



**FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC  
ESPECIALIZAÇÃO EM SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA**

MARCELA SANTOS DE CARVALHO

**ANÁLISE TÉCNICA E ECÔNOMICA –  
SUBESTAÇÃO CONVENCIONAL x SUBESTAÇÃO COMPACTA**

Salvador,  
2015

MARCELA SANTOS DE CARVALHO

**ANÁLISE TÉCNICA E ECÔNOMOCA –  
SUBESTAÇÃO CONVENCIONAL x SUBESTAÇÃO COMPACTA**

Monografia apresentada à Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATE como requisito parcial para a obtenção do Título de Especialista em Sistema Elétrico de Potência.

Professor Orientador: Frederico Ramos Cesário.

Salvador,  
2015

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

C331a Carvalho, Marcela Santos de

Análise técnica e econômica subestação convencional x subestação compacta / Marcela Santos de Carvalho. – Salvador, 2015.

41 f. : il. color.

Orientador: Prof. MSc. Frederico Ramos Cesário.

Monografia (Especialização em Sistema Elétrico de Potência) – Programa de Pós-Graduação, Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, Salvador, 2015.

Inclui referências.

1. Subestação convencional. 2. Energia elétrica. 3. Equipamento compacto – Energia elétrica. I. Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC. II. Cesário, Frederico Ramos. III. Título.

CDD: 621.042

“É preciso força pra sonhar e perceber que a estrada vai além do que se vê.”  
(Marcelo Camelo)

## **AGRADECIMENTOS**

A minha família e amigos pela eterna confiança e apoio, aos colegas de trabalho e empresa pelos conhecimentos disponibilizados e adquirido, e pelo auxílio ao meu crescimento profissional e pessoal.

A meus pais, por tudo.

## RESUMO

O trabalho aqui apresentado descreve de maneira simples a análise técnico-econômica realizada para o escopo de uma subestação abaixadora de alta tensão. Para tanto, são expostos os elementos vitais para o perfeito andamento da construção e energização do empreendimento. São apresentados os equipamentos e as definições relacionadas a subestações de energia elétrica. Por fim, é exposto o estudo de caso com a apresentação dos projetos, das análises de custo e implementação do projeto, tecnologia, qualidade e manutenção dos equipamentos.

.

Palavras-chave: subestação, energia elétrica, equipamentos compactos.

## **ABSTRACT**

O resumo traduzido para uma língua estrangeira é um elemento obrigatório e consiste em uma versão do resumo em idioma de divulgação internacional, preferencialmente inglês, espanhol ou francês. Deve aparecer em folha distinta e seguido das palavras isto é, palavras-chave e/ou descritores, na língua escolhida.

Key words: traduza as palavras-chaves

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Subestação.....	9
Figura 2.2 – Transformador de Força.....	10
Figura 2.3 – Transformador de Corrente .....	10
Figura 2.4 – Transformador de Potencial .....	11
Figura 2.5 – Transformador de Serviço Auxiliar .....	11
Figura 2.6 – Disjuntor de Alta Tensão .....	12
Figura 2.7 - Religador.....	13
Figura 2.8 – Banco de Capacitores .....	13
Figura 2.9 – Chave Fusível.....	14
Figura 2.10 – Chave Seccionadora de Alta Tensão.....	14
Figura 2.11 – Pára-raios de Subestação.....	15
Figura 2.12 – Cubículos de Subestação.....	16
Figura 2.13 – Módulo Híbrido de Subestação .....	17
Figura 2.14 – Representação de um Sistema Elétrico .....	19
Figura 2.15 – Casa de Comando de Força.....	20
Figura 2.16 – Banco de Baterias.....	20
Figura 2.17 – Armário de Proteção e Controle .....	21

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sistema Elétrico Brasileiro .....	4
Tabela 2 - Custos para o empreendimento convencional .....	27
Tabela 3 - Custos para o empreendimento compacto.....	27
Tabela 4- Cronograma SE Convencional .....	29
Tabela 5 - Cronograma SE Compacta .....	29

## sumário

1.INTRODUÇÃO.....	3
2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS .....	6
2.1 SUBESTAÇÕES .....	6
2.2 EQUIPAMENTOS DE FORÇA, MANOBRA, PROTEÇÃO E CONTROLE .....	9
2.2.1 EQUIPAMENTOS DE PÁTIO .....	9
3. ESTUDO DE CASO .....	22
3.1 CONCEITO DO PROJETO .....	22
3.2 PROJETO PARA UMA SUBESTAÇÃO CONVENCIONAL .....	23
3.3 PROJETO PARA UMA SUBESTAÇÃO COMPACTA.....	25
3.4 ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA .....	26
3.4.1 CUSTOS .....	26
3.4.2 IMPLEMENTAÇÃO .....	28
3.4.3 TECNOLOGIA .....	28
3.4.4 QUALIDADE.....	28
3.4.5 MANUTENÇÃO .....	30
4 . CONCLUSÃO .....	31
5 . REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32
ANEXOS.....	32

## 1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho objetiva realizar uma análise comparativa sobre a utilização de novas tecnologias nos projetos e na construção de subestações. Para tanto é proposto o seguinte problema: de que forma a utilização de equipamentos compactos e/ou convencionais podem influenciar no desempenho técnico e econômico das concessionárias de energia elétrica.

Porém, para que haja compreensão do tema é necessário conhecer o conceito de subestação elétrica de energia. A primeira SE foi desenvolvida pela ABB (*Asea Brown Boveri*) há aproximadamente 105 anos. O sistema elétrico desenvolvido neste momento não apresentava confiabilidade com equipamentos complexos e com elevada frequência de manutenção. Durante o século XX, grande parte da tecnologia foi desenvolvida para melhorar o sistema elétrico, tanto para subestações industriais quanto para subestações de concessionárias de energia elétrica. Nos anos 60, foi lançada a primeira subestação convencional com equipamentos isolados a gás. A utilização destes equipamentos reduzia em até 90% as dimensões necessárias para a instalação de uma SE.

A substituição da proteção eletromecânica por proteção estática na década de 70, possibilitou o acesso remoto das concessionárias de energia ao sistema que elas operam, visando o controle e a proteção das subestações.

As tecnologias desenvolvidas para subestações de energia elétrica influenciaram também o seu aspecto construtivo. Com o advento das grandes cidades, as SEs deixaram de ser construídas apenas nas periferias para serem instaladas bairros nobres, com terrenos reduzidos. Para atender tal necessidade, foram desenvolvidos os equipamentos compactos com isolamento a ar ou a gás SF<sub>6</sub>, visando a sua compactação e segurança.

No Brasil, o sistema elétrico encontra respaldo para a definição dos níveis de tensão no decreto nº73.080, de 05 de novembro de 1973. Os níveis de tensão permitidos são apresentados abaixo:

Tabela 1 - Sistema Elétrico Brasileiro

Função no Sistema Elétrico	Tensão	Responsáveis
Distribuição	11,9 / 13,8kV	Concessionárias de Energia Elétrica
	23kV	
	34,5kV	
Sub-Transmissão	69kV	
	138kV	
Transmissão	230kV	
	330kV	
	450kV	
Em estudo	500kV	
	750kV	
	1050kV	

As subestações são planejadas, projetadas e construídas de acordo com o nível de tensão e a sua classificação. As SEs com tensão até 34,5kV obedecem às resoluções da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a norma ABNT-14039, os relatórios emitidos pela ABRADDEE ( Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica) e as especificações definidas pelas concessionárias responsáveis pelo serviço de distribuição de energia elétrica. Para as subestações acima de 34,5kV até 138kV, devem ser atendidas as resoluções da ANEEL e as especificações das respectivas concessionárias. Já para subestações que possuam o nível de tensão acima de 138kV, devem atender as exigências do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e as resoluções da ANEEL.

Este trabalho foi planejado para possibilitar o leitor uma maior compreensão sobre o tema. Busca-se definir e descrever o processo técnico e econômico de uma subestação de energia elétrica. É realizada uma análise conceitual, apresentando as características, benefícios e funcionamento de uma subestação de energia elétrica.

Para tanto foi dividido em quatro capítulos: introdução, componentes fundamentais, estudo de caso e conclusão.

No Capítulo 2 são apresentados os componentes fundamentais para que uma subestação possa existir dentro do sistema elétrico como: características das SEs, equipamentos de força e manobra e equipamentos de automação.

Já no Capítulo 3 é apresentado um estudo de caso de uma subestação fictícia, envolvendo dois projetos que diferem tanto tecnicamente como economicamente e suas respectivas análises.

Por fim, o Capítulo 4 apresenta a conclusão do trabalho exposto abordando as dificuldades, possibilidades e conclusões sobre a implantação de subestações de energia no sistema elétrico.

## 2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Este capítulo apresenta os conceitos fundamentais necessários para a perfeita compreensão deste trabalho. Os conceitos aqui definidos são:

- Subestações
- Equipamentos de força, manobra, proteção e controle.

