



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**STÊNIO RODRIGUES BARBOSA FILHO**

**UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIA HÍBRIDA PARA COMPACTAÇÃO DE SUBESTAÇÕES  
ELÉTRICAS**

**FORTALEZA**

**2019**

STÊNIO RODRIGUES BARBOSA FILHO

UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIA HÍBRIDA PARA COMPACTAÇÃO DE SUBESTAÇÕES  
ELÉTRICAS

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. M.Sc. Carlos Gustavo Castelo Branco.

FORTALEZA

2019



STÊNIO RODRIGUES BARBOSA FILHO

UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIA HÍBRIDA PARA COMPACTAÇÃO DE SUBESTAÇÕES  
ELÉTRICAS

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. M.Sc. Carlos Gustavo Castelo Branco. (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Eng. Esp. Nildson de Alencar Bezerra. (Co-orientador)  
Enel X Brasil S.A (ENEL X)

---

Prof. Dr. Raimundo Furtado Sampaio. (Convidado)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Eng. João Murilo Albuquerque Lourenço (Convidado)  
Enel Distribuição Ceará (ENEL)

A Deus.

Aos meus pais, Stênio e Joelma.

Ao meu irmão, Stefferson.

À minha namorada, Nathalia.

Aos meus amigos e professores.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por guiar-me em todas as conquistas alcançadas.

Aos meus pais, Stênio e Joelma, por me apoiarem nas minhas escolhas e decisões e no caminho que escolhi seguir.

Ao meu irmão, Stefferson, por ser sempre tão forte e me ajudar a manter a força necessária para alcançar os objetivos.

À minha namorada, Nathalia, por tudo que já fez por mim, mesmo com pouco tempo de convivência, por me apoiar a todo momento, por acreditar no meu sucesso, e me ajudar em noites de estudo e trabalho.

Aos meus amigos Jonas, Machado, Edivam, Tito e Murilo, por me fazerem companhia ao longo dos 5 anos de curso, todos os projetos e dificuldades que passamos e superamos.

Ao meu orientador Gustavo Castelo pelo empenho dedicado na elaboração deste trabalho e pelos valiosos aconselhamentos profissionais.

Ao Eng. Nildson de Alencar e todos os meus companheiros de trabalho na Enel X Brasil, por todos os conhecimentos técnicos e desenvolvimento profissional proporcionado.

A todos os meus amigos estagiários da Enel X Brasil, que contribuíram para minha formação profissional e pessoal.

A todos os meus amigos da Universidade Federal do Ceará que fizeram parte da minha vida durante a graduação e de alguma forma foram parte dela.

Aos professores do curso, que foram fundamentais e me mostraram o belíssimo universo que é a Engenharia Elétrica.

“Não é o mais forte que sobrevive, nem o mais inteligente, mas o que melhor se adapta às mudanças.”

(Charles Darwin)

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original”

(Albert Einstein)

## RESUMO

Nos últimos anos, com o aumento de áreas urbanas e a conseqüente diminuição do espaço disponível para construção de subestações elétricas próximas aos centros de carga, um grande desafio foi iniciado buscando maneiras de tornar as estruturas das subestações mais compactas e adequá-las a espaços reduzidos. Neste sentido, a tecnologia híbrida tem se tornado uma opção viável técnica e economicamente, utilizada por concessionárias de energia em todo Brasil, para compactação de suas subestações possibilitando flexibilidade aos seus arranjos. Este trabalho tem por objetivo apresentar a tecnologia híbrida e suas aplicações, evidenciando seus principais aspectos e componentes. No decorrer desse trabalho foram apresentados conceitos e definições acerca da tecnologia híbrida, assim como seu principal agente facilitador, o gás SF<sub>6</sub>, mostrando os equipamentos atualmente comercializados que utilizam essa tecnologia, e a teoria por trás da tecnologia desses equipamentos. Além disso, foram apresentadas aplicações dessa solução, onde buscava-se compactação e adequação de subestações em espaço reduzido, sem perder os critérios de confiabilidade e segurança operacional. Concluído a apresentação, foi elaborado uma proposta técnica de subestação abaixadora 72.5/15 kV industrial, como solução alternativa para um empreendimento que necessitava de infraestrutura elétrica para ser atendido em alta tensão, mas possuía pouco espaço disponível para implantação. Após comparação sucinta com a solução convencional, conclui-se que a utilização da tecnologia híbrida, com módulo compacto a SF<sub>6</sub>, proporciona compactação em torno de 20 % da área de impacto da subestação, reduzindo obras civis e materiais eletromecânicos, além de garantir maior confiabilidade do sistema e melhor o aspecto visual da subestação.

**Palavras-chave:** Subestação. Compactação. Tecnologia Híbrida. Módulos Compactos. Gás SF<sub>6</sub>.

## ABSTRACT

In recent years, with the increase of urban areas and the consequent reduction of the available space for the construction of electrical substations near the load centers, a great challenge was initiated looking for ways to make the structures of the substations more compact and to adapt them to reduced spaces. In this sense, hybrid technology has become a viable option technically and economically, used by power concessionaires throughout Brazil, to compact their substations allowing flexibility to their arrangements. This paper aims to present the hybrid technology and its applications, showing its main aspects and components. In the course of this work, concepts and definitions about hybrid technology were presented, as well as its main facilitating agent, the SF<sub>6</sub> gas, showing the equipment currently commercialized using this technology, and the theory behind the technology of such equipment. In addition, applications of this solution were presented, where compactness and adequacy of substations were sought in a reduced space, without losing the criteria of reliability and operational safety. At the conclusion of the presentation, a technical proposal of 72.5 / 15 kV industrial substation was prepared as an alternative solution for a project that needed electrical infrastructure to be serviced at high voltage, but had little space available for deployment. After a brief comparison with the conventional solution, it is concluded that the use of the hybrid technology, with compact module to SF<sub>6</sub>, provides compaction around 20% of the area of impact of the substation, reducing civil works and electromechanical materials, besides guaranteeing greater reliability the visual aspect of the substation.

**Keywords:** Substation. Compaction. Hybrid Technology. Compact Modules. SF<sub>6</sub> gas.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Disposição do SEP com ênfase nas Subestações Transformadoras .....	21
Figura 2 - Diagrama Unifilar simplificado .....	23
Figura 3 - Para-raios.....	24
Figura 4 - Para-raios com centelhadores.....	25
Figura 5 – Para-raios de óxido de zinco.....	26
Figura 6 – Para-raios tipo estação .....	27
Figura 7 – Transformadores de Corrente .....	28
Figura 8 – Transformador de Corrente 72,5 kV.....	30
Figura 9 – Placa Transformador de Corrente 72,5 kV .....	32
Figura 10 – Transformadores de Potencial .....	33
Figura 11 – Transformador de Potencial 72,5 kV .....	34
Figura 12 – Placa Transformador de Potencial Indutivo 72,5 kV.....	35
Figura 13 – Chaves Seccionadoras .....	36
Figura 14 – Chaves Seccionadora de abertura central, classe 72 kV.....	37
Figura 15 – Chaves Seccionadora de dupla abertura lateral, classe 72 kV.....	38
Figura 16 – Chaves Seccionadora de abertura vertical.....	38
Figura 17 – Disjuntor da alta tensão .....	40
Figura 18 – Mecanismo de disjuntor com sistema de acionamento a mola.....	42
Figura 19 – Placa Disjuntor 72,5 kV .....	43
Figura 20 – Transformadores de Potência .....	44
Figura 21 – Transformador Ideal .....	45
Figura 22 – Ligação das bobinas com ligação ziguezague .....	47
Figura 23 – Transformador 15 kV isolado a seco .....	47
Figura 24 – Transformador 72,5 kV – 10/12,5 MVA (ONAN/ONAF) .....	48
Figura 25 – Diagramas fasoriais .....	50
Figura 26 – Painéis Elétricos .....	51
Figura 27 – Painel com múltiplas colunas de média tensão .....	52
Figura 28 – Painel com disjuntor extraível.....	53
Figura 29 – Painel com IP54.....	54
Figura 30 – Isolamento dos equipamentos de manobra.....	57
Figura 31 – Hexafluoreto de Enxofre (a) dimensões (b) visão 2D (c) visão 3D .....	58
Figura 32 – Módulo PASS M00 72,5 kV.....	61

Figura 33 – Módulo compacto DTC .....	62
Figura 34 – Módulo HYpact .....	62
Figura 35 – Família PASS.....	64
Figura 36 – Cubículo de controle local.....	65
Figura 37 – Operação normal do disjuntor .....	66
Figura 38 – Operação de fechamento do disjuntor .....	67
Figura 39 – Operação de mola carregada .....	67
Figura 40 – Operação de abertura do disjuntor.....	68
Figura 41 – Sistema de operação do PASS M0 SBB.....	69
Figura 42 – Indicador da posição do seccionador.....	69
Figura 43 – Sistema de operação do PASS M0 DBB .....	70
Figura 44 – Condição Inicial: CB, BB1, BB2 e DS fechados .....	70
Figura 45 – BB1 e DS fechados e BB2 aberto.....	71
Figura 46 – BB2 e DS fechados e BB1 aberto.....	71
Figura 47 – BB1, BB2 e DS abertos .....	72
Figura 48 – BB1 e BB2 abertos, DS aterrado .....	72
Figura 49 – Diagrama simplificado – DTC .....	74
Figura 50 – Armários para comando dos módulos - DTC.....	75
Figura 51 – Sistema de acionamento motor mola do disjuntor - DTC .....	77
Figura 52 – Módulo de seccionamento - DTC.....	77
Figura 53 – Sistema de contato do módulo da chave de seccionamento - DTC.....	78
Figura 54 – Posições possíveis do módulo de seccionamento - DTC. ....	79
Figura 55 – Conjunto compacto HYpact.....	82
Figura 56 – Caixa de Controle do HYpact.....	84
Figura 57 – Indicador de posição.....	84
Figura 58 – Complexo Industrial Alumar .....	88
Figura 59 – Módulo integrado de alta tensão.....	90
Figura 60 – Corte da Ampliação da SE Redução.....	90
Figura 61 – Diagrama unifilar do setor de alta tensão – PASS.....	93
Figura 62 – Comparativo da área da EDT Itaim .....	94
Figura 63 – SED Horizonte.....	96
Figura 64 – Painel de Média Tensão .....	97
Figura 65 – Grupo Gerador e USCAs.....	98
Figura 66 – Quadro de Transferência Automática (QTA) .....	98

Figura 67 – Transformador de Serviços Auxiliares (TSA) .....	99
Figura 68 – Planta Situação .....	99
Figura 69 – Unifilar Simplificado – SE Convencional .....	101
Figura 70 – Arranjo convencional .....	102
Figura 71 – Planta Baixa Adaptada.....	102
Figura 72 – Corte do Arranjo Adaptado.....	103
Figura 73 – Áreas afetadas pelo pátio de 69 kV.....	103
Figura 74 – Edificação da Carpintaria. ....	104
Figura 75 – Grade de delimitação e teto metálico. ....	104
Figura 76 – Parede de alvenaria do Depósito. ....	105
Figura 77 – Supressão de parte das edificações existentes.....	105
Figura 78 – Solução Convencional. ....	106
Figura 79 – Dimensionais do PASS e DTC.....	108
Figura 80 – Propostas PASS e DTC.....	109
Figura 81 – Arranjo Básico com PASS – Planta Baixa. ....	109
Figura 82 – Arranjo Básico com PASS – Cortes .....	110
Figura 83 – Solução Híbrida.....	110

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo percentual de custo .....	93
Tabela 2 – Custos para solução convencional.....	106
Tabela 3 – Custos para solução Híbrida.....	111
Tabela 4 – Custos de equipamentos - Convencional .....	119
Tabela 5 – Custos de materiais - Convencional .....	120
Tabela 6 – Custos de serviços - Convencional.....	126
Tabela 7 – Custos de equipamentos - Híbrida .....	130
Tabela 8 – Custos de materiais – Híbrida .....	131
Tabela 9 – Custos de serviços – Híbrida.....	137

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Ampere (s)
ABB	<i>Asea Brown Boveri</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIS	<i>Air Insulated Switchgear</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
AT	Ata Tensão
AVT	Avaliação de Viabilidade Técnica
BT	Baixa Tensão
ETD	Estação de Transformação de Distribuição
GIS	<i>Gas Insulated Switchgear</i> (Subestação Isolada a gás)
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
kV	Quilovolt (s)
LT	Linha de Transmissão
MT	Média Tensão
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
PMF	Painel de Medição e Faturamento
PRODIST	Procedimentos de Redes de Distribuição
QTA	Quadro de Transferência Automática
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SE	Subestação
SF <sub>6</sub>	Hexafluoreto de Enxofre
TC	Transformador de Corrente
TP	Transformador de Potencial
TSA	Transformador de Serviços Auxiliares
USCA	Unidade de Supervisão de Corrente Alternada
V	Volt (s)

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>1.1.</b>	<b>Contextualização do tema do trabalho</b> .....	17
<b>1.2.</b>	<b>Objetivos, relevância e motivação</b> .....	18
<b>1.3.</b>	<b>Estrutura do trabalho</b> .....	18
<b>2.</b>	<b>CARACTERÍSTICAS GERAIS DE SUBESTAÇÕES INDUSTRIAIS</b> .....	20
<b>2.1.</b>	<b>Introdução</b> .....	20
<b>2.2.</b>	<b>Subestações Elétricas</b> .....	20
2.2.1.	<i>Subestação Transformadora</i> .....	20
2.2.2.	<i>Subestação Seccionadora</i> .....	22
2.2.3.	<i>Subestação Externa ou Ao Tempo</i> .....	22
2.2.4.	<i>Subestação Interna ou Abrigada</i> .....	22
<b>2.3.</b>	<b>Equipamentos de Subestações Elétricas</b> .....	22
2.3.1.	<i>Para-raios a resistor não-linear</i> .....	24
2.3.2.	<i>Transformadores de Corrente</i> .....	28
2.3.3.	<i>Transformadores de Potencial</i> .....	32
2.3.4.	<i>Chaves Seccionadoras</i> .....	36
2.3.5.	<i>Disjuntores de alta tensão</i> .....	40
2.3.6.	<i>Transformadores de Potência</i> .....	44
2.3.7.	<i>Painéis Elétricos</i> .....	51
<b>2.6</b>	<b>Considerações finais</b> .....	55
<b>3.</b>	<b>TECNOLOGIA HÍBRIDA PARA SUBESTAÇÃO COMPACTA</b> .....	56
<b>3.1.</b>	<b>Introdução</b> .....	56
<b>3.2.</b>	<b>Contextualização e definições</b> .....	56
<b>3.3.</b>	<b>Hexafluoreto de Enxofre</b> .....	58
<b>3.4.</b>	<b>Equipamento Híbrido</b> .....	60
<b>3.5.</b>	<b>Família PASS</b> .....	63
3.5.1.	<i>Generalidades</i> .....	63
3.5.2.	<i>Cubículos de controle local</i> .....	65
3.5.3.	<i>Princípio de Operação do disjuntor</i> .....	66
3.5.4.	<i>Princípio de Operação das chaves seccionadoras e aterramento</i> .....	68

