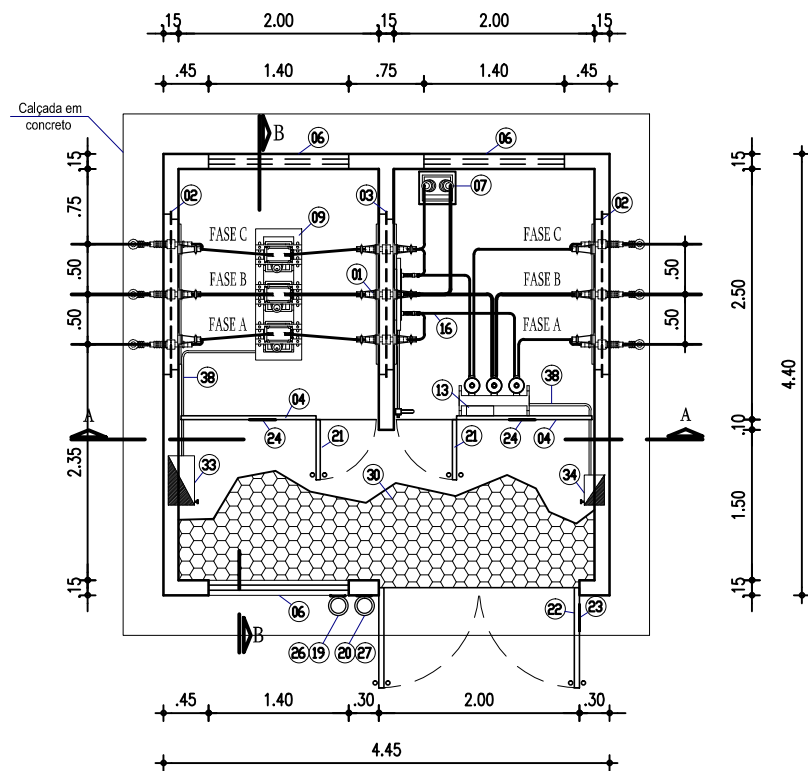
FRANCHA



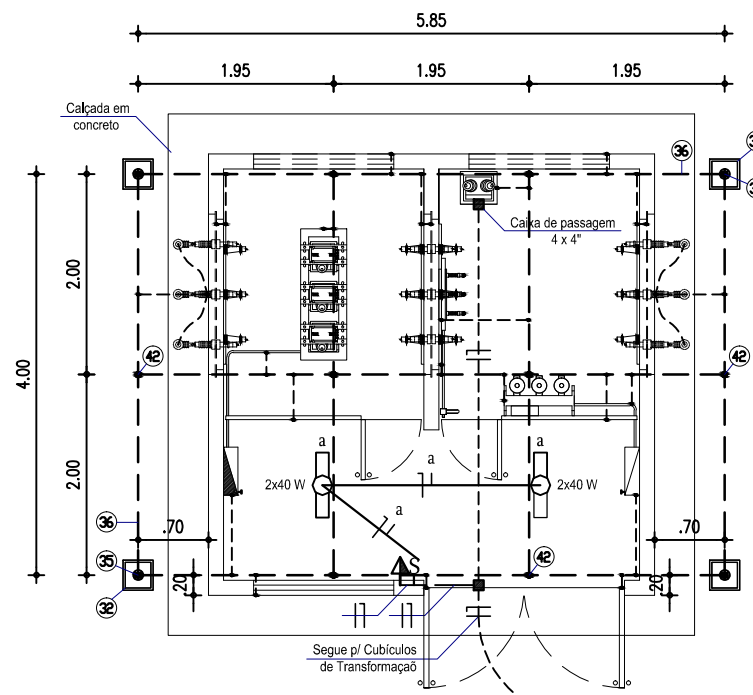
**CORTE AA**  
ESCALA 1/75



**CORTE BB**  
ESCALA 1/75



**CABINE MEDIÇÃO/ PROTEÇÃO**  
ESCALA 1/75



**MALHA DE TERRA E ILUMINAÇÃO**  
ESCALA 1/75

**CONVENÇÕES**

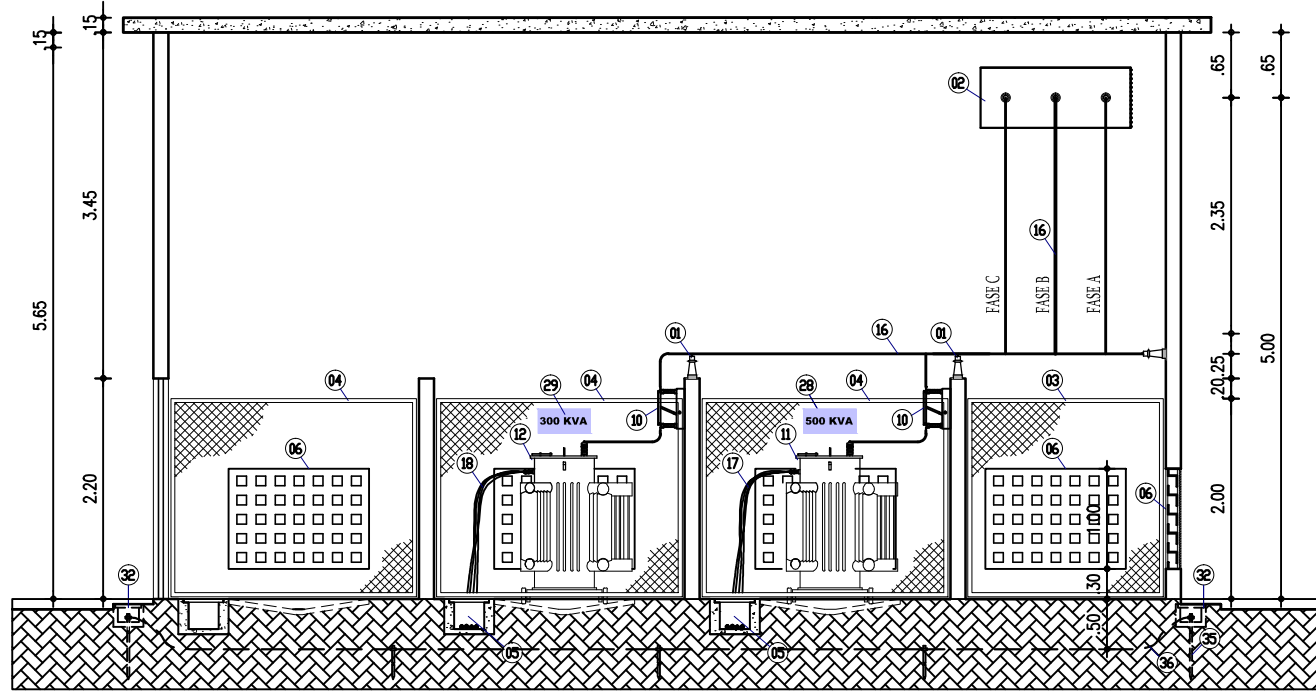
- 01 - Isolador de coluna em porcelana para 15 kV.
- 02 - Placa com bucha de passagem externo/interno ( Ver detalhe )
- 03 - Bucha de passagem interno/ interno
- 04 - Armação em cantoneira "L" com tela metálica ( malha de 10 mm. )
- 05 - Canaleta para passagem de cabos ( 0,30 X 0,30 X 4,00 m )
- 06 - Iluminação e ventilação natural ( Ver detalhe )
- 07 - Transformador de potencial ( 1.000 VA-13.800/115 V )
- 08 - Transformador de corrente 15 kV
- 09 - Mesa para transformador de potencial e de corrente ( Ver detalhe )
- 10 - Chave seccionadora com comando simultâneo nas três fases
- 11 - Transformador trifásico de 500 kVA ( 15 kV-13.800/380/220 V )
- 12 - Transformador trifásico de 300 kVA ( 15 kV-13.800/380/220 V )
- 13 - Disjuntor tripolar à vácuo
- 14 - Pára-raio polimérico
- 15 - Suporte para fixação de pára-raios
- 16 - Varão de cobre eletrolítico de 1/4" ( vermelho, branco e marrom )
- 17 - Cabo de cobre isolado EPR (15 kV/ 2 x {3 # 150(150)} mm<sup>2</sup> )