### 2.1 Subestações

Uma subestação é constituída por um conjunto de equipamentos de transformação, equipamentos de manobra, dispositivos de proteção e dispositivos controle com o objetivo de direcionar o fluxo de energia elétrica em um sistema de potência entre a geração e a transmissão e entre a transmissão e a distribuição. Além de direcionar o fluxo de energia, uma subestação tem como funções principais elevar a tensão com a finalidade de reduzir as perdas por efeito Joule ou abaixar a tensão para que a tensão existente na rede elétrica esteja pronta para o consumo. Os níveis de tensão elevados ou abaixados em SE podem variar de 11,9kV a 500kV.

As subestações podem ser classificadas de acordo com alguns critérios, a saber: tipo, relação entre os níveis de tensão, tipo construtivo, instalação, parâmetros elétricos, fluxo de potência e função. A seguir são descritas as classificações das SE's.

a) Quanto ao tipo:

- Subestações de Concessionárias de Energia Elétrica;
- Subestações Industriais.

b) Quanto a Relação entre o nível de tensão de entrada e o nível de tensão de saída:

- Subestações de Manobra: são aquelas que conservam o mesmo nível de tensão na entrada e na saída da SE;
- Subestações Transformadoras: são aquelas SE's que possuem o nível de tensão de entrada diferente do nível de tensão de saída. Por sua vez a SE transformadora é classificada em abaixadora onde a tensão de entrada é superior a tensão de saída ou elevadora onde a tensão de entrada é inferior à tensão

de saída.

c) Quanto ao tipo construtivo:

- Subestações Convencionais: nas SE's convencionais os equipamentos que compõem o pátio são independentes e interligados na montagem;
- Subestações Subterrâneas: aquelas localizadas abaixo do nível do solo;
- Subestações Blindadas: nas SE's blindadas os equipamentos e os barramentos possuem invólucros e isolamento específico;
- Subestações em Cabines Metálicas: são aquelas com todos os equipamentos e todas as suas interligações executados em fábrica.

d) Quanto à instalação:

- Subestações Externas: são aquelas instaladas ao ar livre;
- Subestações Abrigadas: são subestações protegidas das mudanças do tempo e estão instaladas em locais protegidos por um teto;
- Subestação Móvel: é aquela instalada em automóvel de grande porte;
- Subestações internas: são aquelas instaladas nos interiores de edifícios.

e) Quanto aos Parâmetros Elétricos:

- Subestações de Corrente Alternada: são SE's que não modificam a frequência nem o número de fases;
- Subestações Conversoras de Frequência: são subestações que convertem uma frequência em outra frequência desejada;
- Subestações Conversoras de Fase: estas SE's convertem a energia de um número de fases para um número de fases diferente;
- Subestações Alternadoras: são as subestações que convertem a corrente contínua em corrente alternada (CC-CA);
- Subestações Retificadoras: são aquelas que convertem a corrente alternada em corrente contínua (CA-CC);
- Subestações Mutadoras: são as subestações que convertem corrente contínua em corrente alternada e vice-versa (CC-CA e CA-CC).

f) Quanto ao Fluxo de Potência entre a SE e o Sistema de Transmissão:

- Subestações Transmissoras – são aquelas subestações em que o sentido do fluxo de potência é da subestação para o sistema de transmissão;
- Subestações Secionadoras: são aquelas SE's de manobras que contidas em uma linha de transmissão;
- Subestações Receptoras: são aquelas subestações em que o sentido do fluxo é do sistema de transmissão para a SE.

g) Quanto a sua função:

- Subestações de Transmissão: são aquelas SE's conectadas a linhas de transmissão que tem como função realizar o transporte de energia elétrica em bloco entre subestações;
- Subestações de Sub Transmissão: são aquelas SE's conectadas a linhas de sub transmissão que tem como função realizar o transporte de energia elétrica entre subestações de transmissão e subestações de distribuição;
- Subestações de Distribuição: são aquelas SE's que recebem a energia das linhas de sub transmissão e realizam o transporte desta energia para a rede de distribuição.

A Figura 2.1 apresenta uma subestação convencional transformadora de concessionária de energia.



**Figura 2.1 - Subestação**

## **2.2 Equipamentos de Força, Manobra, Proteção e Controle**

Visando a ampla compreensão, são apresentadas as definições dos itens que compõe os tipos de subestações descritas acima. São eles:

### **2.2.1 Equipamentos de Pátio**

- a) Transformador de Força (Trafo): é o equipamento que converte uma determinada tensão em outra tensão desejada. A potência do trafo depende da carga que é suprida pela subestação. A Figura 2.2 ilustra um transformador de força.



**Figura 2.2 - Transformador de Força**

- b) Transformador de Corrente (TC): o transformador de corrente converte uma corrente primária nominal em uma corrente secundária nominal padronizada em 5A. O TC pode ser utilizado para medição e para proteção da linha. A Figura 2.3 apresenta um TC.



**Figura 2.3 - Transformador de Corrente**

- c) Transformador de Potencial (TP): o transformador de potencial converte uma tensão primária em uma tensão secundária padronizada 115V. Este transformador de potencial é representado na Figura 2.4.



**Figura 2.4 - Transformador de Potencial**

- d) Transformador de Serviço Auxiliar (TSA): responsável pelo fornecimento de CA para os equipamentos da SE, o transformador de serviço auxiliar é responsável pela alimentação da carga de iluminação da unidade consumidora. A Figura 2.5 apresenta o TSA.



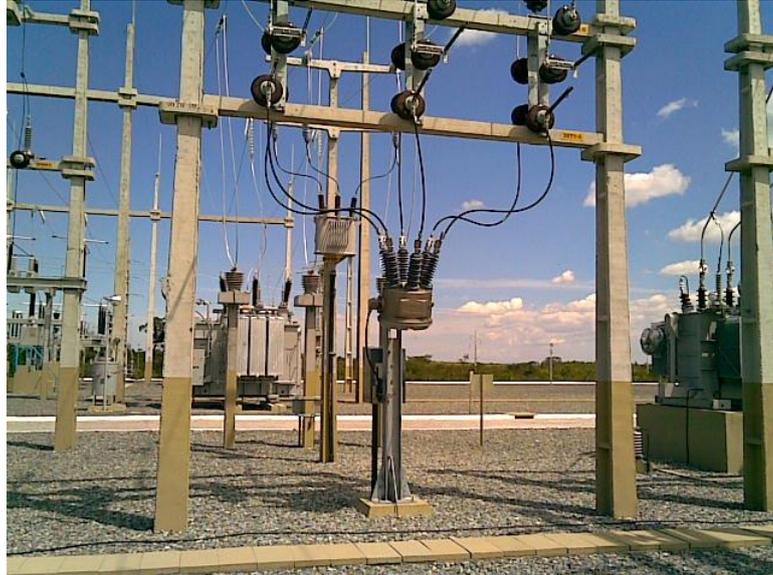
**Figura 2.5 - Transformador de Serviço Auxiliar**

- e) Disjuntor: é um equipamento de manobra e segurança operando em estado aberto e fechado. Quando o equipamento está no estado fechado ou ligado deve suportar a corrente nominal da linha, sem ultrapassar os limites de temperatura permitidos. Já quando o equipamento está no estado aberto ou desligado, a distância de isolamento entre contatos deve suportar a tensão de operação, assim como deve suportar as sobretensões internas. O equipamento é ilustrado na Figura 2.6.



**Figura 2.6 - Disjuntor de Alta Tensão**

- f) Religador: o equipamento apresentado na Figura 2.7 protege um circuito de sobrecorrente abrindo e fechando seus contatos um determinado numero de vezes especificado pelas concessionárias.



**Figura 2.7 - Religador**

- g) Banco de Capacitores: é um conjunto de capacitores capaz de introduzir capacitância no circuito que está inserido, realizando a compensação reativa capacitiva, reduzindo assim, o fator de potência e as perdas de transmissão. Tal equipamento é apresentado na Figura 2.8.



**Figura 2.8 - Banco de Capacitores**

- h) Chave Fusível: é um equipamento de proteção contra sobrecorrente que ocorre no circuito. Quando ocorrer sobrecorrente, o equipamento abre sem a

possibilidade de rearmar o equipamento. A chave fusível é ilustrada na Figura 2.9.



**Figura 2.9 - Chave Fusível**

- i) Chave Seccionadora: representado na Figura 2.10, é um equipamento de manobra que tem como função isolar os equipamentos, zonas de barramentos e trechos de linhas de transmissão.



**Figura 2.10 - Chave Seccionadora de Alta Tensão**

- j) Pára-raios: é um dispositivo que tem como função proteger os equipamentos elétricos de surtos de tensão decorrentes de descargas atmosféricas,

escoando-as para terra através do sistema de aterramento. Na Figura 2.11 é apresentado um pára-raios.