3.5.5.	<i>Manutenções</i> .....	73
<b>3.6.</b>	<b>Dead Tank Compact – DTC</b> .....	74
3.6.1.	<i>Generalidades</i> .....	74
3.6.2.	<i>Unidades de Comando</i> .....	75
3.6.3.	<i>Sistema de acionamento da mola do disjuntor.</i> .....	75
3.6.4.	<i>Módulo de Seccionamento, aterramento e aterramento adicional.</i> .....	77
3.6.5.	<i>Manutenções</i> .....	79
<b>3.7.</b>	<b>HYpact</b> .....	81
3.7.1	<i>Generalidades</i> .....	81
3.7.2	<i>Operação</i> .....	82
3.7.3	<i>Manutenções</i> .....	84
<b>3.8</b>	<b>Considerações finais</b> .....	86
<b>4.</b>	<b>APLICAÇÕES DA TECNOLOGIA HÍBRIDA</b> .....	87
<b>4.1.</b>	<b>Introdução</b> .....	87
<b>4.2.</b>	<b>ALUMAR – Primeira aplicação do módulo PASS no Brasil</b> .....	87
<b>4.3.</b>	<b>Subestação Itaim - Tecnologia Híbrida em Subestação Compacta Abrigada</b> ....	91
<b>4.4.</b>	<b>SED Horizonte</b> .....	94
<b>4.5.</b>	<b>Considerações finais</b> .....	96
<b>5.</b>	<b>SOLUÇÃO TÉCNICA UTILIZANDO TECNOLOGIA HÍBRIDA</b> .....	97
<b>5.1.</b>	<b>Introdução</b> .....	97
<b>5.2.</b>	<b>Premissas Iniciais</b> .....	97
<b>5.3.</b>	<b>Solução Convencional</b> .....	100
<b>5.4.</b>	<b>Solução Alternativa</b> .....	107
<b>5.4.</b>	<b>Considerações Finais</b> .....	111
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	112
	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	114
	<b>ANEXO A – PLANILHAS DE CUSTO SOLUÇÃO CONVENCIONAL</b> .....	119
	<b>ANEXO B – PLANILHAS DE CUSTO SOLUÇÃO HÍBRIDA</b> .....	130
	<b>ANEXO C – PROJETO ELETROMECAÂNICO BÁSICO</b> .....	140

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Contextualização do tema do trabalho

Segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE, (EPE, 2018), no ano de 2017, o consumo de eletricidade no país cresceu cerca de 1,2% em relação ao ano anterior, alcançando 467 TWh, sendo o setor industrial o maior consumidor, com quase 36% do total. Já dentro desse setor, houve uma variação positiva de 4,5 % no número de consumidores no nível de tensão 88 a 138 kV, e de 9,4% nos consumidores 69 kV; que pode ser justificado também pelo crescimento na produção industrial, que encerrou 2017 com aumento de 2,5%, após três anos de perdas, conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (IBGE, 2018).

Essa crescente demanda de energia elétrica principalmente nos grandes centros metropolitanos, onde o espaço disponível é reduzido e com alto custo do metro quadrado, a construção de subestações de alta tensão se torna um grande desafio não só para as concessionárias, como também para consumidores industriais. Desta forma as distribuidoras de energia elétrica e prestadores de serviços vêm buscando soluções para a implantação de novos empreendimentos em área urbana.

A utilização de subestações compactas vem crescendo em todo o mundo, em função das suas diversas vantagens, entre as quais estão (INTERNACIONAIS; TOVAR, 2005):

- Possibilidade de situar a estrutura mais próxima aos centros de carga;
- Maior confiabilidade;
- Menores custos de manutenção;
- Redução do tempo de execução do empreendimento; e
- Melhoria na estética.

Uma alternativa para compactação de subestação é o uso das Subestações Isoladas a Gás (GIS), que possuem em sua composição os mesmos equipamentos elétricos que as Subestações Isoladas a Ar (AIS), diferenciando-se: na disposição dos equipamentos, que é estratificada em módulos; na construção; na isolação, a base de SF<sub>6</sub>; e no espaço. No entanto, estas se mostram com uma solução economicamente viável somente quando se trata de subestações de distribuição de grande porte e elevadas tensões (JESUS; YOKOGAWA; OLIVEIRA, 2017).

Em contrapartida, uma tecnologia parecida se mostra promissora para subestações industriais de pequeno porte. Denominada tecnologia híbrida, esta se baseia em equipamentos

multifuncionais com combinação ou integração de vários equipamentos de alta tensão em um único módulo. A popularização efetiva da tecnologia de equipamentos híbridos multifuncionais aconteceu principalmente a partir de 1998, quando surgiram os primeiros equipamentos europeus de tecnologia mista, compacta e funcional da ABB, ALSTOM e SIEMENS (SÁ, 2008). No Japão e nos Estados Unidos a tecnologia vem sendo utilizada desde a década de 70, com módulos semi-GIS, contemplando a junção de disjuntores e transformadores de correntes em componentes compactos (OKUTBO, 2005).

Em particular, é importante destacar sete países: Austrália, Suíça, Suécia, Itália, Espanha, Portugal e Alemanha, além do Japão, como sendo os países com maior experiência relatada destes módulos em operação (CIGRE, 2000). Estas tecnologias são aplicadas tanto para novos projetos de subestações, ampliações e reformas, como também para propiciar uma melhoria do desempenho e da confiabilidade. Atualmente esses equipamentos podem incluir todas as funções de um bay completo de alta tensão, enquanto combina disjuntor, seccionadores com chave de aterramento, transformadores de potencial e transformadores de corrente.

## **1.2. Objetivos, relevância e motivação**

Motivado pela crescente necessidade da compactação de subestações, além da pouca exploração acadêmica da tecnologia híbrida, o presente trabalho tem como objetivo principal mostrar de forma clara a teoria e prática da tecnologia híbrida assim como os equipamentos existentes no mercado, como funcionam, aplicações e vantagens da sua utilização visando a compactação de subestações.

Como objetivos específicos, podem ser apresentados:

- Apresentar conceitos e definições acerca de subestações elétricas;
- Explicar sobre a tecnologia híbrida e seus principais aspectos;
- Identificar os principais equipamentos que contemplam essa tecnologia;
- Evidenciar aplicações da tecnologia híbrida no Brasil; e
- Elaborar uma proposta de solução técnica utilizando um equipamento compacto híbrido;

## **1.3. Estrutura do trabalho**

Para o cumprimento dos objetivos do trabalho, incluindo esta introdução e motivação, este trabalho é organizado em seis capítulos, a saber:

No Capítulo 1 são apresentados aspectos gerais do sistema elétrico introduzindo o

tema, assim como objetivos e estrutura do presente trabalho.

No Capítulo 2 é feita uma inserção da revisão bibliográfica sobre o tema subestações, seus tipos, componentes e aplicações.

No Capítulo 3 é feita a apresentação da tecnologia híbrida, sua história, principais características e equipamentos existentes.

No Capítulo 4 é explanado o estado da arte acerca das aplicações da tecnologia híbrida no Brasil.

No Capítulo 5 é apresentado um projeto básico elaborado, com composição de preço, utilizando módulo híbrido para uma solução de subestação industrial compacta.

No Capítulo 6 são apresentadas as conclusões e propostas de trabalhos futuros em relação a temas relacionados ao presente trabalho.

## **2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DE SUBESTAÇÕES INDUSTRIAIS**

### **2.1. Introdução**

Nesse capítulo são tratados conceitos sobre aspectos gerais de subestações elétricas de alta tensão, com ênfase nas subestações industriais. Além disso, é exposto de forma detalhada os equipamentos que compõem esse tipo de infraestrutura elétrica, seu funcionamento e aplicação.

### **2.2. Subestações Elétricas**

De acordo com uma das resoluções normativas da ANEEL (ANEEL, 2010), subestação é parte do sistema de potência que compreende os dispositivos de manobra, controle, proteção, transformação e demais equipamentos, condutores e acessórios, abrangendo as obras civis e estruturas de montagem. Esse tipo de infraestrutura elétrica também possui dispositivos de proteção capazes de detectar diferentes tipos de faltas que podem ocorrer no sistema e de isolar os trechos onde estas faltas ocorrem.

As principais funções das subestações são: Transformação, onde há alteração dos níveis da tensão de modo a adequá-lo às conveniências de transmissão, distribuição e consumo; Regulação, mantendo os limites aceitáveis e admissíveis do nível de tensão; e Chaveamento, conexão e desconexão de elementos do sistema elétrico fazendo a orientação do fluxo de energia para, por exemplo, isolar um trecho com defeitos, mantendo a continuidade no suprimento de energia elétrica. Em situações específicas as subestações podem ser associadas aos sistemas de transmissão em corrente contínua, assumindo uma função de Conversão, sendo denominada então de SE Retificadora ou SE Inversora (BOZZI, 2011).

As subestações, em termos gerais, podem ser classificadas quanto à sua função e tipo de instalação. No sistema elétrico as subestações podem ser transformadoras ou seccionadoras; quanto à instalação dos equipamentos em relação ao meio ambiente elas podem ser ao tempo ou abrigadas.

#### ***2.2.1. Subestação Transformadora***

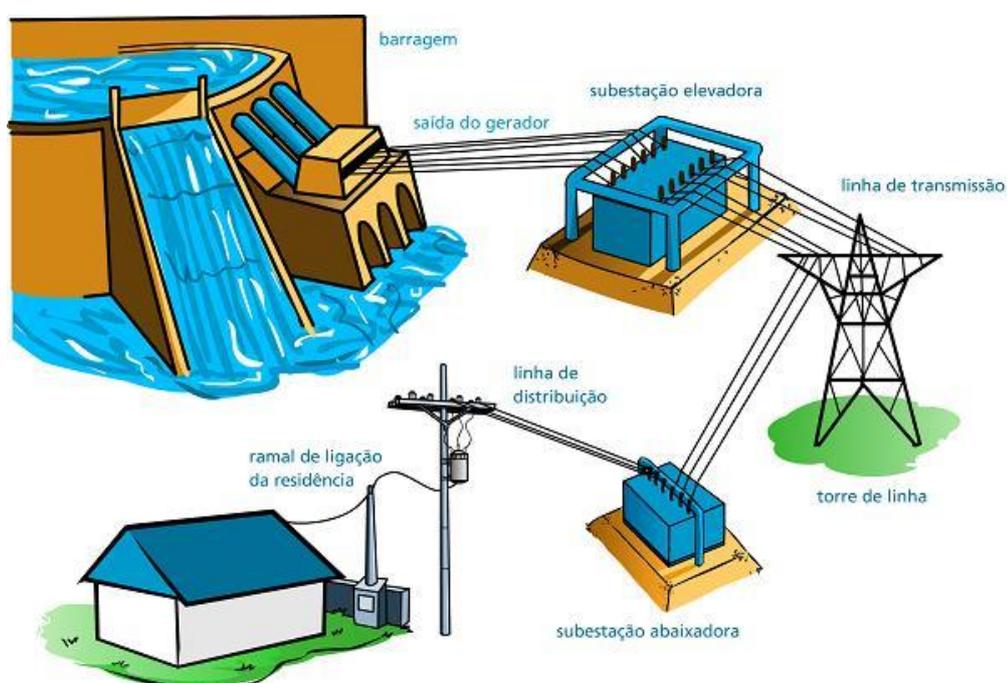
Subestação transformadora define-se como aquela em que a tensão é convertida para outro distinto, seja maior ou menor, sendo denominadas respectivamente de SE Transformadora Elevadora e SE Transformadora Abaixadora.

Geralmente localizada na saída de usinas geradoras, uma SE Transformadora Elevadora tem como objetivo principal é facilitar o transporte de energia, a diminuição das perdas e melhoria no processo de isolamento dos condutores, visto que ao se elevar a tensão diminui-se a corrente, conseqüentemente, a espessura dos condutores e as perdas.

Situadas no final de um sistema de transmissão, próximas aos centros consumidores, ou como suprimento de grandes indústrias, as Subestações Transformadoras Abaixadoras, tipo distribuição, fazem o processo de diminuir os níveis de tensão, atendendo a consumidor com o mínimo de inconvenientes possíveis, tais como rádio interferência e campos magnéticos intensos, que são intensificados em níveis maiores de tensão.

Na Figura 1, é apresentada a estrutura, de forma simples, como o Sistema Elétrico de Potência é composto e como as subestações transformadoras se dispõem nele, SE Elevadora logo após a geração e SE Abaixadora antes do consumidor final.

Figura 1- Disposição do SEP com ênfase nas Subestações Transformadoras



Fonte: (TRISUL, [s.d.])

As Subestações elétricas transformadoras também são classificadas de acordo com o nível de tensão de operação (DUAILIBE, 1999):

- Baixa Tensão (BT): até 1 kV;
- Média Tensão (MT): de 1 kV até 35 kV;
- Alta Tensão (AT): de 35 kV até 230 kV;
- Extra Alta Tensão (EAT): de 230 kV até 765 kV; e

- Ultra Alta Tensão (UAT): acima de 765 kV.

### **2.2.2. Subestação Seccionadora**

Subestação de Manobra ou de Chaveamento, tem como principal objetivo interligar circuitos de suprimentos sob mesmo nível de tensão, possibilitando a sua multiplicação. Permitem manobras e energização de circuitos sucessivos (MAMEDE, 2013).

### **2.2.3. Subestação Externa ou Ao Tempo**

Construídas normalmente em locais amplos, a instalação dos equipamentos de uma subestação desse tipo é feita exclusivamente ao tempo, sujeitos às condições atmosféricas locais, inevitavelmente submetidas a intempéries climáticas, tais como variação de temperatura, chuva, vento, poluição e etc., as quais degradam os materiais que compõem os equipamentos e reduzem a eficácia do isolamento, fazendo-se necessário então, manutenção mais frequente.

Dentro desta definição enquadram-se as chamadas *Air Insulated Switchgear (AIS)*, Subestações Elétricas Isoladas a Ar. Denominadas desta maneira, pois o ar atmosférico é o responsável pela isolação elétrica entre os equipamentos do pátio (MAMEDE, 2013).

### **2.2.4. Subestação Interna ou Abrigada**

Montadas sob lugar de resguardo e proteção do tempo, os equipamentos são instalados internamente a abrigo, protegidos do ambiente, isentos de intempéries. Este abrigo pode ser uma edificação ou até mesmo uma câmara subterrânea (BOZZI, 2011).

Na definição de Subestação Abrigada pode-se enquadrar as Subestações Elétricas Isoladas a Gás, (*Gás Insulated Switchgear*), em que a isolação elétrica dos equipamentos é feita por gás SF<sub>6</sub> (hexafluoreto de enxofre) ou uma mistura dele. Este composto e tipo de isolação assim como aplicação será melhor explanado no capítulo seguinte.