- 18 - Cabo de cobre isolado EPR (15 kV/ 2 x {3 # 120(70)} mm<sup>2</sup> )
- 19 - Extintor de incêndio CO<sup>2</sup> ( usar em disjuntores )
- 20 - Extintor de incêndio pó químico seco ( usar em transformadores )
- 21 - Porta de acesso aos TP, TCs e disjuntor ( 0,60 X 2,00 m )
- 22 - Porta metálica em duas folhas ( Ver detalhe )
- 23 - Placa de advertência nº 1 ( ver detalhe )
- 24 - Placa de advertência nº 2 ( ver detalhe )
- 25 - Placa de advertência nº 3 ( ver detalhe )
- 26 - Placa de advertência nº 4 ( ver detalhe )
- 27 - Placa de advertência nº 5 ( ver detalhe )
- 28 - Placa de advertência nº 6 ( ver detalhe )
- 29 - Placa de advertência nº 7 ( ver detalhe )
- 30 - Tapete de borracha ( 1,0 x 7,5 m )
- 31 - Quadro geral de baixa tensão
- 32 - Caixa de inspeção de aterramento ( Ver detalhe "C" )
- 33 - Caixa de medição CM-4 ( ver detahe )
- 34 - Caixa do relé de proteção ( ver detalhe )
- 35 - Haste de terra cobreada ( 5/8" x 2,40 m )
- 36 - Cabo de cobre nu de 50 mm<sup>2</sup>
- 37 - Eletroduto de aço galvanizado de 3.00 m. x 1"
- 38 - Eletroduto aparente em aço galvanizado ( Ø 32 mm<sup>2</sup> )
- 39 - Isolador de suspensão polimérico
- 40 - Suporte para instalação de isoladores de pedestal
- 41 - Bacia de contenção de óleo