**Figura 2.11 - Pára-raios de Subestação**

- k) **Cubículos de Força:** São equipamentos compactos, utilizados para proteção, seccionamento e medição de subestações. Possui isolamento seguro e equipamentos embarcados com visores para o monitoramento externo, garantindo assim, maior grau de segurança para os indivíduos que são responsáveis pela manutenção da SE. Os cubículos podem ser adquiridos de acordo com a sua funcionalidade. São denominados cubículos de: transformador, alimentador, banco de capacitores, proteção e interligação de barras. O equipamento e seu barramento são representados pela figura 2.12.



**Figura 2.12 - Cubículos de Subestação**

- l) **Módulo Híbrido:** Com alto nível de segurança, este equipamento compacto traz componentes de manobra e proteção fundamentais para uma subestação. Para alta tensão, na entrada/saída de linha, possui disjuntores, TC's e chaves seccionadoras em um único equipamento. Já o módulo utilizado para proteção dos transformadores, o equipamento será composto de apenas disjuntores e chaves seccionadoras. O modulo híbrido é apresentado na figura 2.13.



**Figura 2.13 - Módulo Híbrido de Subestação**

Caso opte por abrigar os cubículos, é necessária uma construção em alvenaria denominada casa de cubículos ou galpão de cubículos contendo canaletas de força e controle para alimentação, monitoramento, proteção e controle dos equipamentos.

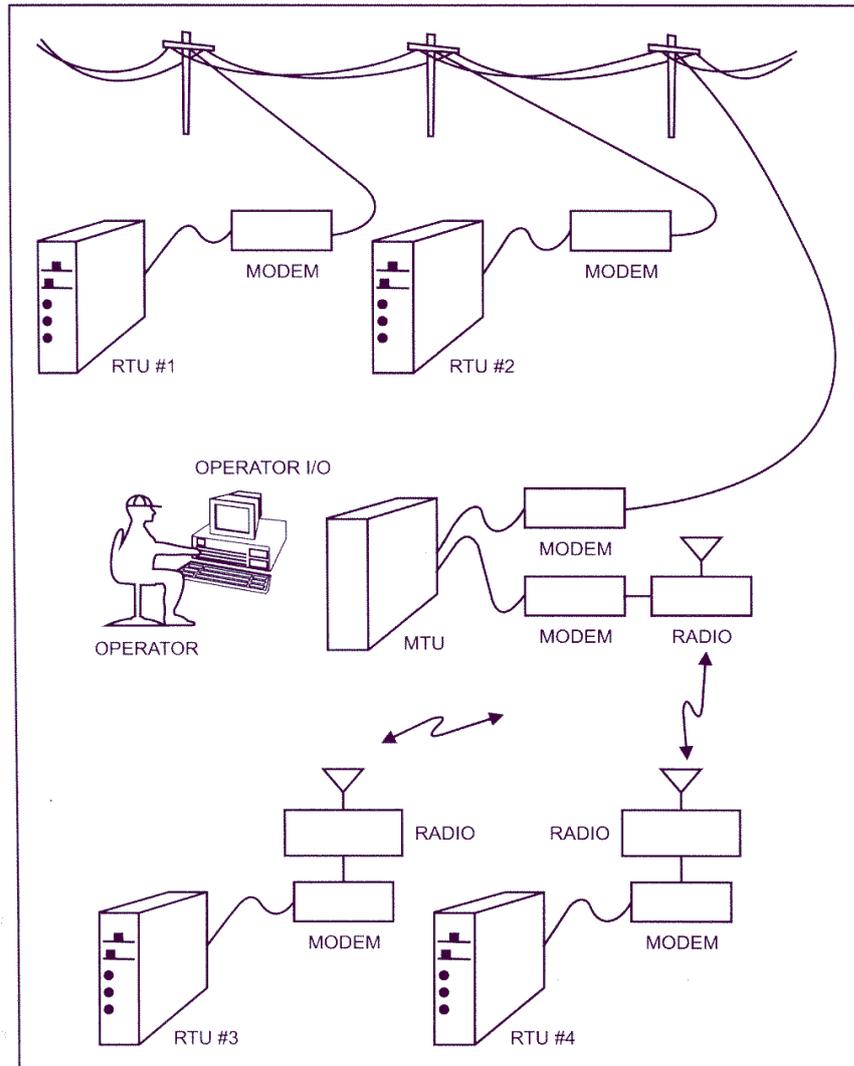
### **2.2.1 Equipamentos de Automação**

- a) Dispositivos Eletrônicos Inteligentes (IEDs): Em um sistema elétrico automatizado, os dispositivos eletrônicos inteligentes desempenham funções de proteção, controle e monitoração. Os dispositivos possuem uma memória capaz de armazenar instruções do *software* utilizado no sistema elétrico, com isso, tem a capacidade de receber e enviar informações para um sistema remoto. Tais equipamentos, tem capacidade de comunicação com outros

dispositivos digitais de diferentes fabricantes através da utilização de protocolos de comunicação. Possui funções de proteção, medição, monitoramento e controle.

- b) Unidade Terminal Remota (UTR): Possibilita a operação remota de manobra, a análise de dados em tempo real de grandezas elétricas (corrente fase, tensão fase e tensão contínua), alarmes e bloqueios.
- c) Interface Homem-Máquina (IHM): É o canal que permite a interação entre o homem e os equipamentos. Tal comunicação é cumprida através de comandos de controle tais como atuação de proteção, alteração de tap's, manobras de equipamentos dentre outras, realizados pelo usuário e as respostas provenientes dos equipamentos. Estas respostas são compostas por sinais, que podem ser: gráficos, acústicos e tácteis.
- d) Controle Supervisório e de Aquisição de Dados (SCADA): É uma tecnologia que permite ao usuário do sistema coletar informações dos equipamentos e enviar comandos de controle para os dispositivos da subestação. Isto possibilita que o operador monitore a SE a distância, a partir de um centro de controle, que possui todos os dados dos equipamentos controlados disponíveis durante tempo real e integral. Diferente do que é pensado o sistema SCADA não diz respeito somente ao programa supervisório, ele agrupa a IHM, os IED's, os equipamentos e protocolos de comunicação.

A figura 2.14 apresenta o sistema de uma subestação automatizada que utiliza os equipamentos descritos acima.



**Figura 2.14 - Representação de um Sistema Automatizado**

A casa de comando é uma estrutura de fundamental importância na subestação. Com um ambiente climatizado, a casa de comando abriga os equipamentos de proteção e controle que compõem o SAS. Apenas os dispositivos de proteção intrínsecos aos equipamentos elétricos estão localizados fora da casa de comando. A Figura 2.15 representa uma casa de comando.



**Figura 2.15 - Casa de Comando de Força**

Dividida em duas partes, sala de comando e sala de baterias, a casa de comando de automação possibilita a aproximação dos IED's de diferentes fabricantes facilitando a monitoração e manutenção destes equipamentos. Os IED's estão locados na sala de comando e são alimentados por corrente contínua gerada pelo banco de baterias. A figura 2.16 ilustra uma sala de baterias e a Figura 2.17 apresenta um armário de proteção e controle onde estão localizados os IED's



**Figura 2.16 - Banco de Baterias**



**Figura 2.17 - Armário de Proteção e Controle**

### 3. ESTUDO DE CASO

Este capítulo objetiva exibir uma aplicação real dos conceitos fundamentais apresentados no capítulo anterior. Será realizada a análise técnica-econômica entre dois projetos para uma subestação fictícia, abaixadora de tensão 69kV-13,8kV, com o mesmo conceito porém, com configurações físicas e econômicas diferentes.

#### 3.1 Conceito do Projeto

O projeto de construção da subestação de energia elétrica deve apresentar a configuração final descrita abaixo:

- Conexão para duas entradas de linha de distribuição com tensão de 69kV;
- Dois transformadores de força 69-13,8kV, com potência de 15/20/25MVA cada, totalizando a potência de 50MVA da SE;
- Dez saídas de alimentadores com tensão de 13,8kV;
- Dois bancos de capacitores de 3,6MVAr.

O layout final da subestação deve apresentar a configuração descrita abaixo:

- As entradas de linha de distribuição com tensão 69kV em barramento simples, com disjunção, transformador de corrente e transformador de potencial para medição e proteção da SE, chaves seccionadoras e pararraios para proteção da subestação;
- A conexão do transformador de força deve apresentar na alta tensão disjunção, chaves seccionadoras e pára-raios. Já na baixa tensão, a conexão do transformador de força deve ser composta por pára-raios, transformador de corrente, disjunção, chaves seccionadoras e transformador de serviço auxiliar protegidos por chaves fusíveis;
- As saídas de alimentadores devem ser compostas por disjunção, chaves seccionadoras, pára-raios e transformador de corrente;
- Os bancos de capacitores devem possuir disjunção, chave tripolar, pára-raios, transformador de corrente e reatores limitadores de corrente;
- Para proteção devem ser utilizados os seguintes equipamentos: IEDs com funções de sobrecorrente instantânea e temporizada de fase e neutro, sobrecorrente direcional de fase e neutro, sobretensão de fase e neutro, proteção direcional, regulador de tensão, religamento e relés auxiliares.