## **2.3. Equipamentos de Subestações Elétricas**

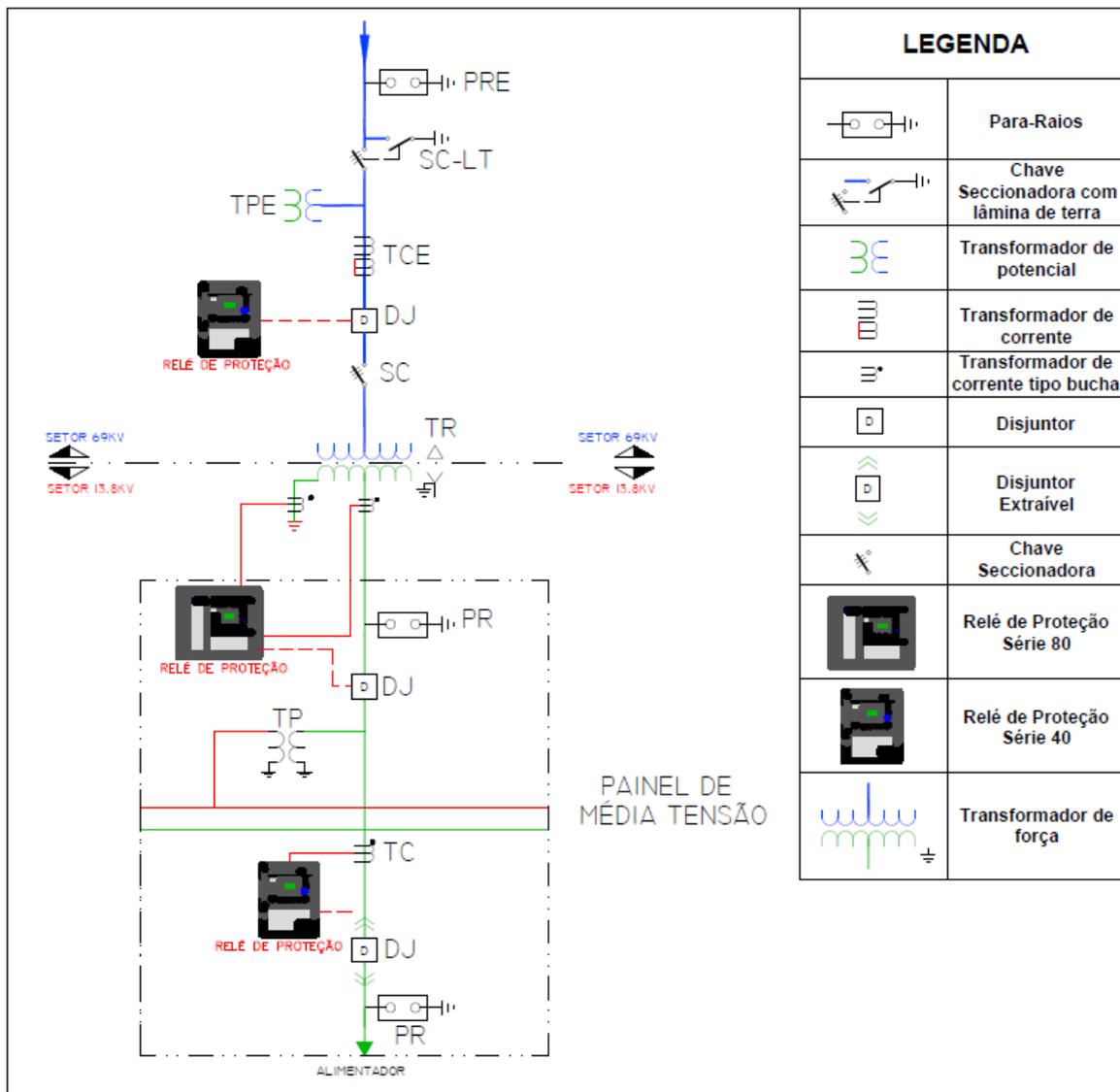
Como já foi definido, subestação é composto por um conjunto de equipamentos com funções bem definidas e específicas, que devem ser arranjados da forma mais descomplicada possível; contudo, deve-se considerar questões como confiabilidade de operação, segurança do pessoal, facilidade de manutenção e limitação de danos causados por incêndios, raios ou mau funcionamento de equipamentos. O arranjo dos equipamentos pode

variar de acordo com o tamanho, tipo e localização da subestação, mas a maioria dos tipos de equipamentos podem ser categorizados do seguinte modo:

- Transformadores;
- Equipamentos de alta tensão; e
- Equipamentos de baixa tensão.

Neste tópico procura-se fornecer informações técnicas sobre os principais equipamentos elétricos utilizados nas subestações de alta tensão, sendo eles, para-raios, chaves seccionadoras, disjuntores de alta tensão, transformadores de potência e painéis elétricos; Na Figura 2 é apresentado um diagrama unifilar simplificado de proteção, em que destaca o setor de 69 kV em cor azul, e o setor de 13,8 kV na cor verde, e todos os equipamentos dos bays de uma subestação.

Figura 2 - Diagrama Unifilar simplificado



Fonte: elaborada pelo autor

### 2.3.1. Para-raios a resistor não-linear

Equipamentos apropriados para reduzir nível de sobretensão a valores compatíveis com a suportabilidade do sistema, os para-raios são utilizados para proteger os diversos equipamentos que compõem uma subestação. Este dispositivo limita os surtos de tensão, normalmente ocasionados por descargas atmosféricas ou até mesmo manobras de chaves seccionadora, a um valor máximo e esse é adotado como o nível de proteção que o para-raios oferece ao sistema.

Figura 3 - Para-raios



Fonte: (BALESTRO, [s.d.] )

Os para-raios utilizam as propriedades de não linearidade dos elementos de que são fabricados para conduzir correntes de descargas associadas aos surtos de tensão e em seguida interrompem as correntes que sucedem às correntes de descargas, após sua condução à malha de terra (MAMEDE, 2013), ou seja, isso significa que para um dado valor de sobretensão, o para-raios deixa de funcionar como um isolador e passa a conduzir, e descarregar parte da corrente a malha de terra.

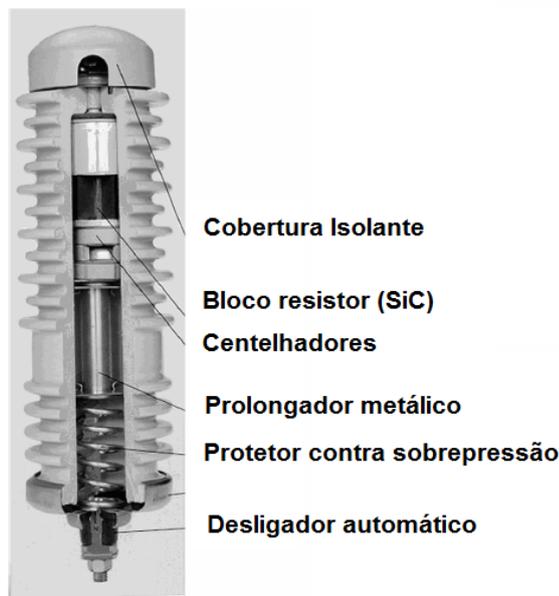
Sendo essencial para o princípio de funcionamento dos para-raios, resistor não linear é um componente que possui comportamentos que mudam, dependendo da situação. Estes dispositivos têm como principal característica variar a resistência de acordo com a mudança de temperatura, iluminação, tensão entre outras grandezas físicas. O objetivo do resistor não linear usado nos para-raios é garantir que para ocasiões de tensões baixas tenha-se uma resistência elevada e, com tensões elevadas, uma resistência baixa (ÁLVARES, 2008).

Das características construtivas desses equipamentos, pode-se citar dois elementos com atributos não lineares capazes de cumprir as funções mencionadas: carbonato de silício e óxido de zinco.

Os Para-Raios de Carboneto de Silício são constituídos, como mostra na Figura 4, basicamente por uma mola protetora contra sobrepressão, um centelhador formado por vários

espaços vazios (*gaps*) em série com um resistor não linear feito de carbonato de silício (SiC), todos colocados no interior de um invólucro de porcelana vitrificada, seguido de um desligador automático para para-raios de média tensão.

Figura 4 - Para-raios com centelhadores



Fonte: adaptado de (ÁLVARES, 2008).

Diferentemente dos para-raios de SiC, o para-raios que usam um bloco cerâmico de óxido de zinco (ZnO) como resistor não linear são constituídos basicamente de corpo de porcelana ou corpo polimérico e resistor não linear, dispensando os centelhadores em série porque quando submetido a à tensão de operação, conduz à terra uma corrente elétrica de valor muito pequeno, na faixa de microampères, incapaz de provocar aquecimento significativo no bloco cerâmico.

Vale ressaltar que os para-raios de SiC proporciona baixa confiabilidade, assim com é mostrado em (FRANCO, 2012), razão pela a qual as concessionárias de energia substituíram estes por para-raios de ZnO.

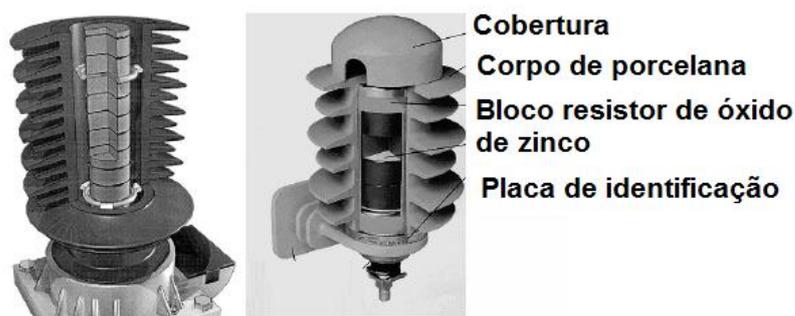
A diferença básica entre os para-raios de SiC e ZnO é o coeficiente de não linearidade, ou seja, o tamanho da variação ôhmica do varistor de que são constituídos os para-raios para uma dada elevação da tensão. Os para-raios SiC têm um baixo coeficiente de não linearidade, enquanto os para-raios ZnO apresentam um elevado valor desse fator (MAMEDE, 2013).

Os para-raios ZnO podem ter corpos de porcelana ou poliméricos, sendo o primeiro, por questões construtivas, com um volume superior ao ocupado pelos varistores, gerando assim

espaço interno razoável. Este espaço pode ocasionar a rápida decomposição dos varistores devido fluxo de corrente entre fase e terra causada pela penetração de ar úmido e/ou poluído no interior do invólucro. Já os para-raios com corpo polimérico não possuem espaços vazios em seu interior evitando não só os problemas acima citados para os para-raios com corpo de porcelana, evita explosão e o risco de liberação de fragmentos para o ambiente é muito remoto.

A vantagem sobre o pára-raios de porcelana é que os com corpo polimérico têm um bom desempenho em poluições com os supressores de borracha de silicone poliméricos. No entanto, falhas em pára-raios alojados com polímeros aumentaram recentemente. Em (GUMEDE, 2014) é utilizada uma técnica de termovisão para prever possíveis falhas aliadas a uma inspeção visual de pára-raios colocados em subestações externas, resultando na obtenção de informações suficientes sobre falhas de pára-raios, tais como evidências de perfurações, trepidação, rastreamento e máscaras de umidade nos blocos e vedações de ZnO.

Figura 5 – Para-raios de óxido de zinco



Fonte: adaptado de (ÁLVARES, 2008).

A norma que fixa os requisitos exigíveis a para-raios de resistor não linear é a NBR 16050:2012 – Para-raios de resistor não linear de óxido metálico sem centelhadores (ABNT, 2011), e de acordo com seu texto esses equipamentos podem ser classificados com os seguintes parâmetros:

- Classe estação: 20, 15 e 10 kA;
- Classe distribuição: 5 kA;
- Classe secundária: 1,5 kA;

Como regra geral, os para-raios de 10 kA tipo estação, são aplicados a sistemas iguais ou acima de 69 kV; os de 5 kA, também tipo estação, são usados para sistema de transmissão abaixo de 69 kV e para proteção de transformadores de distribuição; enquanto os para-raios de classe secundária são fabricados para tensão de até 660 V, usados para entrada de consumidores de baixa tensão.

Quanto ao nível de isolamento a norma estabelece três faixas sendo elas: A para isolamentos acima de 1 kV até 36,2 kV, utilizados em sistema de média tensão; faixa B para isolação de 72,5 kV até 242 kV, característica dos sistemas elétricos de alta tensão; e faixa C, para isolações acima de 362 kV. Na Figura 6 é possível ver um para-raios tipo estação, 10 kA, faixa de isolação B, usado para a proteção de subestações industriais de 69 kV.

Figura 6 – Para-raios tipo estação



Fonte: (BALESTRO, [s.d.])

Para especificação do para-raios a ser utilizado, deve-se atentar às seguintes características (MAMEDE, 2013):

- Tensão nominal:

É a máxima tensão eficaz, à frequência nominal, que o equipamento pode ficar submetido permanentemente e operar de forma satisfatória.

- Frequência nominal:

Frequência para qual o dispositivo foi projetado.

- Corrente de descarga nominal:

Corrente tomada em seu valor de crista, na forma de onda  $8x20\mu s$ , que define o nível de absorção de energia do para-raios. Para ambiente com elevadas intensidades de descargas atmosféricas, deve-se usar para-raios com corrente de descarga nominal de 10kA.

- Máxima tensão de operação contínua (MCOV):

É a máxima tensão permissível, à frequência industrial, que pode ser aplicada de forma ininterrupta nos terminais do equipamento sem provocar alterações nas suas características operacionais. Para equipamentos de faixa A e B, o valor de MCOV é igual à

tensão nominal.

- Tensão disruptiva máxima de impulso atmosférico:

Tensão máxima, em valor de crista, quando o para-raios é submetido a uma onda normalizada de  $1,2/50 \mu s$  e provoca disrupção em todas aplicações.

- Tensões disruptiva à frequência industrial:

Maior tensão em valor eficaz, antes da disrupção, quando o para-raios é submetido a uma tensão elevada na frequência industrial.

- Tensão disruptiva máxima por surto de manobra:

O maior valor de tensão transitória que pode acontecer no sistema antes de haver a disrupção do para-raios.

- Tipo de resistor não-linear:

Como já foi explanado, o resistor não-linear pode ser de carboneto de silício (SiC) ou óxido de zinco (ZnO).

### 2.3.2. Transformadores de Corrente

Equipamentos monofásicos que permitem aos instrumentos de medição, controle e proteção, funcionar de forma adequada e segura, sem que seja necessária que a corrente nominal venha ser a mesma necessária para funcionamento da carga. De maneira simples, os Transformadores de Corrente (TCs) possuem um primário com poucas espiras e um secundário, isolados eletricamente um do outro, porém, acoplados magneticamente, aos quais são usados para reduzir a corrente a valores baixos (normalmente 1 ou 5 A) (MAMEDE, 2013).

Por meio do fenômeno de conversão eletromagnética, os Transformadores de Corrente transformam correntes elevadas que circulam no seu primário, em pequenas correntes secundárias, segundo uma relação de transformação. Esta relação do primário e secundário é inversamente proporcional à relação entre o número de espiras dos enrolamentos primários e secundário.

Figura 7 – Transformadores de Corrente



Fonte: (MINULIGHT, [s.d.])

Sendo vários os tipos de trabalhos que necessitam do transformador de corrente, foi preciso a construção de diversos modelos para que fosse atendida as necessidades de cada atividade onde seriam empregados. Assim sendo serão citados os quatro principais tipos construtivos de TCs, explicando suas características construtivas e onde são empregados.

O TC tipo enrolado é aquele cujo enrolamento primário é constituído de uma ou mais espiras envolvendo o núcleo do transformador. Este tipo de TC é usado em medições que a corrente é inferior a relação de 200A por 5A. Sua constituição interna é bem simples, composta por um enrolamento primário com poucas espiras, e um enrolamento secundário com quantidade de espiras significativamente maior e mais finas, suficiente para suportar o equipamento de medição.