DESENHOS

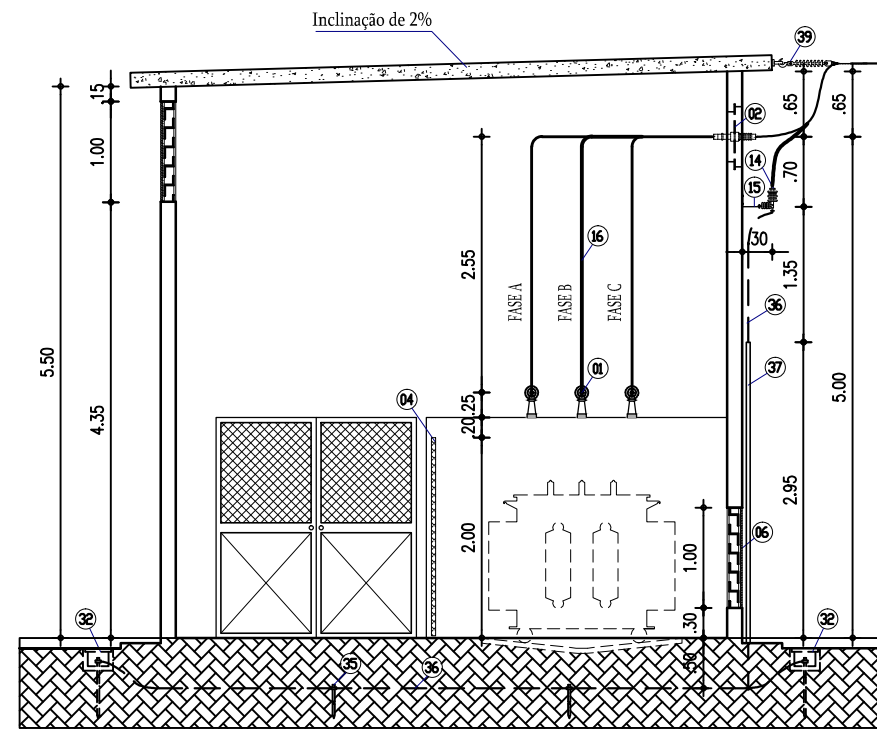
FRANCHA

CUBÍCULOS DE MEDIÇÃO E DE PROTEÇÃO: PLANTA BAIXA,  
CORTES, MALHA DE TERRA, ILUMINAÇÃO E CONVENÇÕES.