Os equipamentos necessários para a construção da subestação são

descriminados a seguir:

- Disjuntor tripolar 72,5 kV, 1250 A, 31,5 kA;
- Chave seccionadora tripolar, 72,5 kV, 1250 A, 31,5 kA, para conexão ao barramento simples;
- Chave seccionadora tripolar, 72,5 kV, 1250 A, 31,5 kA, para isolamento e aterramento com lâmina de terra;
- Transformador de potencial  $69000/\sqrt{3}$ -115/115/ $\sqrt{3}$ , na fase B;
- Transformadores de corrente 72,5 kV, relações 1200/800 x 600/400 – 5 – 5 A;
- Pára-raios 72 kV, 10 kA;
- Transformador de força 69/13,8kV, 15/20/25MVA;
- Disjuntor tripolar 15 kV, 2000 A, 25 kA;
- Chaves seccionadoras tripolares, 15 kV, 2000 A, 16 kA, para isolamento e “by-pass”;
- Transformador de serviços auxiliares 13.800 – 220/127 V, 30 kVA, protegido por chaves fusíveis 10A;
- Transformadores de corrente 2000/1600/1200 x 1000/800/600 – 5 – 5 A;
- Pára-raios 12 kV, 10 kA;
- Disjuntor tripolar, 15 kV, 800 A, 25 kA;
- Chaves seccionadoras tripolares 15 kV, 630 A, 25 kA, para isolamento e “by-pass”;
- Transformadores de corrente 15 kV, relações 600/400x300/200 - 5 – 5 A;
- Chave tripolar, 15 kV, 630 A, 25 kA;
- Reatores limitadores de corrente 13.8kV, 125 $\mu$ H;
- Transformadores de corrente 15 kV, relações 400/100x200/50 - 5 – 5 A.

### **3.2 Projeto para uma Subestação Convencional**

O projeto apresentado neste item foi desenvolvido para uma subestação aérea, composta por equipamentos convencionais tanto na alta tensão, quanto na média tensão. Serão apresentados os desenhos técnicos elaborados, bem como a descrição técnica dos equipamentos necessários para o perfeito funcionamento da SE.

A subestação 69-13,8kV será composta de barramento simples na alta tensão da SE e barramento principal e transferência na baixa tensão. O barramento de 13,8kV deve possuir disjuntor de transferência, visando atender ao possível trip no

disjuntor geral, transferindo assim, a proteção para o disjuntor instalado no barramento de baixa tensão. Para o barramento simples de 69kV, também deve ser instalada uma chave seccionadora de modo a possibilitar mutação da alimentação da SE. O arranjo definido contemplará todos os equipamentos descritos no item 3.1, atendendo assim, as exigências do planejamento. O anexo 1 apresenta o diagrama unifilar definido para a subestação abaixadora.

Para a construção de uma subestação com essa configuração, é necessário um terreno de aproximadamente 10.000m<sup>2</sup> (dez mil metros quadrados). Esta dimensão pode variar de acordo com as condições do terreno selecionado.

O arranjo geral planta definido para a subestação em questão respeita os espaçamentos entre fase-fase e fase-neutro regulamentados na norma NEMA SG-6. Além das estruturas e equipamentos, neste arranjo também são definidos os acessos de veículos, a casa de comando, as canaletas de força e controle e os limites da SE dentro do terreno. O arranjo geral planta é representado no anexo 2 deste trabalho.

Após a confecção da planta, é definido o arranjo geral cortes do projeto. Todos os cortes contêm a representação dos respectivos equipamentos e estruturas, bem como as cotas que os limitam e o tipo de fixação. Os anexos 3 e 4 apresentam os cortes estabelecidos no arranjo geral planta.

Para os barramentos, serão utilizadas estruturas de concreto, cabos de alumínio e tubo em alumínio extrudado. As bases dos equipamentos são confeccionadas em concreto armado e dimensionadas de acordo com a especificação dos equipamentos e com a distância de segurança pessoal estabelecida na norma NEMA SG-6.

A iluminação externa da SE é definida de acordo com a necessidade de cada trecho e as dimensões do terreno. Já a malha de terra, é dimensionada de acordo com o resultado das medições de resistência realizadas no local, e calculados através do software TecAt Plus. Com isso, o desenho da malha de terra é desenvolvido e todo o aterramento deve ser realizado de acordo com a norma ABNT NBR 15751.

Todo o material da subestação deve ser listado após a conclusão e aprovação de todos os desenhos técnicos necessários para a construção da SE.

### 3.3 Projeto para uma Subestação Compacta

Neste item será apresentado o projeto definido para uma subestação aérea utilizando equipamentos compactos para a alta tensão e para a baixa tensão. Tais equipamentos possibilitam a instalação da SE em um terreno com dimensões inferiores a apresentada para a implantação de uma subestação aérea composta por equipamentos convencionais. Assim como o item anterior, neste item será apresentado os desenhos técnicos desenvolvidos e necessários para o perfeito funcionamento da subestação abaixadora de tensão.

Seguindo o conceito do projeto, a SE será composta de um barramento simples no 69kV e barramento principal e transferência no 13,8kV. Os cubículos são os responsáveis pelos alimentadores e pelo disjuntor geral da baixa tensão. Serão instalados também cubículos de interligação de barra responsáveis pelo seccionamento das barras, possibilitando assim, diferentes tipos de alimentação de tensão. Para o barramento de 69kV serão utilizados módulos híbridos, compactando assim o espaço necessário para a instalação da SE. Uma chave seccionadora será instalada para o bay-pass do módulo híbrido geral do transformador. Para ampla compreensão do projeto, deve-se analisar o diagrama unifilar apresentado no anexo 5.

Com os equipamentos compactos a área para construção de uma subestação abaixadora 69-13,8kV com as características informadas no conceito do projeto é de aproximadamente 3.000m<sup>2</sup> (três mil metros quadrados). A área necessária pode variar de acordo com as condições do terreno selecionado.

Como descrito no item 3.2, o arranjo geral planta definido para a subestação em questão respeita os espaçamentos entre fase-fase e fase-neutro regulamentados na norma NEMA SG-6.

No arranjo geral planta, representado no anexo 6, pode-se observar as estruturas para barramento, os equipamentos necessários, as canaletas, os acessos de veículos. Convém observar, que neste caso específico, a casa de comando e o galpão de cubículos estão alocados em uma mesma estrutura. Para isso, foi desenvolvido um pequeno prédio de dois andares que abriga na parte inferior o galpão de cubículos e na parte superior a sala de comando.

Com o arranjo planta definido, os cortes são desenvolvidos respeitando o conceito do projeto. O anexo 7 apresenta os cortes com os equipamentos e

estruturas de concreto, bem como as cotas limitadoras e os tipos de fixação dos equipamentos e estruturas de barramento.

Neste item as bases dos equipamentos também possuem como material construtivo o concreto armado e são definidas de acordo com a norma de distância de segurança pessoal, NEMA SG-6, e com as especificações dos equipamentos.

Assim como o projeto de uma subestação convencional, a iluminação externa da SE é definida de acordo com a necessidade de cada trecho e as dimensões do terreno. Já a malha de terra, é dimensionada de acordo com o resultado das medições de resistência realizadas no local, e calculados através do software TecAt Plus. Com isso, o desenho da malha de terra é desenvolvido e todo o aterramento deve ser realizado de acordo com a norma ABNT NBR 15751.

A lista de material irá apresentar todo o material necessário para o bom andamento do projeto durante a sua construção e posterior energização e operação.

### **3.4 Análise Técnico-Econômica**

O sub-item 3.4 objetiva apresentar ao leitor a comparação técnico- econômica entre as subestações descritas nos itens anteriores deste capítulo. Serão analisados itens como custo, tempo de implementação, tecnologia, qualidade e manutenção.

#### **3.4.1 CUSTOS**

Inicialmente, serão apresentados os custos dos projetos referentes a SE Convencional e a SE Compacta. Tal análise auxilia na tomada de decisão para indicar o empreendimento que apresenta maior viabilidade técnico-econômica.

Todos os custos necessários para a conclusão dos empreendimentos estão listados abaixo. A tabela 2 apresenta os custos da subestação convencional descrita no sub-item 3.2. Já a tabela 3, apresenta os custos referente ao projeto e execução da SE do sub-item 3.3.