O TC tipo janela é um TC cujo enrolamento secundário é isolado e montado sobre o núcleo, mas não apresenta nenhum enrolamento primário como parte integrante do TC. O enrolamento primário apresenta uma única espira que consiste do próprio condutor que passa dentro da janela do núcleo. Em painéis de comando de baixa tensão, onde não se deseja seccionar o condutor para instalar o transformador de corrente, TCs tipo janela são empregados, reduzindo-se os espaços no interior dos painéis.

TC tipo bucha é um TC tipo janela empregado em equipamentos como transformadores, disjuntores, dentre outros, onde o TC se situa na própria bucha do equipamento. Em Transformadores de Potência são usados, em geral, na proteção diferencial, quando se deseja restringir ao próprio equipamento o campo de ação desse tipo de proteção (MAMEDE, 2013).

O TC tipo barra é aquele a qual o enrolamento primário é constituído por uma barra fixada através do núcleo transformador. Em baixa tensão são utilizados em painéis de comando, tanto para o uso em proteção quanto para medição. Os TCs tipo barra fixa são os mais utilizados em subestações de potência de média e altas tensões. Na Figura 8 é possível ver um Transformador de Corrente tipo Barra fixa do fabricante Pfiffner, usado para a proteção e medição de subestação de 72,5 kV.

Figura 8 – Transformador de Corrente 72,5 kV



Fonte: (PIFFNER, [s.d.])

As correntes nominais primárias do primárias devem ser compatíveis com a corrente de carga do circuito primário. Já as correntes nominais secundárias são geralmente iguais a 1 ou 5 A. De acordo com a NBR 6856:2015 – Transformadores de Corrente (ABNT, 2015), adota-se as seguintes simbologias para definir as relações de corrente:

- Dois pontos (:): Relações de enrolamentos diferentes;
- Hífen (-): Separar correntes nominais de enrolamentos diferentes;
- O sinal (×): Separar correntes primárias nominais cujos enrolamentos podem ser ligados em série ou paralelo; e
- Barra (/): Separar correntes nominais ou relações nominais obtidas por meio de derivações.

Em termos de segurança, o chamado Fator de Sobrecorrente nominal é o fator pelo qual se deve multiplicar a corrente nominal primária do TC para se obter a máxima corrente no seu circuito primário até o limite de sua classe de exatidão. A NBR 6856:2015 especifica o fator de sobrecorrente para serviço de proteção em 20 vezes a corrente nominal. Já o Fator Térmico nominal traduz a sobrecarga de corrente que o TC suporta permanentemente. Os fatores térmicos, conforme a norma citada, são 1, 1.2, 1.3, 1.5, e 2.

Um dado importante na especificação desses equipamentos é a Exatidão. Esta informação expressa o erro máximo que o TC admite para uma condição especificada, lembrando que esta é dada na maior relação. Existem três maneiras de expressar a classe de exatidão de um transformador de corrente (MAMEDE, 2013).

- Norma ABNT NBR-6856 – Exemplo: 10B100

O primeiro número representa o erro máximo em %, a 20 vezes da corrente nominal. A letra, “A” ou “B”, indica se o TC é de Alta ou Baixa Impedância respectivamente. E o último número indica o valor em Volts que o equipamento consegue entregar para a carga em condição de 20 vezes a corrente nominal, sem ocorrer saturação do núcleo.

- Norma IEEE Std C57.13-1993(IEEE, 2008) – Exemplo: C100

Para esta forma de expressar, ficar implícito que o erro máximo é de 10%. A letra “C” indica que o erro pode ser calculado; quando foi “T” o equipamento deve ser testado para obtenção deste parâmetro. O número indica o valor em Volts que o equipamento consegue entregar para a carga, assim como na NBR citada anteriormente.

- Norma IEC 60044-1 2003(IEC, 1996) – Exemplo: 15VA 10P20

O primeiro termo representa a quantos VA o equipamento consegue entregar na condição de corrente nominal vezes o fator de sobrecorrente, sendo este expresso no final da expressão. Diferentemente da ABNT, para a IEC os valores padronizados para o fator de sobrecorrente são 5, 10, 20 ou 30. Os valores nominais padronizados para VA são 2.5, 5, 10, 15, 30VA. Acima de 30, pode-se especificar o valor desejado. O número 10 indica que o erro máximo é de 10% e a letra “P” indica que o TC é para fins de proteção (MARDEGAN, 2012).

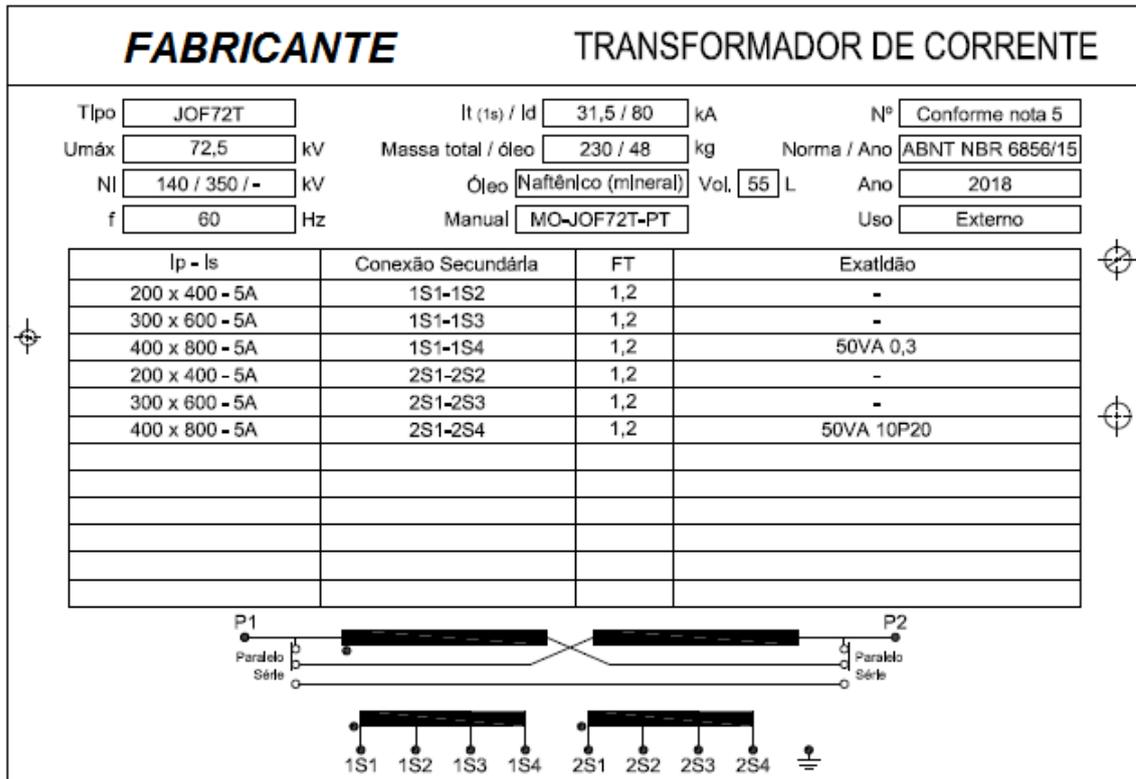
A especificação de um transformador de corrente implica o conhecimento prévio desse equipamento: para serviço de medição ou de proteção. TCs destinados à medição é indispensável determinar a carga acoplada em seu secundário; já para TCs de proteção, além da carga dos aparelhos conectados, é necessário saber as condições transitórias das correntes de defeito. De forma geral, na especificação deve-se determinar(MAMEDE, 2013):

- Propósito (Medição ou Proteção);
- Uso (interno ou externo);
- Classe de exatidão;
- Classe de tensão;
- Número de enrolamentos secundários;
- Fator térmico;
- Carga nominal;
- Relação de Transformação;
- Nível de isolamento; e
- Tensões suportáveis à frequência industrial e a impulso atmosférico.

Na Figura 9 é mostrada uma placa de Transformador de Corrente usado para

proteção de subestação 69kV, evidenciando alguns dos dados ditos neste tópico.

Figura 9 – Placa Transformador de Corrente 72,5 kV



Fonte: elaborada pelo autor

### 2.3.3. Transformadores de Potencial

Comumente chamado de TP, transformador de potencial é um transformador para instrumento, monofásico, cujo enrolamento primário é ligado em derivação (paralelo) com o circuito elétrico e cujo enrolamento secundário se destina a alimentar bobinas ou entradas analógicas de corrente de instrumentos elétricos de medição, controle ou proteção (DUAILIBE, 1999).

Tem como principal finalidade reduzir a tensão e reproduzi-la no circuito secundário de forma padronizada com valor reduzido e proporcional a corrente do circuito primário, com sua posição fasorial mantida, de forma adequada para o uso em instrumentos de proteção, medição e controle.

Na sua forma mais simples, os Transformadores de Potencial possuem um enrolamento primário de muitas espiras e um enrolamento secundário através do qual se obtém a tensão desejada, normalmente padronizada em 115 V ou  $115/\sqrt{3}$ . Dessa forma, os instrumentos de proteção e medição são dimensionados em tamanhos reduzidos com bobinas e demais componentes de baixa tensão (MAMEDE, 2013).

Figura 10 – Transformadores de Potencial



Fonte:(PFIFFNER, [s.d.]

Os TPs, assim como os TCs, também funcionam com base na conversão eletromagnética entre os enrolamentos primário e secundário. Portanto, para uma determinada tensão aplicada nos enrolamentos primários, obtém-se nos terminais secundários uma tensão reduzida, dada pelo valor da relação de transformação de tensão.

Os transformadores de potencial para aplicação em sistemas de potência podem ser construídos a partir de dois tipos básicos: TPs Indutivos e TPs Capacitivos.

Utilizados para aplicação em sistemas de até 138 kV, por apresentarem custo inferior aos capacitivos, os TPs Indutivos são dotados de um enrolamento primário que envolve um núcleo de ferrosilício comum ao enrolamento secundário. De acordo com a NBR: 6855 – Transformadores de potencial, os TPs Indutivos são construídos segundo os três grupos de ligações seguintes(MAMEDE, 2013):

- Grupo 1 – TPIs projetados para ligação entre fases;
- Grupo 2 – TPIs projetados para a ligação entre fase e terra em sistemas eficazmente aterrados; e
- Grupo 3 – TPs projetados para a ligação entre fase e terra de sistemas em que não se garante a eficácia do aterramento.

Os TPs dos Grupos 2 e 3 são normalmente conectados na configuração estrela aterrada no primário e estrela aterrada no secundário.

Construídos normalmente para tensões iguais ou superiores a 138 kV, os TPs Capacitivos são constituídos basicamente de capacitores que servem para fornecer um divisor de tensão, cujas células que forma o condensador são ligadas em série e o conjunto fica todo

imerso no interior de um invólucro de porcelana.

O fato interessante é que o TP Capacitivo é, de maneira simples, é composto por: um TP Indutivo ligado na derivação intermediária, através de um ponto de conexão, fornecendo as tensões secundárias desejadas; e um reator de compensação ajustável para controlar as quedas de tensões e a defasagem no divisor capacitivo, na frequência nominal, independente da carga, porém nos limites previstos pela classe de exatidão considerada (BOZZI, 2011).

Na Figura 11 é possível ver um Transformador de Potencial Indutivo 72,5 kV, grupo de ligação 2, usado em Subestações de 69 kV.

Figura 11 – Transformador de Potencial 72,5 kV



Fonte: (PFIFFNER, [s.d.])

Das características elétricas pode-se citar: classe de exatidão, carga nominal, potência nominal e fator de sobretensão.

Classe de exatidão exprime nominalmente o erro esperado do transformador de potencial, levando em conta o erro de relação de transformação e o erro de defasamento angular entre as tensões primária e secundária. Sendo a exatidão normalmente expressa por um valor percentual, os TPs enquadram-se em valores como 0.3, 0.6 e 1.2%. Na representação comum, o número percentual vem seguido da letra P, e do valor da potência da maior carga nominal (MARDEGAN, 2012).

A soma das cargas que são acopladas a um Transformador de Potencial deve ser compatível com a carga nominal deste equipamento: 12.5, 25, 35, 75, 200 e 400 VA, padronizada pela NBR 6855 (ABNT, 2018).

Potência Térmica Nominal é a potência que o TP pode suprir continuamente, sem que sejam excedidos os limites de temperatura nominais. Para os TPs dos grupos de ligação 1 e 2, a potência térmica nominal não deve ser inferior a 1,33 vezes a carga nominal mais elevada.

Esse valor é dado em VA e deve ser igual ao produto do quadrado do fator de sobretensão contínuo, pela maior carga especificada, ou carga simultânea para TPIs(MARDEGAN, 2012).

Já o fator de sobretensão é utilizado para definir condições de sobretensões durante faltas com a terra em sistemas trifásicos não aterrados.

Normalmente, os principais dados básicos para especificação de um Transformador de Potência são(MAMEDE, 2013):

- Uso: interior (indoor) ou exterior (outdoor);
- Tensão nominal primária e secundária;
- Relação nominal do TP;
- Tensão máxima e classe de isolamento;
- Frequência;
- Carga nominal;
- Classe de exatidão;
- Potência térmica nominal;
- Grupo de Ligação ou fator de sobretensão nominal;
- Nível Básico de Isolamento – NBI (*BIL*);

Na Figura 12 é mostrada uma placa de Transformador de Potencial usado para proteção de subestação 69kV, evidenciando alguns dos dados ditos neste tópico.

Figura 12 – Placa Transformador de Potencial Indutivo 72,5 kV

<b>FABRICANTE</b>		<b>TRANSFORMADOR DE POTENCIAL INDUTIVO</b>	
Tipo	EOF72	Grupo de ligação	2
Umáx	72,5 kV	Fst cont / 30s	1,2 / 1,5
NI	140 / 350 / - kV	Massa total / óleo	130 / 15 kg
f	60 Hz	Óleo	Natênico (mneral) Vol. 17 L
P term	216 VA	Manual	M/O-EOF72_145-PT
Nº	Conforme nota 5	Norma / Ano	ABNT NBR 6855/09
		Ano	2018
		Uso	Externo

Up - Usec	Terminals	Rn	Exatidão
69000/√3 - 115/√3V	1X2-1X3	600:1	0,3P75
69000/√3 - 113,82V	1X1-1X3	350:1	
69000/√3 - 115/√3V	2X2-2X3	600:1	0,3P75
69000/√3 - 113,82V	2X1-2X3	350:1	
Máxima carga simultânea: 150VA			

Fonte: elaborada pelo autor

### 2.3.4. Chaves Seccionadoras

Segundo a NBR IEC 62271 – Seccionadores e chaves de aterramento(ABNT, 2006), define-se como chave, um dispositivo de manobra que na posição aberta assegura a distância de isolamento e na posição fechada mantém a continuidade do circuito elétrico. Ainda pela NBR 6935, seccionador é um dispositivo mecânico de manobra capaz de abrir e fechar um circuito, e interruptor exerce a mesma função, em carga.

Os Seccionadores são utilizados em rede aérea de distribuição com finalidade de seccionar os alimentadores durante os trabalhos de manutenção. Em subestações são empregados para permitir manobras de circuitos elétricos, sem carga, isolando outros equipamentos da subestação ou barramentos.

A operação dos seccionadores com circuito em carga provoca desgaste nos contatos e põe em risco a vida do operador. Porém, podem ser operados quando são previstas, no circuito, pequenas correntes de magnetização de transformadores de potência e reatores, ou ainda correntes capacitivas(MAMEDE, 2013).