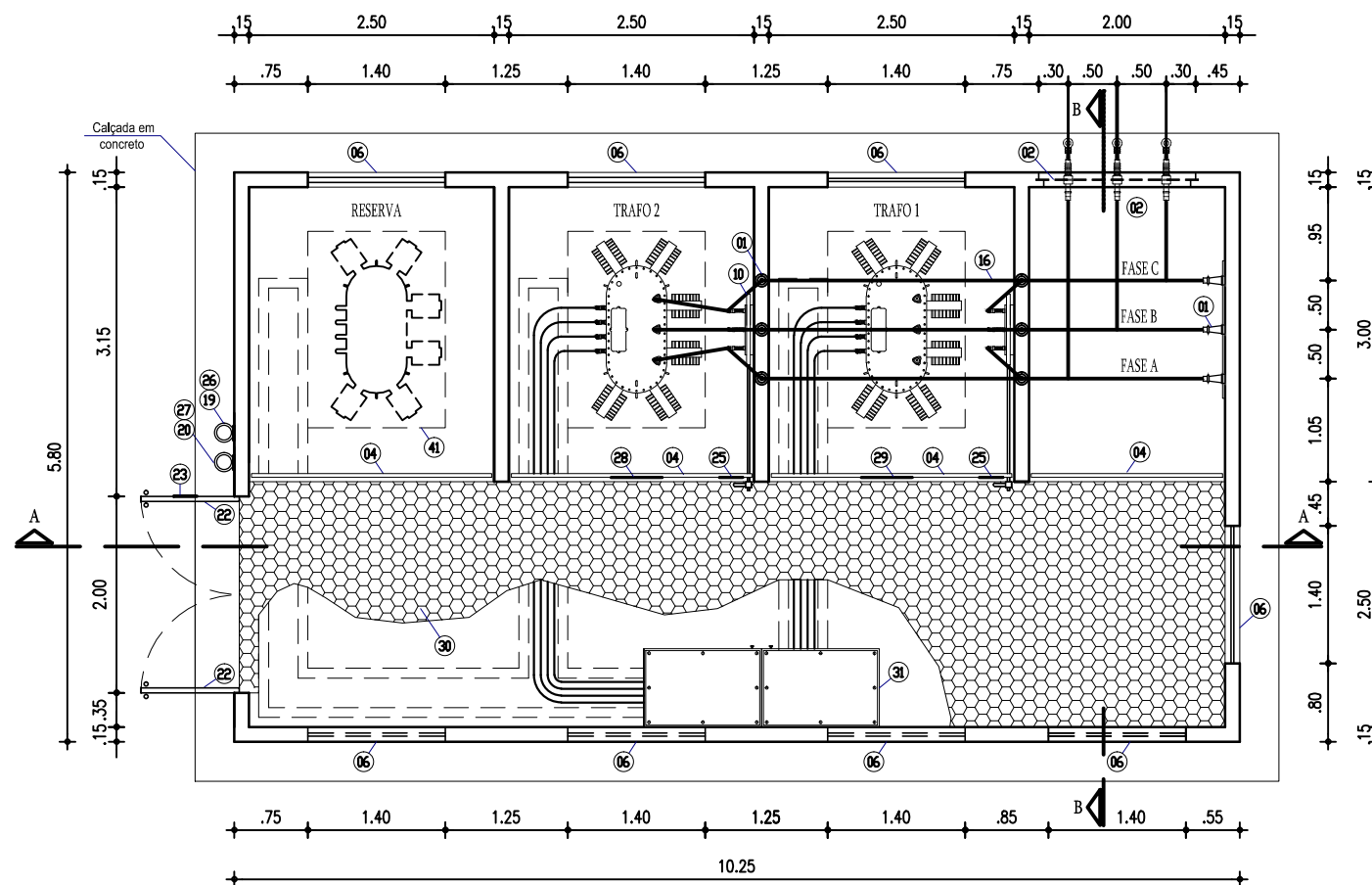
03 / 06



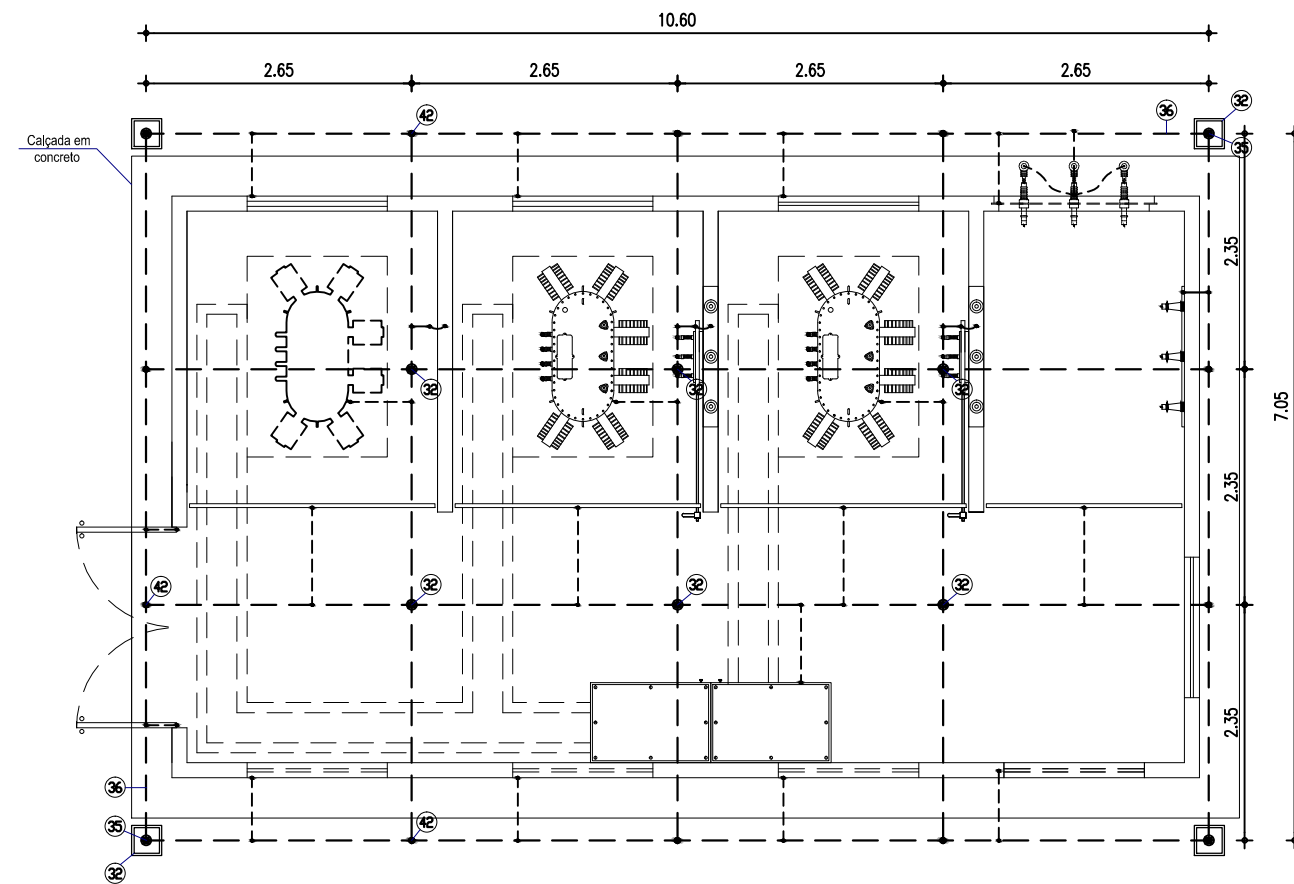
**CORTE AA**  
ESCALA 1/75