Tabela 2 - Custos para o empreendimento convencional

<b>Projeto – SE Convencional</b>	<b>Custo</b>
<b>Terreno</b>	R\$ 520.000,00
<b>Anteprojeto</b>	R\$ 6.500,00
<b>Equipamentos</b>	R\$ 1.978.816,57
<b>Materiais Diversos (cabos e ferragens)</b>	R\$ 653.131,78
<b>Estruturas de Concreto</b>	R\$ 33.588,63
<b>Projeto Civil</b>	R\$ 30.000,00
<b>Projeto Eletromecânico</b>	R\$ 25.000,00
<b>Projeto Elétrico</b>	R\$ 25.000,00
<b>Construção Civil</b>	R\$ 1.800.000,00
<b>Montagem Eletromecânica e Elétrica</b>	R\$ 780.000,00
<b>Comissionamento &amp; Energização</b>	R\$ 16.000,00
<b>Outros</b>	R\$ 120.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 5.988.036,98</b>

Tabela 3 - Custos para o empreendimento compacto

<b>Projeto – SE Compacta</b>	<b>Custo</b>
<b>Terreno</b>	R\$ 320.000,00
<b>Anteprojeto</b>	R\$ 6.500,00
<b>Equipamentos</b>	R\$ 2.578.055,34
<b>Materiais Diversos (cabos e ferragens)</b>	R\$ 358.194,62
<b>Estruturas de Concreto</b>	R\$ 21.196,35
<b>Projeto Civil</b>	R\$ 30.000,00
<b>Projeto Eletromecânico</b>	R\$ 25.000,00
<b>Projeto Elétrico</b>	R\$ 25.000,00
<b>Construção Civil</b>	R\$ 850.000,00
<b>Montagem Eletromecânica e Elétrica</b>	R\$ 530.000,00
<b>Comissionamento &amp; Energização</b>	R\$ 7.000,00
<b>Outros</b>	R\$ 70.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 4.820.946,31</b>

Analisando os dados expostos, deve-se optar pela elaboração e execução do projeto de subestação compacta, visto que, embora apresente um custo elevado com equipamentos, os demais itens para a completa execução e funcionamento do

empreendimento apresentam um custo inferior ao dos mesmos itens relacionados para a subestação convencional.

### **3.4.2 IMPLEMENTAÇÃO**

A implementação das SE's é exposta de acordo com o cronograma representado na tabela 4 e na tabela 5. Ao analisar os cronogramas, verifica-se que a opção mais viável é a da subestação compacta apresentada no sub-item 3.3 devido ao processo para a sua conclusão necessitar de um período inferior ao da subestação do sub-item 3.2.

É importante ressaltar que os cronogramas apresentados correspondem ao período necessário para a execução do projeto e respectiva obra. Para estabelecer o cronograma de entrega de equipamentos e materiais, deve-se acordar com os fornecedores os devidos prazos.

### **3.4.3 TECNOLOGIA**

Conforme apresentado no capítulo 02 deste trabalho, conclui-se que a subestação compacta é a melhor opção em termos tecnológicos, já que seus equipamentos compactos comportam maior nível de segurança tanto para o sistema quanto para o operador.

### **3.4.4 QUALIDADE**

A qualidade dos equipamentos e materiais necessários para ambos os projetos são equivalentes, visto que estes devem obedecer os critérios estabelecidos pelas normas que regulam o sistema elétrico brasileiro. Portanto, quanto a qualidade, a escolha do equipamento indefere para a escolha do projeto a ser executado.

Tabela 4- Cronograma SE Convencional

Atividades		MÊS																	
Id	Descrição	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Aquisição do Terreno	■	■	■															
2	Anteprojeto				■	■	■												
3	Aquisição/Entrega de Equipamentos						■	■	■	■	■	■							
4	Projeto Civil						■	■	■	■	■								
5	Projeto Eletromecânico						■	■	■	■	■	■							
6	Projeto Elétrico							■	■	■	■	■							
7	Aquisição/Entrega de Estruturas de Concreto									■	■	■	■						
8	Aquisição/Entrega de Materiais Diversos									■	■	■	■	■					
9	Construção Civil									■	■	■	■	■	■				
10	Montagem Eletromecânica e Elétrica														■	■	■	■	■
11	Comissionamento e Energização																		■

## LEGENDA:

■	CONVENCIONAL
■	COMPACTA

Tabela 5 - Cronograma SE Compacta

Atividades		MÊS																	
Id	Descrição	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Aquisição do Terreno	■	■																
2	Anteprojeto			■	■														
3	Aquisição/Entrega de Equipamentos					■	■	■	■	■	■								
4	Projeto Civil					■	■												
5	Projeto Eletromecânico					■	■	■											
6	Projeto Elétrico							■	■	■	■								
7	Aquisição/Entrega de Estruturas de Concreto								■	■	■								
8	Aquisição/Entrega de Materiais Diversos								■	■	■								
9	Construção Civil									■	■	■							
10	Montagem Eletromecânica e Elétrica										■	■	■						
11	Comissionamento e Energização												■						

## LEGENDA:

■	CONVENCIONAL
■	COMPACTA

### **3.4.5 MANUTENÇÃO**

Os equipamentos compactos apresentados neste trabalho são os mais viáveis para a manutenção, já que os mesmos possuem garantia do fabricante acima de dez anos.

Já os equipamentos convencionais, possuem a garantia inferior, bem como, limitada pela quantidade de atuação a que o equipamento é exposto.

## 4 . CONCLUSÃO

Neste trabalho é apresentado o estudo técnico-econômico de duas subestações com o mesmo conceito elétrico e diferentes arranjos físicos, visando à definição da opção mais viável para a concessionária de energia.

A tecnologia desenvolvida por fabricantes em seus equipamentos compactos, permitiu ao sistema elétrico brasileiro adequar subestações de potências elevadas em um espaço físico reduzido. Tal solução garante as concessionárias de energia, o atendimento da demanda existente nas grandes capitais e regiões metropolitanas.

Este estudo possibilitou a análise de aspectos econômicos como custos e implantação dos empreendimentos, bem como, aspectos técnicos envolvendo assim, tecnologia, qualidade e manutenção dos equipamentos e materiais selecionados.

Embora os equipamentos compactos apresentem valor de compra superior aos equipamentos convencionais, os compactos apresentam valor agregado de garantia, qualidade e tecnologia que ultrapassam os ofertados pelo fabricante na compra de equipamentos convencionais. As dificuldades territoriais nas grandes capitais, as facilidades existentes para a manutenção e instalação em um terreno com dimensões reduzidas, o valor investido em um equipamento compacto dentro de um projeto se torna satisfatório quando comparado ao valor que deve ser disponibilizado para a compra de terreno com grandes dimensões em uma metrópole.

Com os dados apresentados, pode-se concluir que o empreendimento a ser executado pela concessionária de energia elétrica é o da SE Convencional, tanto nos requisitos econômicos como nos aspectos técnicos.

Para trabalho futuro o tema proposto é a utilização do protocolo de comunicação IEC 61850 em sistema automatizado de subestação.

## 5 . REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MAMEDE, João Filho. **Instalações Elétricas Industriais**. 6.ed. Rio de Janeiro, RJ: ED. LTC, 2002.
- MAMEDE, João Filho. **Manual de Equipamentos Elétricos**. 4.ed. Rio de Janeiro, RJ: ED. LTC, 2013.
- AGUIRRE, Luis Antônio (ED). **Enciclopédia de Automática Controle e Automação**. São Paulo, SP: Ed. Blucher, 2007.
- ALMEIDA, A.R.S. **Protocolos de Comunicação em Sistemas de Automação**. 2008, fl. Monografia (Graduação) – Faculdade de Ciência e Tecnologia, Salvador.
- BARBOSA, E.J. **Uso da Tecnologia no Controle e Gerenciamento de Energia Elétrica em Subestações**. 2006, fl. Monografia (Graduação) – Faculdade de Ciência e Tecnologia, Salvador.
- CASTRUCCI, Plínio de Lauro; MORAES, Cícero Couto. **Engenharia de Automação Industrial**. Rio de Janeiro, RJ: Ed. LTC, 2001.
- COMER, Douglas E. **Redes de Computadores e Internet**. 2. ed. Porto Alegre, RS: Ed. Bookman, 2001.
- JUNIOR, Carlos Augusto de Oliveira. **Desenvolvimento de um Protocolo de Comunicação para Automação de Subestações Móveis Via Satélite**. 2005, 69 fl. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- SILVA, Sérgio Eduardo Lessa. Exploração de Recursos de Automação de Subestações. In: SIMPÓSIO DE AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS, 7., 2007, Salvador.
- XAVIER, B.C. **Ampliação de uma Subestação de 500kV Associada à Expansão do Sistema Elétrico**. 2007. 82 f. Monografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- BARROS, J.V.C. **Estudo de Viabilidade Economia e das Proteções da Subestação de 69-13,8kV do Campus da Universidade Federal do Ceará**. 2010. 174 f. Monografia – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.
- SANTOS, T.C.C. **Projeto Básico de Implantação de uma Subestação de 230/138kV ao Sistema Interligado Nacional**. 2010. 130 f. Monografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