Os seccionadores são compostos basicamente de um conjunto de partes condutoras que tem por finalidade abrir e fechar, denominado Circuito Principal; os Polos ou caminho condutor eletricamente separados; o conjunto de peças metálicas destinado a assegurar a continuidade do circuito, chamados de Contatos; o Dispositivo de Operação que é onde se processa a abertura e fechamento dos contatos principais; e Dispositivo de Bloqueio, um item mecânico que indica ao operador a posição assumida pelos contatos móveis principais.

Na Figura 13 é possível ver alguns exemplos de Chaves Seccionadoras.

Figura 13 – Chaves Seccionadoras



Fonte: (SCHAK, [s.d.]

Esses equipamentos podem ser construídos de um só polo (chaves seccionadoras

unipolares) ou de três polos (chaves seccionadoras tripolares). Os seccionadores tripolares são dotados de mecanismo que obriga a abertura simultânea dos três polos, quando impulsionado manualmente ou por ação de um motor(MAMEDE, 2013).

Os seccionadores destinados a subestações de consumidor, em geral de pequeno e médio porte, é de uso interno, pois a infraestrutura elétrica é abrigada, construída em alvenaria ou de módulo metálico, livre de intempéries. Já quando destinado à operação em redes de distribuição, ou ainda em subestações de instalação externa de médio e grande porte, usa-se seccionadores de uso externo.

Seccionadores para Subestações de Potência é um dos tipos desse equipamento, sendo normalmente de fabricação tripolar, apresentam os seguintes principais tipos construtivos:

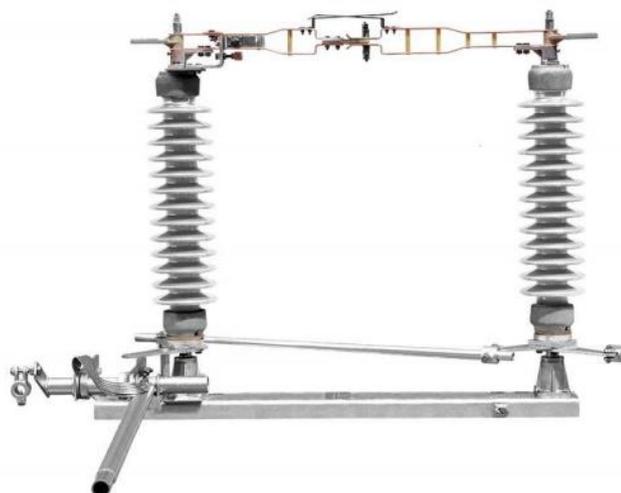
- Seccionadores de abertura lateral singela (ALS):

Caracterizados por hastes condutoras se abrindo lateralmente, esse tipo de seccionador tem seu comando feito numa das colunas isolantes que gira em torno do seu próprio eixo até atingir um ângulo de aproximadamente  $60^\circ$ .

- Seccionadores de abertura central (AC):

Apresenta duas hastes condutoras de comprimentos iguais, construídas com lâminas paralelas, ambas abrindo lateralmente. O comando desse seccionador é realizado simultaneamente nas duas colunas isolantes que giram em torno do seu próprio eixo até atingir um ângulo de aproximadamente  $60^\circ$ . Para classe de tensão igual ou superior a 230 kV, as chaves seccionadoras de abertura central são dotadas de anéis de equalização de campo elétrico nos contatos móveis. Tem como exemplo a chave vista na Figura 14.

Figura 14 – Chaves Seccionadora de abertura central, classe 72 kV



Fonte: (SCHAK, [s.d.]

- Seccionadores de dupla abertura lateral (DAL):

Esses seccionadores são construídos de uma lâmina condutora fixada no ponto da chave, que gira juntamente com o mecanismo de manobra, conforme é observado na Figura 15.

Figura 15 – Chaves Seccionadora de dupla abertura lateral, classe 72 kV

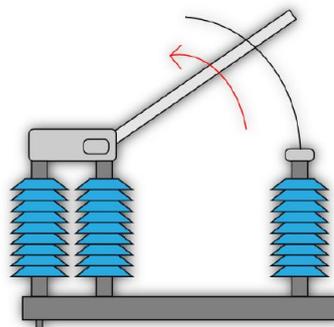


Fonte: (WEG, [s.d.])

- Seccionadores de abertura vertical (AV):

São constituídos, em geral, de três colunas isolantes cujas lâminas condutoras principais são articuladas a partir de uma coluna intermediária abrindo verticalmente, como mostra a Figura 16. Existem seccionadoras de abertura vertical com recursos adicionais, como lâmina de terra que serve para aterrar a parte do circuito seccionado e desenergizado, mas que pode estar com carga capacitiva ou ainda ter uma tensão induzida por linhas energizadas próximas ao circuito aberto. A lâmina de terra possui um comando independente ao comando do seccionador, porém ambas devem estar intertravadas mecanicamente para evitar que a lâmina de terra seja fechada quando o seccionador estiver fechado e vice-versa.

Figura 16 – Chaves Seccionadora de abertura vertical



Fonte:(ELÉTRICA, 2019)

Dados os tipos construtivos das chaves, os seccionadores podem ser operados manualmente ou de forma motorizada.

Na operação manual, de maneira simples, o mecanismo é constituído de uma alavanca única que gira em torno de um eixo, resultando na movimentação do mecanismo articulado.

A operação motorizada é aquela decorrente da energia de uma fonte não manual que é aplicada ao mecanismo de operação de uma chave, tais como motores, solenoides, sistemas pneumáticos, etc. Os seccionadores motorizados podem ser acionados manualmente, quando se verifica um defeito no sistema de operação, mas normalmente são acionados a partir dos painéis de comando instalados a distância(MAMEDE, 2013).

Das características elétricas das Chaves Seccionadoras deve-se citar duas de suma importância: corrente nominal e nível de isolamento.

A corrente nominal de uma Chave Seccionadora é aquela que o equipamento deve conduzir continuamente sem que sejam excedidos os limites de temperatura previstos pela norma. Os valores padronizados são de 200 a 6.000 A variando em intervalos de 200 A. Em subestações de consumidor industrial de 69 kV, o mais frequente é a utilização de chaves seccionadoras de 1.200, 1.600 e 2.000 A (ABNT, 2006).

O nível de isolamento de uma chave seccionadora caracteriza-se pela tensão suportável do dielétrico às solicitações de impulso atmosférico e de manobra. As isolações desses equipamentos são todas elas do tipo regenerativo, ou seja, rompido o dielétrico pela aplicação de determinado impulso de tensão, suas condições retornam aos valores iniciais logo que cessa o fenômeno que provocou a disrupção. Os valores normatizados para Chaves Seccionadoras 72,5 kV, são de 350 kV (valor de crista) para tensão suportável nominal de impulso atmosférico, e 160 kV (valor eficaz) para tensão suportável nominal à frequência industrial durante um minuto(ELÉTRICA, 2019).

Na especificação sumária de uma Chave Seccionadora devem constar pelo menos as seguintes informações(MAMEDE, 2013):

- Tensão nominal;
- Corrente nominal;
- Frequência nominal;
- Corrente nominal suportável de curta duração;
- Duração da corrente suportável de curto-circuito;
- Valor de crista nominal da corrente suportável;
- Tensão de operação dos circuitos auxiliares; e
- Tensão nominal dos dispositivos de comando.

### 2.3.5. Disjuntores de alta tensão

Equipamento destinado à interrupção e ao restabelecimento das correntes elétricas em determinado ponto do circuito, o Disjuntor exerce uma função primordial de proteção da subestação como um todo, ou de equipamentos como transformador de potência. Seu principal objetivo é descontinuar as correntes de defeito de um determinado circuito durante o menor espaço de tempo possível. Esses equipamentos também são solicitados a cessar correntes de circuitos operando a plena carga e a vazio, e a energizar os mesmos circuitos em condições de operação normal ou em falta.

Figura 17 – Disjuntor da alta tensão



Fonte: (ABB, [s.d.])

Disjuntores se enquadram na definição dada pela NBR IEC 62271 (ABNT, 2006) de interruptor, e como a operação de qualquer interruptor se faz separando-se os seus contatos, durante essa separação há o surgimento do arco elétrico que deve ser prontamente eliminado.

Como princípio básico para a extinção de um arco-elétrico qualquer, é necessário que se provoque o seu alongamento por meios artificiais, se reduza a sua temperatura e se substitua o meio ionizado entre os contatos por um meio isolante eficiente que pode ser o ar, o óleo ou o gás, o que permite, assim, classificar o tipo de meio extintor, conseqüentemente as características construtivas dos disjuntores (MAMEDE, 2013).

Para aplicações em alta tensão, é mais comum o uso de Disjuntores com interrupção elétrica a base do gás SF<sub>6</sub>. Esse processo consiste na abertura dos contatos do interruptor no interior de recipiente contendo certa quantidade do gás hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>). O princípio básico dessa interrupção se fundamenta na capacidade do gás de levar rapidamente a

zero a condutibilidade elétrica do arco, e de restabelecer com extrema velocidade a sua rigidez dielétrica após cessados os fenômenos que ocasionaram a formação do arco. Mais informações sobre este gás serão dadas no Capítulo 3 deste trabalho.

Das várias técnicas desenvolvidas para interrupção de correntes elétricas utilizando-se o SF<sub>6</sub> pode-se destacar duas: Autocompressão e Arco girante.

Também denominada de impulso, a técnica de autocompressão, é aquela que utiliza um único vaso de pressão. Quando o disjuntor atua, o deslocamento do êmbolo pressiona o SF<sub>6</sub>, no interior do vaso, cujo o gás é forçado a penetrar na região dos contatos, atingindo o arco de forma transversal, roubando-se o calor e extinguindo-o rapidamente.

A técnica de interrupção denominada arco girante é mais complexa, porém tão eficaz quanto a anterior. Quando o disjuntor atua e os contatos se separam, forma-se entre eles um arco que produz um campo magnético agindo sobre o próprio arco, fazendo-o movimentar-se num percurso anelar no anterior da câmara de SF<sub>6</sub>. Nesse momento, a corrente a ser interrompida passa a ser conduzida por uma bobina ligada em série com o contato de arco fixo e que é envolvida pelo contato principal fixo do disjuntor. A utilização da bobina proporciona uma elevada velocidade no deslocamento do arco, resfriando-o de maneira eficiente. A movimentação no sentido rotativo dura cerca de meio ciclo (MAMEDE, 2013).

Existem também vários tipos de sistema de acionamento dos disjuntores, dentre eles: sistema de solenoide, sistema de ar comprimido, sistema hidráulico e o mais comum, sistema de mola.

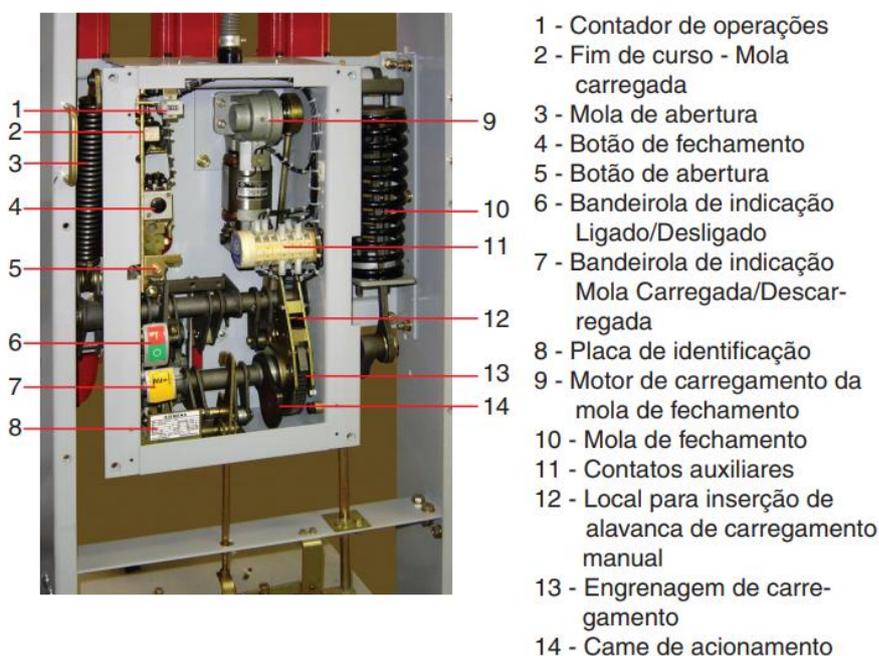
O sistema de mola é o mais comum no acionamento dos disjuntores, principalmente por apresentar grande simplicidade de operação e custos reduzidos. É empregado basicamente em todos os disjuntores de alta tensão a SF<sub>6</sub>.

O sistema consiste numa mola, ou conjunto de molas, que ao ser destravada libera toda sua energia mecânica armazenada para o deslocamento da haste que porta o contato móvel do disjuntor. Esse acionamento pode ser feito individualmente por polo ou de forma tripolar, em comando simultâneo. Na maioria dos casos, o acionamento é do tipo mecânico e utiliza o princípio da energia armazenada, com as seguintes funções básicas(MAMEDE, 2013):

- Armazenar energia mecânica carregando uma mola de fechamento, utilizando-se, para isso, de uma haste metálica que faz girar o disco do sistema de manobra, ou empregando-se um motor do tipo universal; e
- Ceder esta energia a um sistema de fechamento ultrarrápido dos contatos fixo e móvel ao mesmo tempo e transferir parte dessa energia para o carregamento simultâneo da mola de abertura.

Na Figura 18 é possível ver o mecanismo de um disjuntor usado para média tensão com sistema de mola.

Figura 18 – Mecanismo de disjuntor com sistema de acionamento a mola



Fonte: (ABB, [s.d.]

Os disjuntores são dimensionados para operar dentro de suas características nominais, considerando o ciclo de operação determinado pelo fabricante. Em geral o ciclo de operação é designado por duas sequências, ou seja: Sequência O-t-CO e Sequência O-t-CO-t-CO, sendo “O” operação de abertura; “t” tempo para o fechamento após a abertura; e “C” operação de fechamento(ELÉTRICA, 2019).

Muitas vezes a sequência de operação vem acompanhada dos tempos correspondentes, ou seja O-0,35s-CO. Para o segundo tipo de sequência, a capacidade de interrupção do disjuntor é reduzida em cerca de 20% da capacidade registrada na operação anterior, por exemplo O-0,35s-CO-3min-CO(MARDEGAN, 2012).

São muitas as características elétricas dos disjuntores, muitas comuns aos outros equipamentos e outras bem peculiares.

Tensão de restabelecimento é um dos valores que deve ser fornecido em especificação, e é a tensão que surge entre os terminais de um polo do disjuntor depois da interrupção da corrente. Essa tensão é responsável pelo restabelecimento do arco entre os terminais de um polo de um disjuntor.

Sendo a corrente num polo disjuntor, no início do arco, durante uma operação de

abertura, a chamada corrente de interrupção é padrão e varia com a tensão nominal de operação do equipamento. Disjuntores de alta tensão (72,5 e 145 kV) tem corrente de interrupção no valor de 31,5 kA(MAMEDE, 2013).

A corrente suportável de curta duração é o valor eficaz da corrente que um disjuntor pode suportar, na posição fechada, durante um curto intervalo de tempo padronizado.