**CORTE BB**  
ESCALA 1/75



**CUBÍCULOS DE TRANSFORMAÇÃO**  
ESCALA 1/75



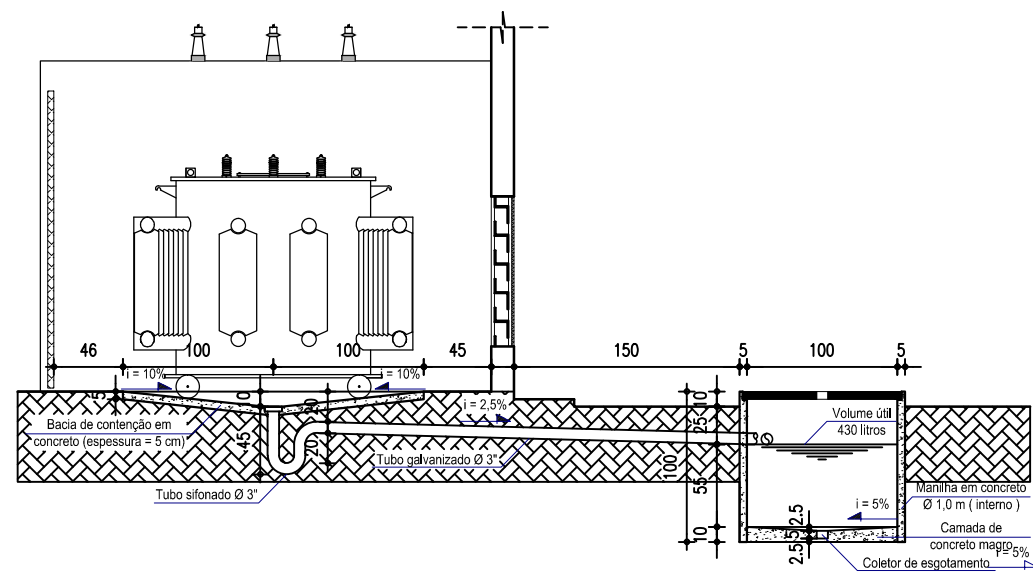
**MALHA DE TERRA**  
ESCALA 1/75

DESENHOS

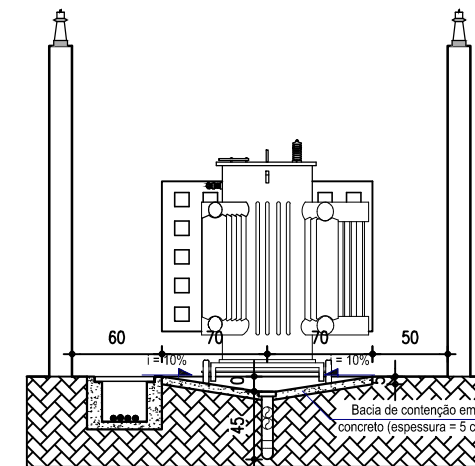
CUBÍCULOS DE TRANSFORMAÇÃO: PLANTA BAIXA, CORTES E MALHA DE TERRA.