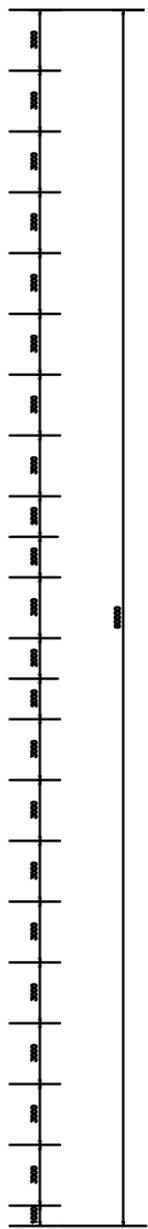
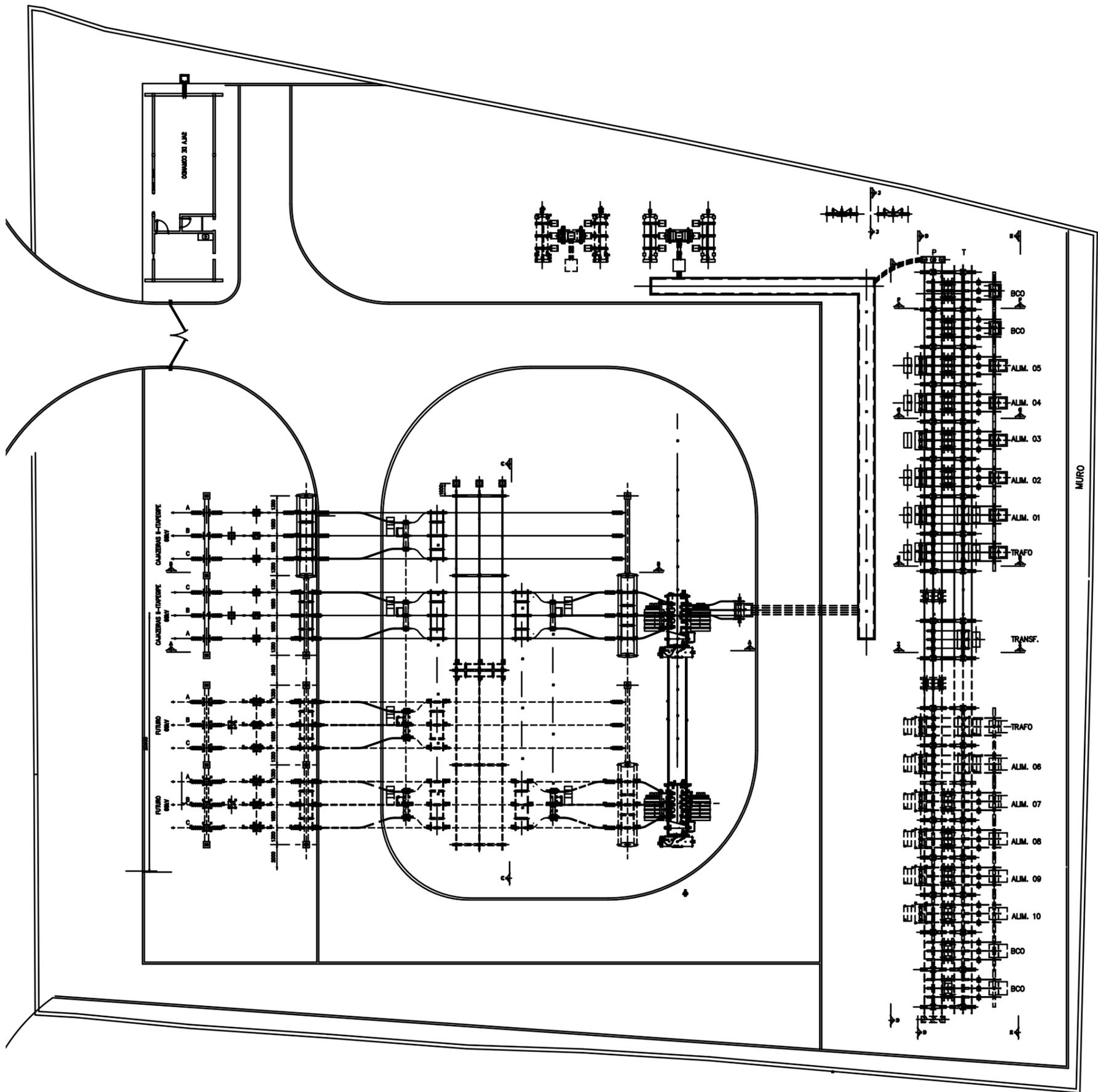
[www.anel.gov.br](http://www.anel.gov.br) acessado em: 22 de fev. de 2015.

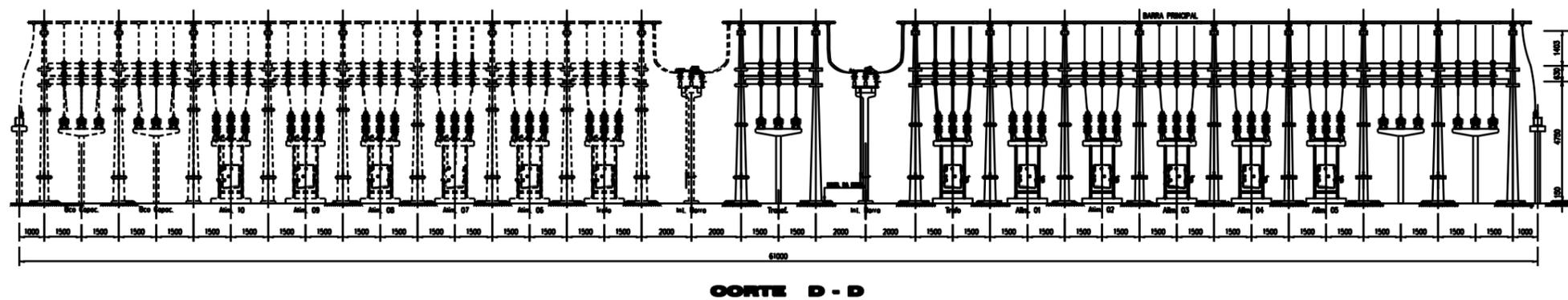
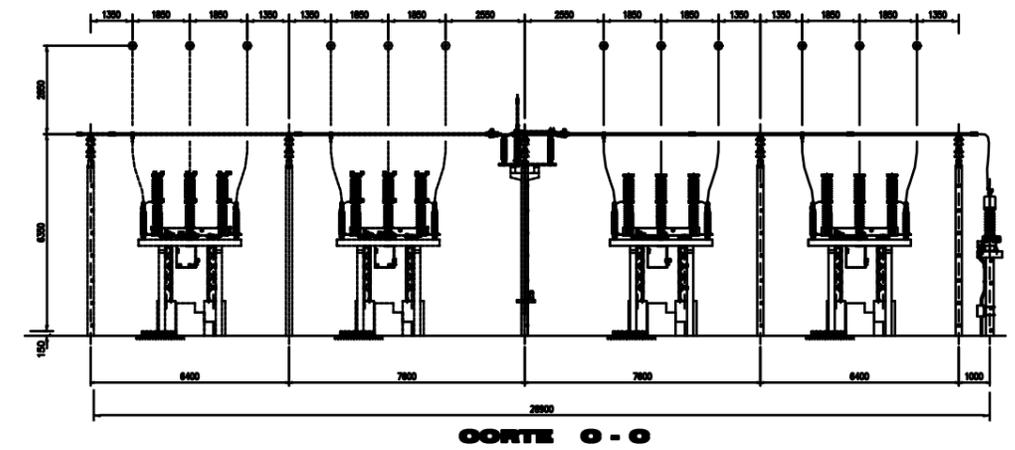
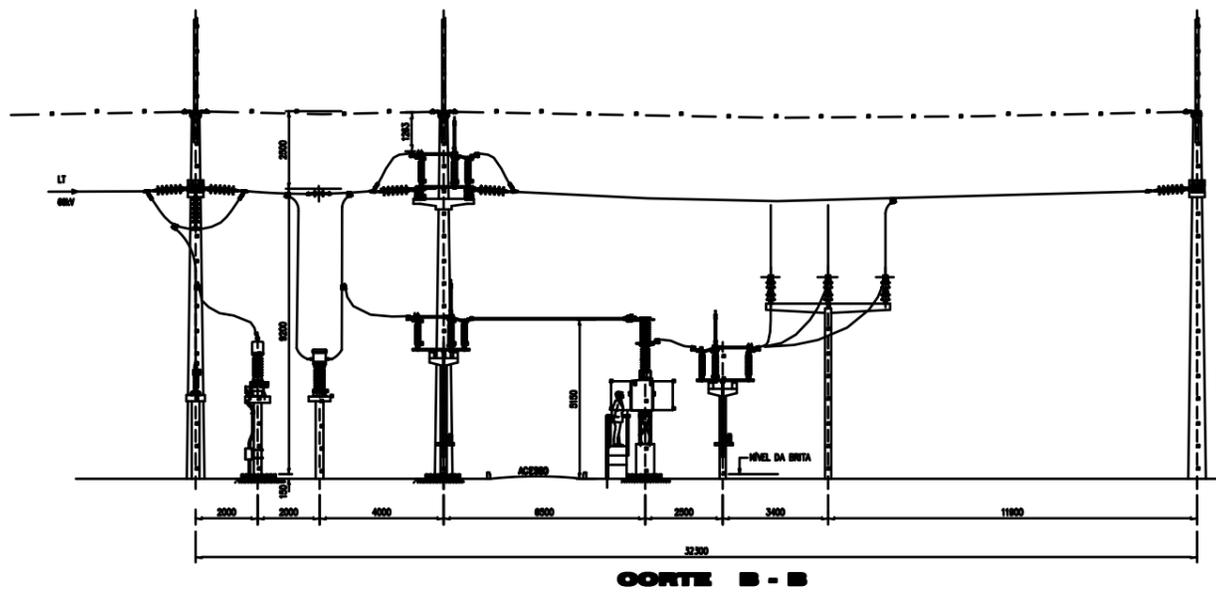
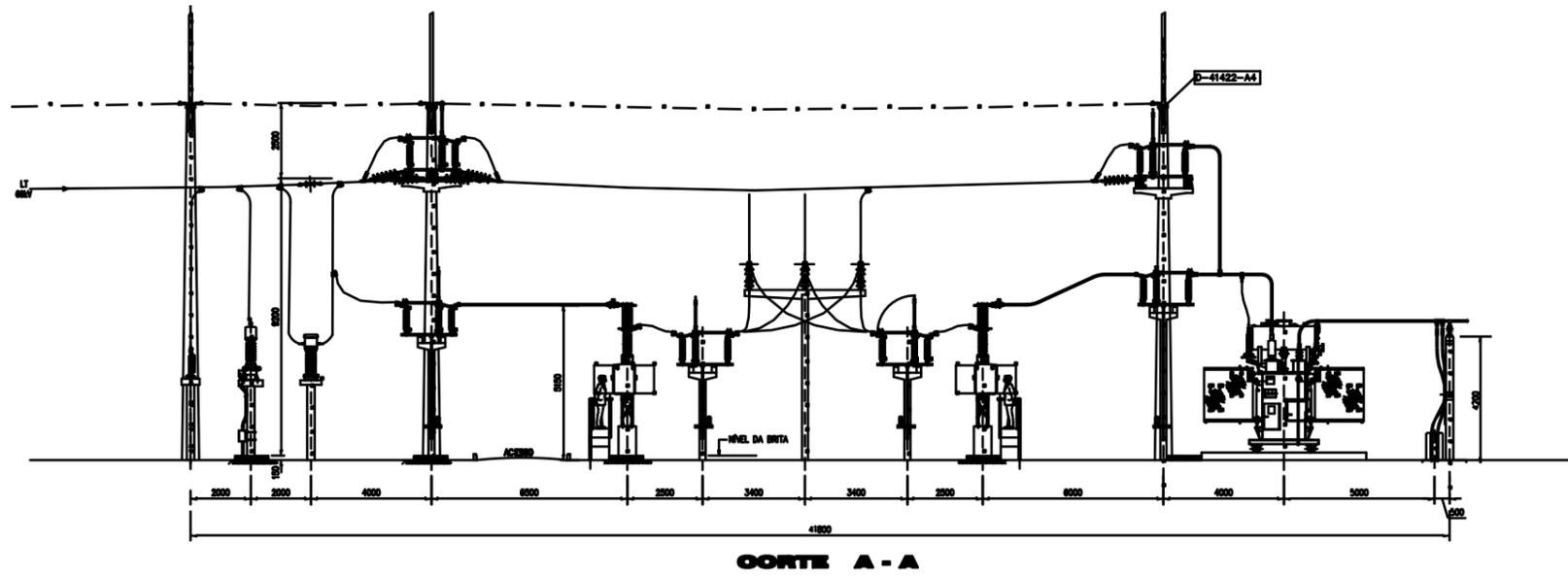
[www.coelba.com.br](http://www.coelba.com.br) acessado em: 25 de fev. de 2015.