A duração nominal da corrente de curto-circuito é o tempo que o disjuntor fechado pode suportar em condições de corrente de interrupção simétrica.

Com essas definições pode-se analisar, na Figura 19, uma placa de disjuntor de alta tensão aplicado em Subestações industriais de 69 kV.

Figura 19 – Placa Disjuntor 72,5 kV

<b>FABRICANTE</b>			
DISJUNTOR TIPO:	EDFSK1-1	MECANISMO DE OPERAÇÃO MODELO:	FSA-1
NÚMERO DE SÉRIE DO DISJUNTOR:	2GDB (VER NOTA *)	Nº DE SÉRIE DO MECANISMO:	2GDM (VER NOTA **)
TENSÃO DO DISJUNTOR:	72,5 kV	SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES:	O-0,3s-CO-3min-CO
NÍVEL DE ISOLAMENTO:		CLASSE DE TEMPERATURA:	40 °C
- A IMPULSO ATMOSFÉRICO:	350 kV	TENSÕES SECUNDÁRIAS:	
- TENSÃO APLICADA 1 MIN.:	140 kV	- COMANDO (ABERTURA E FECHAMENTO):	125Vcc
- A IMPULSO DE MANOBRA:	- kV	- MOTORES:	125Vca
FREQUÊNCIA:	60 Hz	- CIRCUITOS AUXILIARES:	220Vca
TEMPO DE INTERRUPTÃO:	≤50 ms	POTÊNCIA DAS BOBINAS DE ACIONAMENTO:	500 W
FATOR DO PRIMEIRO PÓLO:	1,5	CORRENTE NOMINAL DAS BOBINAS DE ACIONAMENTO:	~5 A
CORRENTE DE INTERRUPTÃO NOMINAL:	31,5 kA	PRESSÕES DO GÁS SF <sub>6</sub> :	abs (+20°C)
CORRENTE NOMINAL DO DISJUNTOR:	2000 A	- MÁXIMA DE OPERAÇÃO:	0,80 MPa
CORRENTE DE FECHAMENTO:	82 kA	- NOMINAL:	0,70 MPa
CORR. SUPORTÁVEL DE CURTA DURAÇÃO	1s 31,5 kA	- ALARME DE PERDA DE PRESSÃO (1º NÍVEL - ALARME)	0,62 MPa
CAPAC. DE INTERRUPT. LINHAS EM VAZIO	10 A	- ALARME DE PERDA DE PRESSÃO (2º NÍVEL - BLOQUEIO)	0,60 MPa
COMPONENTE DE C.C.:	45%	VOLUME DE GÁS POR PÓLO:	18 L
NORMA:	IEC 62271-100	MASSA TOTAL DO DISJUNTOR:	~913 kg
MANUAL DE INSTRUÇÕES:	1HYB 800001-25	Nº DO DIAGRAMA ELÉTRICO FUNCIONAL:	2GDB201C-1851009.001
ANO DE FABRICAÇÃO:	2018	USO:	EXTERNO
CODIGO DE BARRA			

Fonte: elaborada pelo autor

Para a especificação de um disjuntor é necessário que se minudencie, no mínimo, os seguintes dados (MAMEDE, 2013):

- Tensão nominal.
- Corrente nominal.
- Corrente de interrupção simétrica, valor eficaz.
- Corrente de interrupção assimétrica, valor eficaz.

- Potência de interrupção.
- Frequência nominal.
- Tempo de interrupção.
- Tensão suportável de impulso.
- Tipo de construção (aberta ou blindada).
- Tipo de comando (manual ou motorizado).

### 2.3.6. Transformadores de Potência

Transformador é um equipamento destinado a transmitir energia elétrica ou potência elétrica de um circuito a outro, induzindo tensões, correntes e/ou de modificar os valores das impedâncias elétricas de um circuito elétrico. Este dispositivo tem operação estática, que por meio de indução eletromagnética transfere energia de um circuito, chamado primário, para um ou mais circuitos denominados, respectivamente, secundário e terciário, sendo, no entanto, mantida a mesma frequência, porém com tensões e correntes diferentes (MAMEDE, 2013).

Num sistema elétrico, os transformadores são utilizados desde as usinas de produção, onde a tensão gerada é elevada a patamares adequados para permitir a transmissão econômica de potência, até os grandes pontos de consumo, onde a tensão é reduzida ao nível de subtransmissão e de distribuição, alimentando as redes rurais e urbanas, onde novamente é reduzida para poder, enfim, ser utilizada com segurança pelos usuários finais do sistema.

Figura 20 – Transformadores de Potência



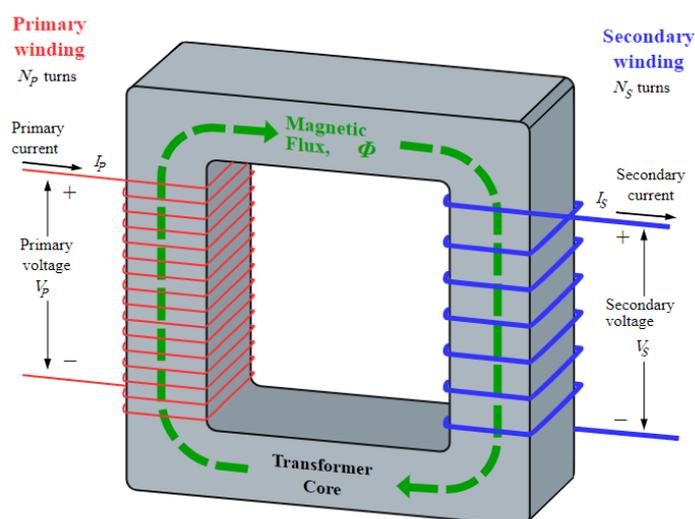
Fonte: (WEG, [s.d.] )

Inventado em meados do século XIX, por um físico e químico britânico chamado Michael Faraday, os transformadores funcionam através da indução de corrente de acordo com os princípios do eletromagnetismo, ou seja, princípios onde afirma-se ser possível criar uma corrente elétrica em um circuito uma vez que esse seja submetido a um campo magnético

variável, e é por essa necessidade de variação no fluxo magnético que os transformadores só funcionam em corrente alternada (INFOESCOLA, [s.d.]).

Como é mostrado na Figura 21, num denominado Transformador Ideal, a corrente passando através da bobina do circuito primário cria um campo magnético. A bobina primária e secundária são ambas enroladas sobre um núcleo de material magnético de elevada permeabilidade magnética, a exemplo um núcleo de ferro, de modo que a maior parte do fluxo magnético passa através de ambas as bobinas. Se um dispositivo elétrico é conectado ao enrolamento secundário, uma vez que a corrente e a tensão aplicadas ao circuito primário tenham os sentidos indicados, a corrente e a tensão elétricas no dispositivo terão também sentidos definidos, como os indicados na figura.

Figura 21 – Transformador Ideal



Fonte: (INFOESCOLA, [s.d.])

No seu estudo de funcionamento, é importante analisar as três situações particularmente mais importantes que assumem durante a sua operação: a vazio, em carga e em curto-circuito (MAMEDE, 2013).

Operação em vazio é quando o transformador está energizado e não há nenhum aparelho consumidor ligado ao seu enrolamento secundário. Neste caso, no enrolamento primário circulará uma corrente, denominada corrente a vazio, e nenhuma corrente percorrerá o enrolamento secundário, portanto a elevação da tensão aplicada aos terminais primários do transformador resulta num aumento da corrente em operação a vazio, em perdas no ferro mais elevadas e num maior número de correntes harmônicas.

Operação em carga é quando uma carga é ligada aos bornes secundários do transformador, fazendo circular neste enrolamento uma corrente secundária que, em

consequência, faz surgir no primário, uma corrente primária. A força magnetomotriz provocada pela corrente primária equilibrará a força magnetomotriz (f.m.m.) gerada no secundário com a circulação da corrente de carga.

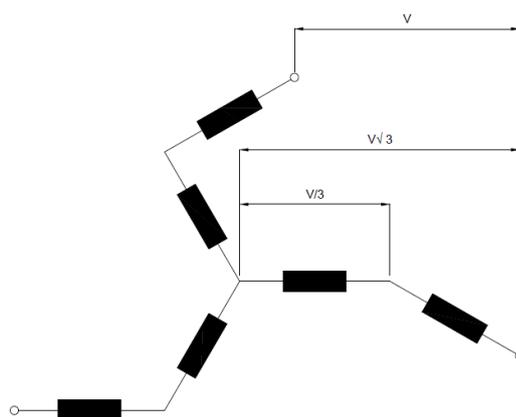
Operação em curto-circuito é quando se ligam os terminais secundários de um transformador através de um condutor de impedância desprezível, obtendo assim tensão que entre esses terminais praticamente nula. Esse processo é feito durante os denominados ensaios de curto-circuito, onde aplica-se uma tensão nos terminais primários para se obter nos terminais secundários em curto-circuito uma corrente de valor igual à corrente nominal do transformador, encontrando-se dessa forma o valor da impedância percentual do transformador em relação a sua tensão nominal, ou impedância de curto-circuito.

Os transformadores são construídos com as mais diversas características e formas, que dependem do tipo de carga que se quer alimentar ou mesmo do ambiente onde se pretende instalar.

Os transformadores de distribuição e de força, podem ser construídos, quanto ao número de fases, de acordo com a característica da carga que irá ser alimentada, podendo ser transformadores monobuchas, bifásicos ou trifásicos; sendo o último os mais empregados, tanto nos sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica das concessionárias, como no atendimento a cargas industriais(DUAILIBE, 1999).

Os transformadores trifásicos, podem ter os seus enrolamentos ligados de três diferentes maneiras, dependendo da conveniência do sistema em que será aplicado: Ligação triângulo, estrela e ziguezague; a primeira é comumente utilizada nos enrolamentos do primário dos transformadores enquanto a segunda ligação é normalmente utilizada nos enrolamentos secundários. A ligação ziguezague atenua os efeitos dos harmônicos de 3ª ordem, permitindo, ao mesmo tempo, a possibilidade de três tensões de utilização, conforme se vê na Figura 22, no entanto, transformadores com essa ligação apresentam custos relativamente elevados (MAMEDE, 2013).

Figura 22 – Ligação das bobinas com ligação zigzague



Fonte: elaborado pelo autor

Podendo ser isolado a seco ou a líquido, meio isolante dos transformadores também é uma característica importante(ELÉTRICA, 2019).

Já os transformadores a seco são de uso bastante específico por se tratar de um equipamento de custo muito elevado, comparativamente aos transformadores em líquido isolante. Em especial, o transformador à seco é um dispositivo que não depende da refrigeração e isolamento a óleo, como acontece nos casos dos transformadores encontrados nos postes de iluminação pública. As grandes vantagens desta característica são a baixa manutenção exigida pelo equipamento e a ausência do risco de vazamentos de óleo, causando danos ao meio ambiente. Podem ser utilizados como opção de compactação de subestação, como por exemplo transformador de serviços auxiliares a seco locado dentro de uma casa de comando. Na Figura 23 mostra um exemplar de Transformador a seco de 500 kVA, classe de tensão 15kV do fabricante WEG.

Figura 23 – Transformador 15 kV isolado a seco



Fonte: (WEG, [s.d.])

Transformadores em líquido isolante são empregados normalmente em sistemas de distribuição e força e em plantas industriais comuns. Óleo mineral e silicone são os dois tipos de líquidos isolantes que são mais utilizados em transformadores. O líquido também exerce função de resfriamento, fazendo a troca de calor com núcleo. Esse resfriamento, denominado processo de convecção, pode ser de maneira natural ou forçada. Um conjunto de letras designa o tipo de resfriamento desse equipamento, ONAN (óleo natural com resfriamento natural) e ONAF (óleo natural com ventilação forçada) são os mais comuns (MAMEDE, 2013).

Na convecção natural, quando a massa de óleo quente atinge a parte superior do transformador, inicia o caminho de retorno através dos radiadores, cedendo calor ao meio exterior, num processo lento e contínuo, chegando à sua parte inferior já bastante resfriada.

No caso da convecção forçada é necessária a utilização de ventiladores que aceleram a movimentação das massas de ar quente que são imediatamente substituídas por massas de ar frio, num processo rápido e contínuo. Este processo é comum aos transformadores de potência, principalmente os de tensão nominal de 69 kV e acima. Por este processo se obtém uma capacidade adicional de potência nominal do transformador; cada estágio de ventilação, de acordo com a NBR 5356-7 (ABNT, 2017), eleva a potência em aproximadamente 25%. Como forma de exemplo, na Figura 24 mostra um transformador de 69/13,8 kV com potência de 10 MVA, para operação ONAN, pode ser operado continuamente com até 12,5 MVA, que pode ser operado em regime ONAF, ou seja, sob ventilação forçada.

Figura 24 – Transformador 72,5/15 kV – 10/12,5 MVA (ONAN/ONAF)



Fonte: (WEG, [s.d.]

Os transformadores possuem características elétricas que devem ser cuidadosamente conhecidas antes de sua aplicação, visando a uma operação segura e econômica.

Potência nominal de um transformador é o valor convencional da potência aparente que serve de base ao projeto, aos ensaios e que determina a corrente nominal sob tensão nominal, segundo a NBR 5356:2007 – Transformadores de potência – Especificação. Possuindo algum sistema de resfriamento, como ONAF (óleo natural com ventilação forçada), a sua potência nominal é definida como sendo a máxima potência que pode fornecer nas condições específicas. Se o transformador possui vários enrolamentos, deve-se declarar a potência nominal de cada um deles. Os exemplos comuns para potências de um transformador de alta tensão, são: 5/6.25, 10/12.5 e 20/25 MVA, sendo todos ONAN/ONAF(MAMEDE, 2013).

A potência absorvida pelo transformador e dissipada, em forma de calor, pelos enrolamentos primários e secundários e pelo núcleo de ferro, é denominada perda, e podem ser analisadas sob duas diferentes formas de operação: Perdas em vazio e em carga.

Perda em vazio é aquela absorvida pelo transformador quando alimentado em tensão e frequência nominais, estando os enrolamentos secundários ou terciários em aberto, e se resumem nas perdas no núcleo de ferro. Já a perda em carga corresponde à potência ativa absorvida na frequência nominal, quando os terminais primários de linha são percorridos pela corrente nominal, estando os terminais secundários em curto-circuito. Ocorrem unicamente devido à resistência ôhmica das bobinas dos transformadores, portanto, denominadas perdas no cobre (DUAILIBE, 1999).

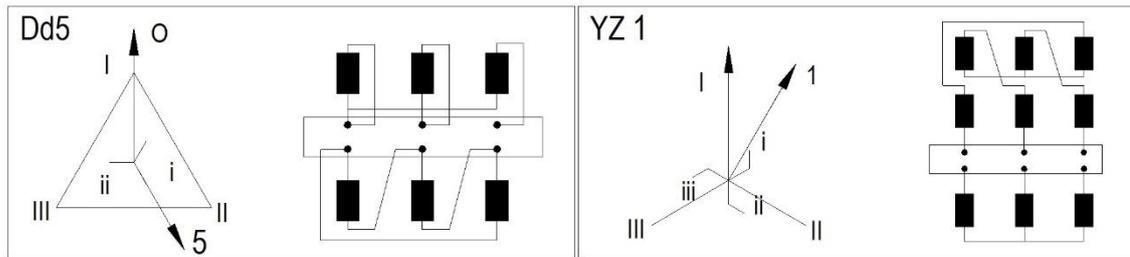
Conhecida também como tensão nominal de curto-circuito, a impedância percentual representa numericamente a impedância do transformador em percentagem da tensão de ensaio de curto-circuito, em relação à tensão nominal. A exemplificar, transformadores de 69/13,8 kV com potência nominal de 5/6,25 e 10/12,5 MVA possuem impedância percentual, dependendo das características do sistema são de 7 e 10 %.