PRANCHA

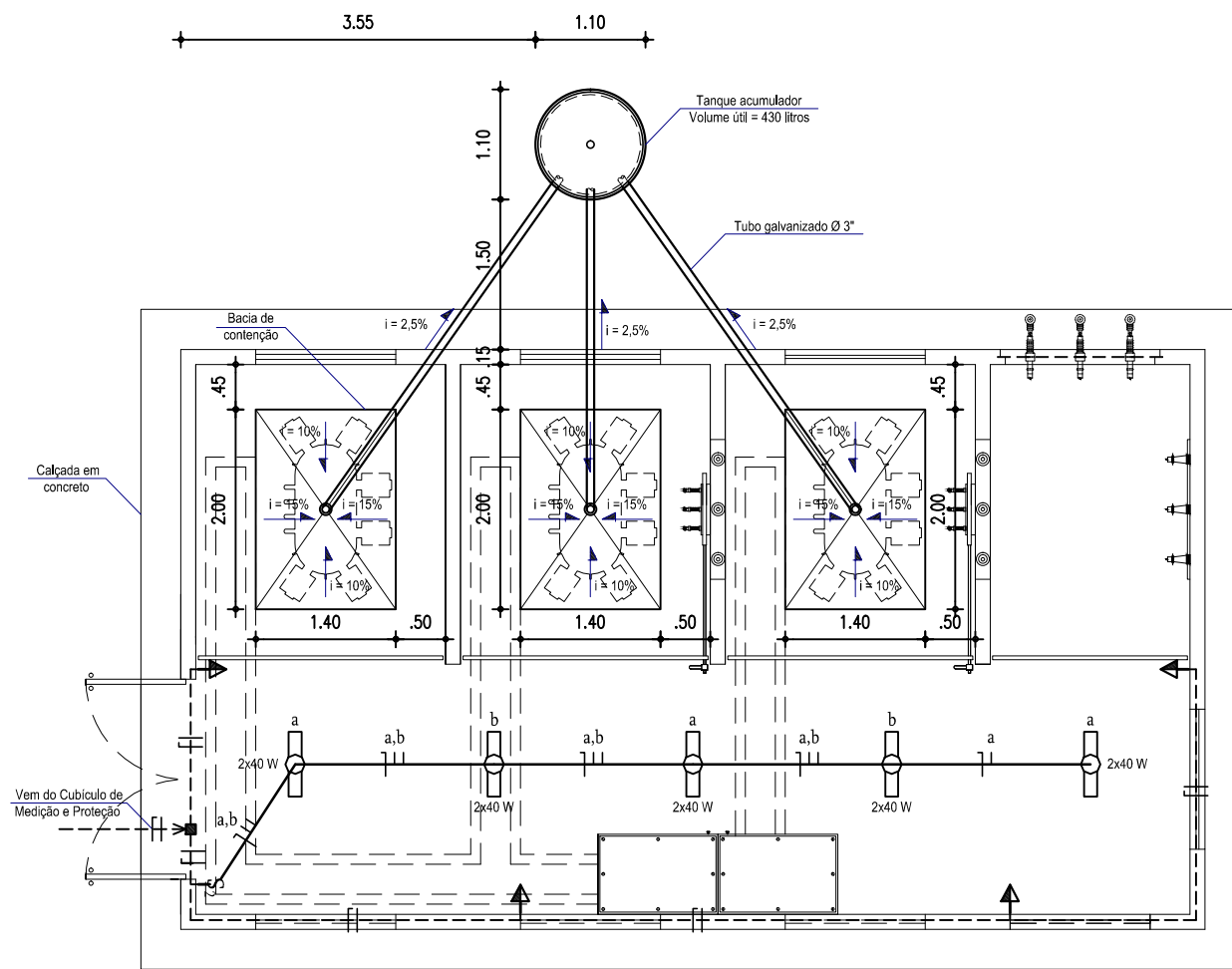
04 / 06



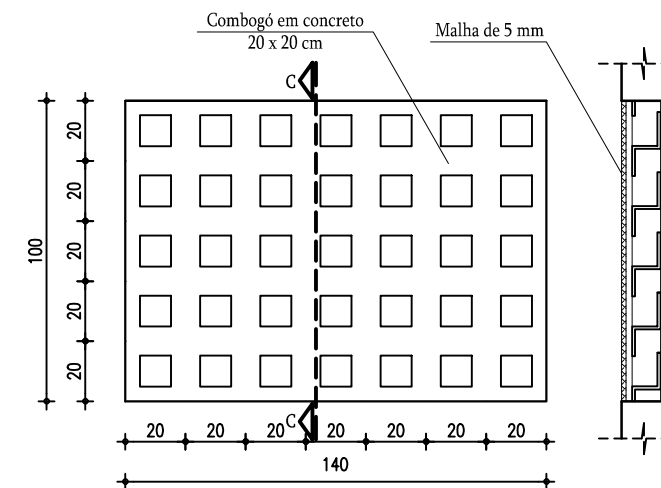
**CONTENÇÃO/ TANQUE ACUMULADOR**  
ESCALA 1/50



**BACIA DE CONTENÇÃO**  
ESCALA 1/50



**SISTEMA COLETOR DE ÓLEO/ ILUMINAÇÃO**  
ESCALA 1/75



**ENTRADA DE VENTILAÇÃO**  
ESCALA 1/25

DESENHOS

**SISTEMA COLETOR DE ÓLEO, DETALHES CONSTRUTIVOS E ILUMINAÇÃO.**

PRANCHA

**05 / 06**