[www.celpe.com.br](http://www.celpe.com.br) acessado em: 19 de fev. de 2015.

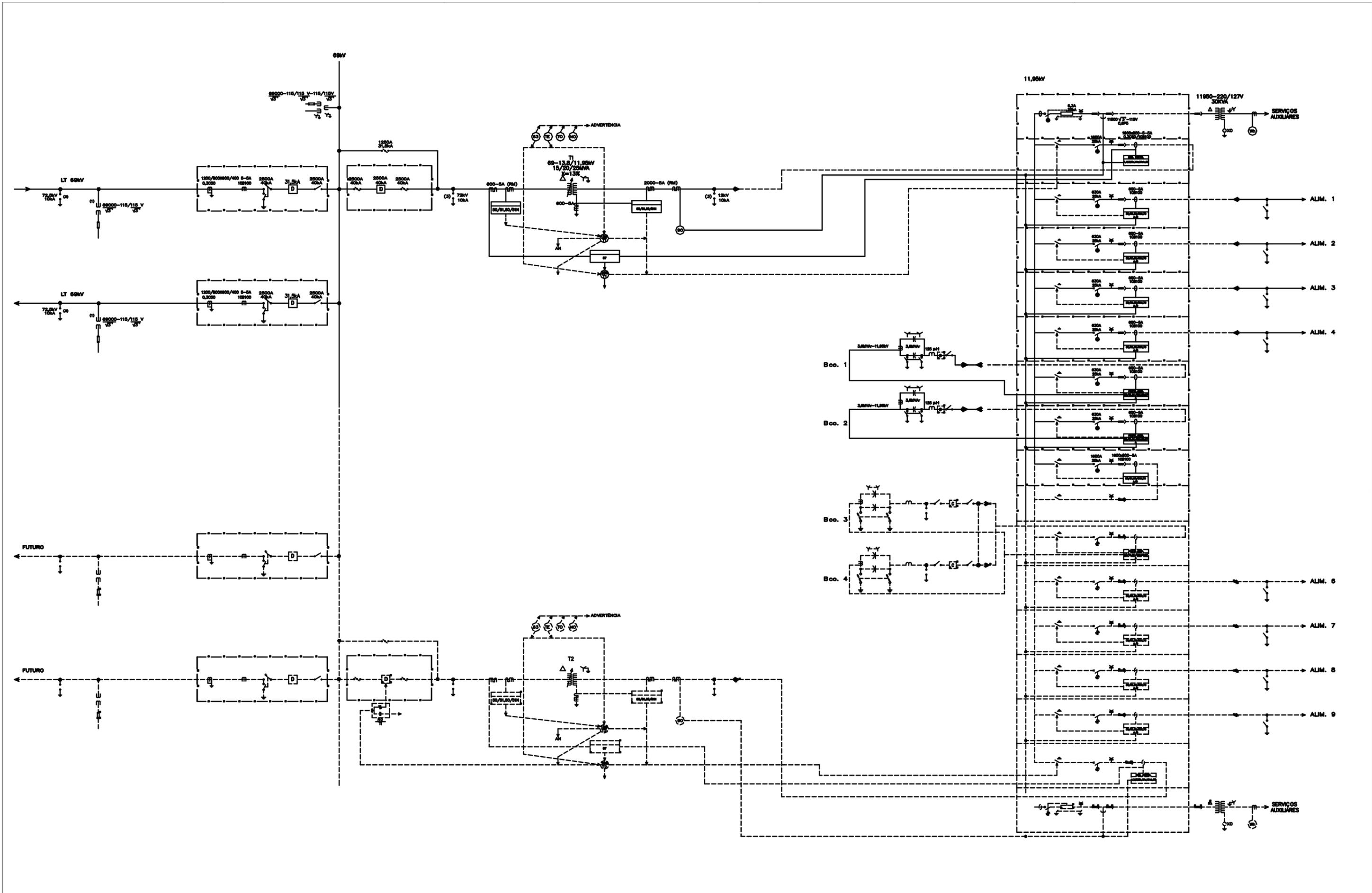
# ANEXOS

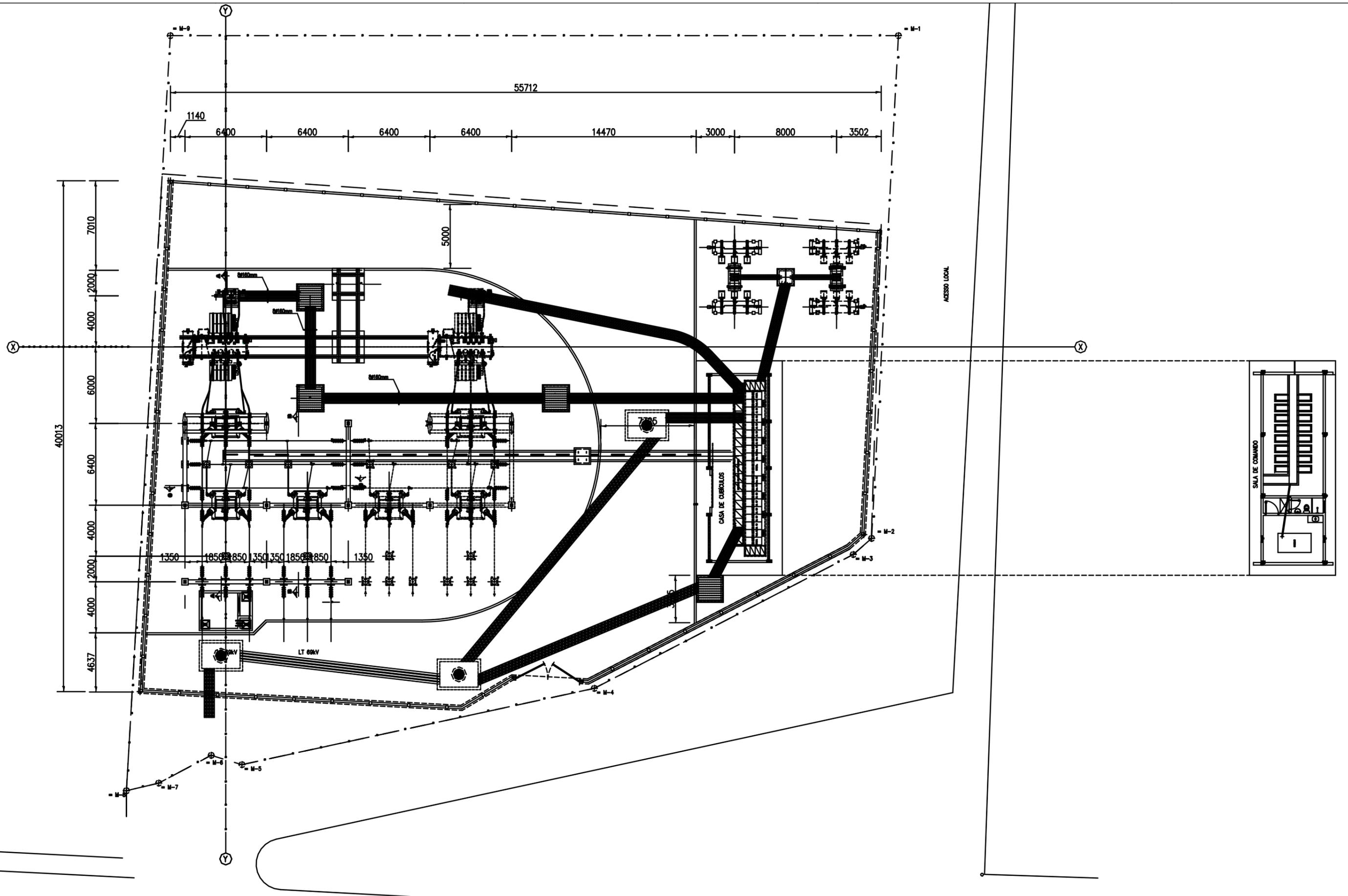