Deslocamento angular é, segundo (ABNT, 2017), definido como a diferença entre os fatores que representam as tensões entre o ponto neutro (real ou ideal) e os terminais correspondentes de dois enrolamentos, quando um sistema de sequência positiva de tensão é aplicado aos terminais de tensão mais elevada, na ordem numérica destes terminais.

O deslocamento angular de um transformador é indicado através de simbologia composta das letras maiúscula e minúscula seguidas de um número. A letra maiúscula pode ser D e Y, que representam as conexões primárias do transformador, triângulo (delta) e estrela (ípsilon), enquanto as letras minúsculas podem ser d, y e z representando o tipo de conexão dos

enrolamentos secundários, respectivamente iguais a triângulo, estrela e zigzague. Os números podem variar de 0 a 11, cada um, multiplicado por 30, representando o ângulo correspondente ao deslocamento angular (MAMEDE, 2013). Para exemplificar, um transformador Dy5 tem conexão delta-estrela com deslocamento angular  $+150^\circ$ , já um transformador estrela-ziguezague com deslocamento angular  $+30$ , sua indicação seria Yz1. Na Figura 25 é possível ver os digramas fasoriais dos exemplos citados.

Figura 25 – Diagramas fasoriais



Fonte: adaptado de (MAMEDE, 2013)

Visando o aumento de carga, algumas plantas optam por usar transformadores em paralelo, mas para que isso ocorra, é necessário que os transformadores tenham:

- A mesma relação de transformação nominal.
- A mesma polaridade ou deslocamento angular.

Quando dois ou mais transformadores estão em serviço em paralelo, não tendo o mesmo deslocamento angular ou a mesma sequência de fase, resultam em consequências, como por exemplo diferença de potencial entre os secundários dos transformadores, propiciando uma circulação de corrente nos enrolamentos.

Finalmente, para se especificar uma compra de transformador de potência, são necessários, no mínimo, os seguintes dados (MAMEDE, 2013):

- Tensão primária.
- Tensão secundária fase-fase e fase-neutro.
- Derivações desejadas (tapes).
- Potência nominal.
- Deslocamento angular.
- Número de fases (monobucha, monofásico, bifásico ou trifásico).
- Tensão suportável de impulso.
- Impedância percentual.
- Acessórios desejados.

### 2.3.7 Painéis Elétricos

Denominado, pela NBR IEC 60050-441 (IEC, 1984), de conjunto de manobra e controle, os painéis elétricos compreendem um conjunto de dispositivos de manobra associados a equipamentos de proteção, comando, medição e controle complementados por acessórios instalados internamente a um cubículo normalmente metálico dotado de estruturas de suporte.

Geralmente, são construídos em chapas metálicas, com perfis de dobra (furadas ou não) e possui fechamento em chapas e porta com sistema de fecho, os painéis devem ser confeccionados somente com materiais resistentes a esforços mecânicos, elétricos e térmicos, bem como a umidade. A proteção contra a corrosão deve ser assegurada por produtos apropriados, ou aplicação de camadas protetoras equivalentes (MAMEDE, 2013).

Figura 26 – Painéis Elétricos



Fonte: (ELÉTRICA, 2019)

Os painéis elétricos podem ser classificados de diferentes formas, mas de forma geral podem ser tidos quanto ao nível de tensão, à função, e quanto à forma construtiva.

O nível de tensão de um painel elétrico está relacionado à classe de tensão dos equipamentos no interior dos quais estão instalados: Painéis de baixa tensão, os equipamentos em seu interior, com nível de tensão igual ou inferior a 1.000 V, são painéis de baixa tensão; nos painéis de média tensão o equipamento tem nível de tensão superior a 1.000 V e, em geral, limitados a 50 kV (MAMEDE, 2013).

Quanto à função podem ser projetados para desempenhar diferentes funções dentro de uma instalação. Os painéis de comando são instalados equipamentos de comando e manobra de circuitos de baixa ou média tensão, tais como disjuntores, contactores, chaves seccionadoras,

chaves inversoras, etc. Os painéis de controle possuem equipamentos e circuitos destinados a realizar o controle de dispositivos a partir de sinais enviados por relés ou por outros dispositivos. E por fim nos painéis de medição são instalados equipamentos e dispositivos destinados à medição de parâmetros elétricos, tais como consumo, demanda, corrente, etc.

A forma construtiva dos painéis pode variar com a aplicação também. O painel dito tipo armário é constituído de uma única coluna ou módulo fechado podendo ser dotado de várias seções ou compartimentos, sendo do tipo autoportante e fixado no piso. O mais comum, painel de múltiplas colunas, também denominado de multicolumna, é composto de vários módulos fixados lateralmente, formando um único conjunto. Um exemplar deste tipo de painel é mostrado na Figura 27.

Figura 27 – Painel com múltiplas colunas de média tensão



Fonte: (DUAILIBE, 1999)

O painel tipo fixo/extraível é formado por componentes ou equipamentos que podem ser extraídos sem auxílio de ferramentas, estando o painel energizado ou não, desde que o circuito do componente a ser extraído não esteja conduzindo durante a operação de extração. Os componentes podem ser compostos por gavetas extraíveis e os equipamentos podem ser chaves ou disjuntores, como na Figura 28 mostra uma coluna de um painel elétrico que possui um disjuntor extraível.

Figura 28 – Painel com disjuntor extraível



Fonte: (BOZZI, 2011)

Todos os painéis elétricos devem ser definidos por um conjunto de características técnicas que determinam o seu uso e os diferentes limites de operação.

Tensão nominal é aquela que é submetido o painel em condições normais de operação e que, associada à corrente nominal do circuito principal (barramento); a corrente nominal de regime contínuo, definida pelo fabricante, é aquela que deve ser conduzida pelo painel e pelos seus diversos componentes sem que haja elevação de temperatura superior ao valor definido por norma para cada componente.

A corrente de curto-circuito no seu valor de pico que o circuito principal possa conduzir sem que qualquer componente do painel possa ser danificado mecanicamente, é definida como corrente dinâmica nominal de curto-circuito. Já a corrente térmica nominal de curto-circuito é aquela que no seu valor eficaz, o circuito principal possa conduzir durante 1 s, sem que qualquer componente do painel possa ser danificado termicamente. E a corrente nominal condicional de curto-circuito é o maior valor da corrente de curto-circuito trifásica ou fase e terra a que pode ficar submetido o circuito principal do painel, e que deve estar protegido por um dispositivo de proteção contra curto-circuito, especificado pelo fabricante (MAMEDE, 2013).

O grau de proteção determina a proteção de invólucros metálicos quanto à entrada de corpos estranhos e penetração de água pelos orifícios destinados à ventilação ou instalação de instrumentos, pelas junções de chapas, portas, etc. Os fabricantes de invólucros metálicos

padronizam seus modelos para alguns tipos de grau de proteção, sendo os mais comuns os de grau de proteção IP54, destinados a ambientes externos, e os de grau de proteção IP53, utilizados em ambientes abrigados (MAMEDE, 2013). Na Figura 29 é exemplificado um painel com IP54.

Figura 29 – Painel com IP54



Fonte: (BOZZI, 2011)

Os painéis elétricos, para que atendam aos requisitos da norma NR10 - Norma Regulamentadora N° 10 do Ministério do Trabalho e da Previdência Social (TRABALHO, 2004), que estabelece os limites de segurança em instalações e serviços de eletricidade, devem possuir as seguintes proteções:

- Proteção contra choques elétricos;
- Proteção contra efeitos térmicos; e
- Proteção contra energização indevida;

Por fim, para especificação sumária com os itens mínimos para garantir a correta aplicação de um painel elétrico de média tensão, fez-se um resumo exemplo nos tópicos que seguem (MAMEDE, 2013).

- Tipo do painel.....Metal Enclosed
- Tipo de instalação.....Abrigada
- Função.....Proteção e manobra
- Tensão nominal (eficaz) .....15 kV
- Tensão máxima de operação contínua.....17,5 kV
- Corrente nominal mínima dos barramentos (eficaz) .....2.000 A

- Corrente simétrica de interrupção (eficaz) .....40 kA
- Fator de assimetria.....1,20
- Corrente mínima de curta duração (1 s) (eficaz) .....40 kA
- Corrente nominal mínima suportável de crista.....75 kA
- Corrente de resistência ao arco interno.....40 kA/1 s
- Frequência.....60 Hz
- Tensão do circuito de aquecimento e iluminação.....220 Vca
- Tensão suportável à frequência industrial (1 minuto).....38 kV
- Tensão suportável de impulso atmosférico.....110 kV
- Grau de proteção.....IP51
- Manutenção do painel.....Frontal e posterior
- Entrada e saída dos cabos.....Inferior
- Estrutura do painel.....Aço carbono
- Espessura da estrutura e portas.....2,65 mm
- Espessura da placa de montagem.....1,90 mm
- Tratamento das chapas.....Fosfatizada
- Acabamento externo.....Cinza RAL 7032 - tinta pó
- Acabamento interno.....Cinza RAL 7032 - tinta pó
- Partes internas.....Chapas galvanizadas
- Altura + base.....2.000 + 100 mm
- Largura.....800 mm
- Profundidade.....1.000 mm

## 2.6 Considerações finais

Este capítulo apresentou conceitos do sistema elétrico de potência e de subestações, além disso, apresentou definições, conceitos e exemplos acerca dos principais equipamentos que compõem as subestações industriais. Os temas e definições abordados são importantes para a compreensão do funcionamento e composição do equipamento descritos nos capítulos posteriores.

### **3. TECNOLOGIA HÍBRIDA PARA SUBESTAÇÃO COMPACTA**

#### **3.1. Introdução**

Este capítulo aborda a apresentação da tecnologia híbrida, englobando uma breve contextualização histórica com concepções importantes, assim como um descritivo do funcionamento de um equipamento que incorpora essa inovação. Tem como objetivo introduzir conceitos e definições da tecnologia híbrida, que são de suma relevância no entendimento das aplicações e propostas dos capítulos seguintes.

#### **3.2. Contextualização e definições**

Implantar novas tecnologias em subestações apresenta-se como um grande desafio, não só pela prospecção do que existe de novo no mercado, bem como o desenvolvimento de um padrão de projeto para introdução destas novas tecnologias. Mesmo com grandes desafios, nos últimos anos, a constante busca por novas tecnologias desencadeou em um movimento significativo para introduzir inovações em equipamentos para subestações, impulsionado por fabricantes e fornecedores em resposta aos recentes desenvolvimentos técnicos e pressões comerciais (F.N, 2014).

De acordo com o submódulo 2.3 (item 6.1.2.1) dos Procedimentos de Rede elaborados pelo NOS (ONS, 2009), arranjos alternativos podem ser utilizados, inclusive os de tecnologia com isolamento em SF<sub>6</sub>. Tomando isso como amparo legal, novos produtos e soluções foram introduzidos no mercado oferecendo muitos benefícios tais como a redução do custo de manutenção, facilidade de operação, simplificação do projeto da subestação e diminuição do tempo de implantação.

Uma grande oportunidade de incorporação de nova tecnologia e alteração da padronização na área de subestações, especificamente da Chesf (Companhia Hidrelétrica do São Francisco), ocorreu ano 2011, quando a companhia arrematou um lote de leilão da ANEEL, o qual contemplava três grandes subestações. Após análises técnicas junto a fornecedores, a Chesf verificou a oportunidade de aplicar, para estes empreendimentos, uma solução de melhor confiabilidade e disponibilidade (F.N, 2014)

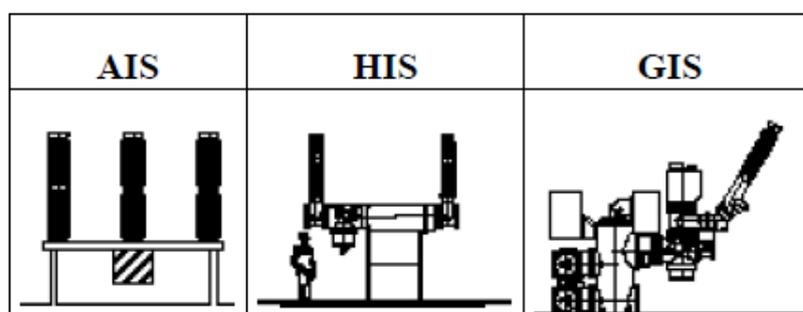
Trata-se da aplicação da tecnologia híbrida, a qual consiste no uso de módulos híbridos isolados em SF<sub>6</sub> (Hexafluoreto de Enxofre). A aplicação de tal tecnologia em equipamentos de manobra permite economia de espaço, com conseqüente diminuição de obras

civis e menor utilização de estruturas, sejam metálicas ou de concreto, mantendo a mesma funcionalidade de subestações convencionais, porém com menor tempo de implantação e com custo de manutenção reduzido (F.N, 2014).

De forma geral, as tecnologias mais recentes para dispositivos de manobra em subestações de alta tensão podem ser classificadas quanto ao isolamento, sendo elas exemplificadas nas Figura 30, categorizadas da seguinte forma:

- Isolação externa: Tem como principal meio isolante o ar, seus invólucros normalmente de porcelana e a tecnologia de projeto é denominada AIS;
- Isolação a gás: meio isolante a SF<sub>6</sub>, envoltório de metal aterrado de forma eficaz, e tecnologia de projeto denominada de GIS; e
- Isolação mista: meio isolante a SF<sub>6</sub> e ar, invólucro de metal ou porcelana, e tecnologia de projeto denominada de HIS;

Figura 30 – Isolamento dos equipamentos de manobra



Fonte: (SÁ, 2008)

Os módulos híbridos do tipo HIS possuem cada dispositivo de manobra encapsulado metalicamente e encontram-se no mesmo potencial da terra. Este encapsulamento metálico possibilita total segurança, pois é completamente isolado e preenchido com gás SF<sub>6</sub>. Esta vantagem traz, na visão dos fornecedores, confirmada em países com grande experiência, uma maior confiabilidade quando comparada a solução do tipo AIS (SÁ, 2008). Além disso, implantação de subestação com essa tecnologia ocupa uma área menor que uma subestação convencional, tornando-se uma solução atraente para aplicação em locais de grande concentração urbana e onde as questões estéticas e de aquisição de terreno são pontos preponderantes.