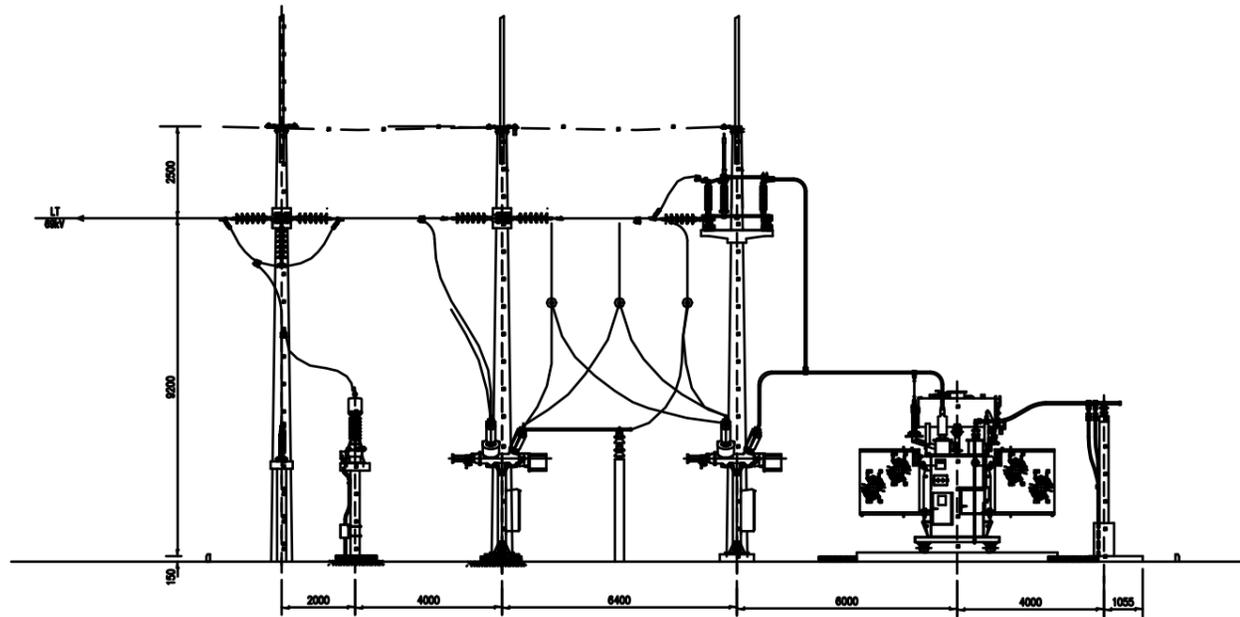




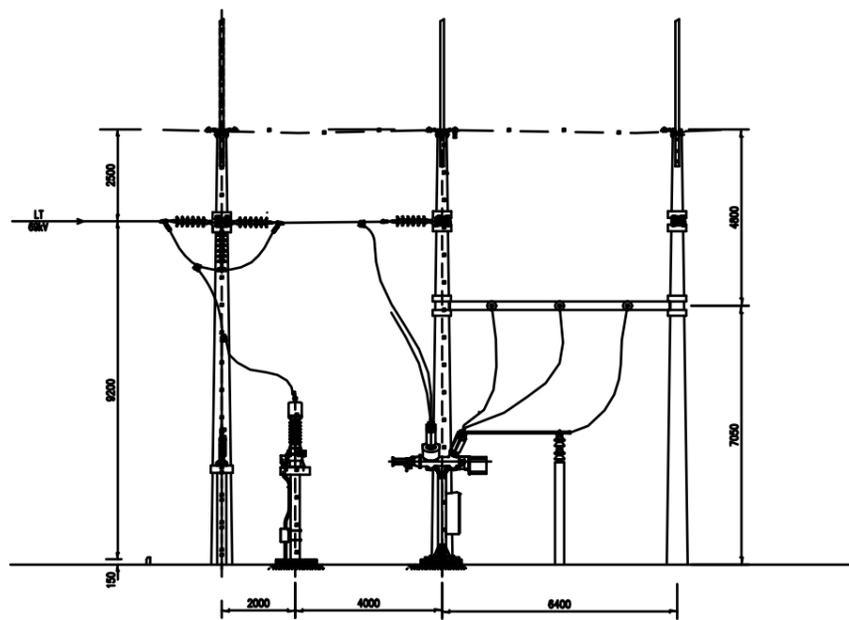




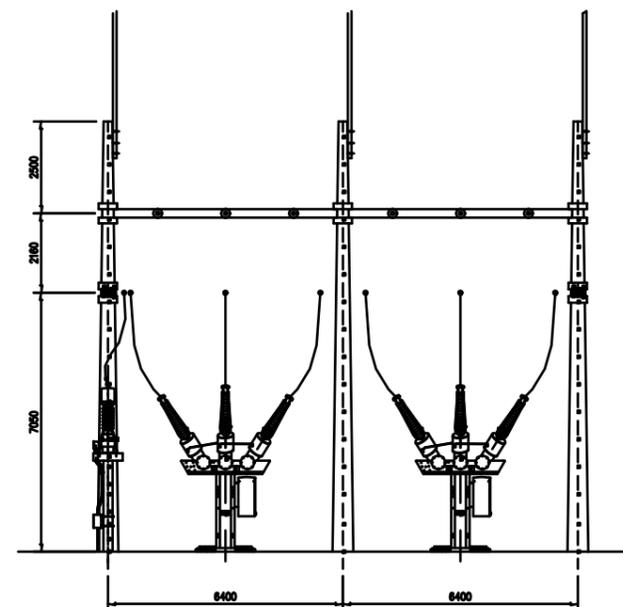




**CORTE A - A**



**CORTE B - B**



**CORTE C - C**