As subestações com tecnologia de projeto GIS são constituídas por módulos de equipamentos padrão como disjuntores, transformadores de corrente, transformadores de potencial, seccionadoras, para-raios e demais conexões com o resto do sistema elétrico, garantindo uma grande compactação. A redução de área obtida por equipamentos HIS não é

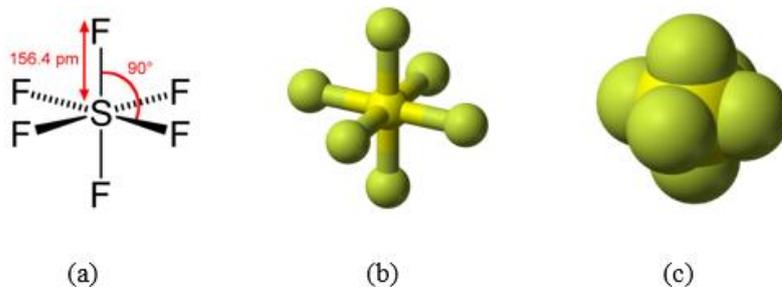
maior do que oferecida por uma subestação GIS, entretanto seu custo é menor. Outra diferença relevante entre essas tecnologias é a conexão externa com equipamentos isolados a ar, que não é possível na GIS e perfeitamente viável com HIS (JESUS; YOKOGAWA; OLIVEIRA, 2017).

Como já foi citado inúmeras vezes, o gás SF<sub>6</sub> é utilizado para isolamento elétrica interna de equipamentos, como disjuntores, painéis, assim como os dispositivos que utilizam a tecnologia híbrida. Portanto, para o completo entendimento deste trabalho, é de suma importância ter em mente todas as propriedades e características que fazem o Hexafluoreto de Enxofre tão útil no processo de isolamento de equipamentos.

### 3.3. Hexafluoreto de Enxofre

A molécula de hexafluoreto de enxofre, como mostra a Figura 31, é formado por um átomo de enxofre rodeado por 6 átomos de flúor, resultado de uma reação química entre enxofre fundido e fluoreto, obtido da eletrólise de ácido fluorídrico. É um composto químico inorgânico gasoso de aparência transparente, inodoro, não inflamável e quimicamente estável, comportando-se assim, como um gás nobre. Não é um gás venenoso e pode ser inalado. Mesmo não sendo um gás tóxico, por ser mais denso que o ar, em ambientes fechados o oxigênio é expulso na presença desse composto, causando asfixia (ELETROMAX, 2014).

Figura 31 – Hexafluoreto de Enxofre (a) dimensões (b) visão 2D (c) visão 3D



Fonte: (ELETROMAX, 2014)

Uma das principais razões do SF<sub>6</sub> ser um meio supressor de arco com uma eficiência estimada em 10 vezes a do ar, é a natureza altamente eletronegativa de sua molécula, que capta os elétrons livres e retarda o fenômeno de avalanche, dando início a interrupção da descarga. Além disso a rigidez dielétrica desse composto é de ordem de 2,3 a 2,5 vezes mais elevada do que os valores correspondentes para ar ou nitrogênio, sendo possível assim, compactar espaços antes necessários para o afastamento mínimo de barramentos e contatos elétricos diversos, em até 3 vezes (ACADEMY, [s.d.]). Ademais, devida a sua facilidade à

manipulação e características não tóxicas, torna-se adequado ao uso industrial.

As primeiras pesquisas sobre aplicações industriais de SF<sub>6</sub> foram feitas no final da década de 30, pela General Electric Company, que sugeriu sua utilização em equipamentos por causa da sua grande rigidez dielétrica. No início dos anos 40 foi patenteado por Thomson-Houston o uso do SF<sub>6</sub> para cabos e capacitores. Logo após a II Guerra Mundial, em 1947, apareceram trabalhos sobre a isolação de transformadores e em 1948 foi desenvolvido um processo industrial nos Estados Unidos para a produção comercial do gás SF<sub>6</sub>. Em torno de 1960, iniciou-se a comercialização em larga escala do hexafluoreto de enxofre na indústria elétrica nos Estados Unidos e na Europa, ao mesmo tempo em que eram lançados os primeiros disjuntores e chaves utilizando este gás (SIHVENGER, 2008).

Uma análise de impacto ambiental do SF<sub>6</sub> utilizado no setor elétrico, feita com base na norma ISO 14000, apontou que o uso desse gás, quando comparado a outros isolantes tradicionais, reduz o impacto ambiental global, sendo assim um ponto positivo para justificar seu uso no setor elétrico, porém, durante a conferência em Kyoto de 1997 (“Protocolo de Kyoto - Protocolo de Kyoto”, 1997), o gás SF<sub>6</sub> foi listado como um de seis gases de efeito estufa cuja as emissões deveriam ser diminuídas. Embora o composto tenha uma participação muito pequena quando comparado ao total de gases estufas devido a atividade humana, o gás possui uma vida muito longa na atmosfera (meia vida estimada em 3200 anos), logo, o efeito do SF<sub>6</sub> na atmosfera é cumulativo e permanente (JESUS; YOKOGAWA; OLIVEIRA, 2017).

Devido esses motivos, grandes grupos do setor elétrico procuram alternativas para substituição do gás SF<sub>6</sub>, a exemplo a ABB, que em 2015 desenvolveu uma tecnologia inovadora em painel de distribuição elétrica na Suíça, em parceria com a 3M, usando um gás ecoeficiente denominada fluoretina com base em mistura alternativa do gás SF<sub>6</sub>, desenvolvido exclusivamente para aplicações do painel de distribuição. O Potencial de Aquecimento Global (GWP) da nova mistura de gás é quase 100% inferior ao SF<sub>6</sub>, sem comprometer a qualidade e confiabilidade do equipamento (ABB, 2015). No entanto essa aplicação específica ainda não foi suficiente para popularizar essa mistura alternativa do gás SF<sub>6</sub>.

Portanto, mesmo sendo classificado como um dos gases do aquecimento global, o hexafluoreto de enxofre está sendo de enorme eficiência para o isolamento de sistemas elétricos e de equipamentos de energia de alta tensão. O gás tem ajudado a atender à crescente demanda por fontes de energia elétrica com maior eficiência e confiabilidade, trazendo benefícios quanto à facilidade, operacionalidade, economia de espaço, custos, garantia de qualidade e menos manutenções que outros equipamentos hoje em dia utilizados.

### 3.4. Equipamento Híbrido

Os equipamentos que utilizam tecnologia híbrida são compostos de três invólucros de gás separados. Cada invólucro abriga todos os dispositivos de manobra para cada fase: disjuntores, seccionadores e chave de aterramento, assim como transformadores de potencial e de corrente, sendo o último instalado nas buchas de cada invólucro (VASSILIEFF, 2010).

A solução com equipamentos híbridos tem solucionado as principais questões enfrentadas pela área de engenharia, tais como: quantidade de circuitos em menor espaço; redução de tempo de instalação; alta padronização e modularidade; redução de obras de construção civil; transporte facilitado, dimensões predefinidas; e facilidade de comissionamento.

A combinação de todas as funções de desligar, desconectar e fazer medição em um único módulo é a principal vantagem que os equipamentos híbridos possuem em relação aos convencionais, pois está diretamente ligada a redução do metro quadrado de instalação, minimizando custos com obras civis. Sendo um equipamento de *design* compacto, facilita o transporte e a instalação, reduzindo os custos externos ao próprio equipamento.

O projeto do encapsulamento em SF<sub>6</sub>, além de simplificar a manutenção, também aumenta a confiabilidade operacional e de segurança, sendo especialmente adequado para ambientes empoeirados ou corrosivos e climas extremos.

Intervalos maiores de manutenção, em comparação com outros equipamentos de manobra, é possível pois o desgaste de suas partes metálicas é menor devido seus pontos de contato energizados estarem imersos em gás SF<sub>6</sub>, diminuindo assim danos no material causado por curtos-circuitos. Além disso, sua é extremamente confiável pois é impossível de se fazer uma manobra de aterramento com o equipamento energizado, diferentemente dos equipamentos convencionais que é necessário fazer bloqueio através de relés de proteção.

Outra grande vantagem na utilização desse tipo de solução em relação às alternativas convencionais, além do ganho de espaço físico, está na flexibilidade de conexão dos módulos compactos da maneira que for mais conveniente dentro de alguns padrões, conseguindo soluções específicas de arranjos em função das condições de espaço ou disposição dos circuitos de alimentação e demais equipamentos da subestação (KAJIKAWA, 2008).

Tomando como referência um trabalho sobre estado da arte das subestações, existem três principais fabricantes de equipamentos híbridos no Brasil: ABB, SIEMENS e GE Grid Solutions (SÁ, 2008). Apresentando soluções que dispõem de dispositivos de tecnologia híbrida para um nível de tensão de 72,5 kV até 500 kV, capazes de serem empregados em

praticamente todas as empresas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, além do próprio âmbito industrial.

Com o fabricante ABB, nesta tecnologia híbrida, destacam-se os módulos PASS (Plug and Switch System) M00 – 72,5 kV; PASS M0 – 145 kV e PASS M0 – 245 kV. A Figura 32 mostra o PASS M00 72,5 kV, solução do tipo híbrida, compacta e multifuncional para instalações externas. Todas as partes vivas, excluindo os barramentos, são encapsuladas em um tanque de alumínio completamente isolado e aterrado, preenchido com gás SF<sub>6</sub> pressurizado. Observa-se ainda que possui até seis diferentes equipamentos de AT: disjuntor, chave seccionadora, chave de aterramento, transformador de corrente, transformador de potencial, buchas.

Figura 32 – Módulo PASS M00 72,5 kV



Fonte: (“A ABB lança inovador módulo de alta tensão para subestações de transmissão de energia”, 2013)

A SIEMENS apresenta soluções como o Dead Tank Compact (DTC) disponível para tensões nominais para 145 e 245 kV. O conceito híbrido no qual o Dead Tank Compact (DTC) é baseado combina componentes encapsulados em SF<sub>6</sub> e dispositivos isolados a ar. Devido ao design compacto e ao uso flexível de módulos pré-definidos, diferentes layouts podem ser realizados com menor esforço de engenharia. Esse equipamento pode contemplar disjuntor, chave seccionadora e chave de aterramento, transformador de corrente, conexões de cabos possíveis em várias posições, buchas disponíveis com isoladores e monitor de densidade SF<sub>6</sub>. Além da possibilidade de componentes independentes como por exemplo transformador de potencial e chave de aterramento de alta velocidade. A Figura 33 mostra o equipamento DTC, compacto e multifuncional para instalações externas. (SIEMENS, 2012)

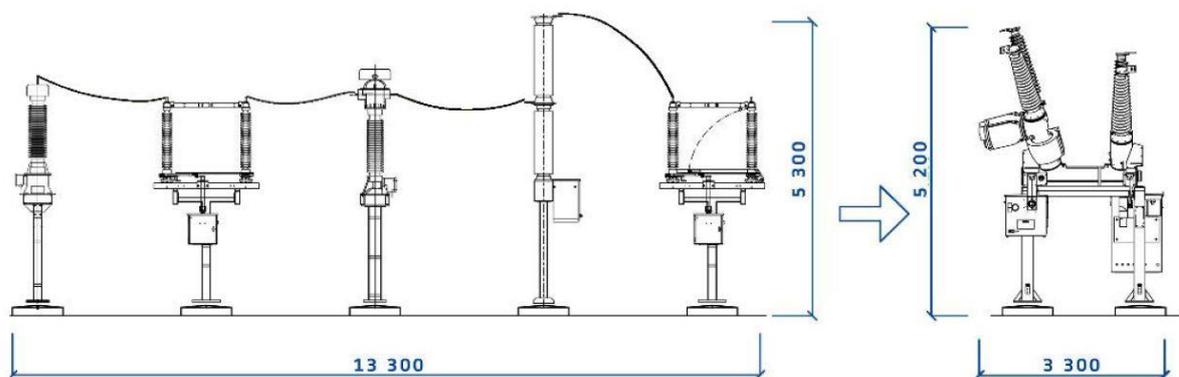
Figura 33 – Módulo compacto DTC



Fonte: (SIEMENS, 2012)

E por último a GE Grid Solutions apresenta o intitulado HYPact, disponível para classe de tensão de 72,5 e 145 kV, definido pelo fabricante como um conjunto de equipamento elétrico híbrido compacto normalmente composto de disjuntores, seccionadores e chaves de aterramento localizados em um tanque de gás comum, além de transformadores de corrente e tensão que podem ser adicionados. Seu design modular permite uma grande variedade de diferentes configurações de layout e permite um design de subestação mais econômico. A Figura 34 evidencia com o módulo multifuncional e compacto HYPact tem impacto de redução no espaço utilizado para instalação de equipamentos de alta tensão, otimizando em até 10 metros o espaço de instalação (GE, 2017).

Figura 34 – Módulo HYPact



Fonte: (GE, 2017)

### 3.5. Família PASS

#### 3.5.1 Generalidades

O módulo PASS (Plug and Switch System) equivale a uma bay de alta tensão. No módulo, todas as partes vivas, excluindo barramentos e TCs, são encapsuladas em tanque de alumínio fundido aterrado preenchido com gás SF<sub>6</sub> pressurizado. Cada polo tem seu próprio recinto para aumentar a disponibilidade e a segurança (ABB, 2011).

O PASS apresenta a logo: “Desempenho e economia de espaço”, do inglês “*Performance and Save Space*”, enfatizando que qualquer layout de subestação pode ser atendido enquanto faz-se uso eficiente do espaço disponível. A principal característica do PASS é seu design compacto e modular, que engloba várias funções em um módulo, como por exemplo:

- Buchas para conexão a um ou dois setores de acoplamento;
- Um ou dois disjuntores;
- Chaves seccionadoras com aterramento;
- Um ou dois transformadores de corrente;

A chamada família PASS, é composta por três tipos de módulos híbridos: PASS M0, PASS M00 e PASS M0S.

O primeiro, PASS M0, é considerado uma subestação de alta tensão completa na configuração de entrada e saída, idealizado para uso em classe de tensões entre 123 e 170kV, sendo utilizado da seguinte forma:

- As buchas primárias são conectadas ao transformador de potência;
- As buchas secundárias são conectadas à linha de saída; e
- As buchas terciárias estão conectadas à linha de entrada, ou a um outro transformador de potência.

Portanto, não é necessário uso de barramento tradicional, pois a função do barramento é feita dentro do módulo híbrido por meio das primeiras e segundas buchas. O equipamento é disponível em diferentes configurações, no intuito de se adequar ao máximo à solução desejada. As configurações podem ser (ABB, [s.d.]):

- Barra de Barramento Único (SBB);
- Barramento duplo (DBB);
- Subestação Entrada e Saída (IOS); e
- Disjuntor duplo (DCB)

O PASS M00 nada mais é que o módulo anterior, projetado especificamente com o objetivo de servir sistemas com classes de tensões inferiores ao citado anteriormente, ou seja, 72.5 e 100 kV, atendendo assim aos requisitos específicos desse mercado industrial em rápida expansão.

Já o PASS M0S foi idealizado para atender à demanda do mercado de subestações de transmissão e distribuição a 252 kV. A característica inovadora desse módulo é a existência de três posições desconectada, que permite seccionar e aterrar através de um contato móvel. O PASS M0S foi formulado como componente modular com funções padrão básicas, que podem ser aumentadas de acordo com outros requisitos da subestação.

Além de suas características modulares e compactas, o módulo híbrido PASS é considerado gentil com o meio ambiente. Quando comparado com uma solução convencional com isolamento a ar que implementa as mesmas funções, o PASS atende aos seguintes objetivos, segundo o fabricante (ABB, 2011):

- Redução em 80% de SF<sub>6</sub>;
- 38% de redução no custo de manutenção;
- Espaço de implantação reduzido em até 70%;
- Custo total do ciclo de vida 60% menor;

Na Figura 35 é exemplificado cada um dos integrantes da família PASS.

Figura 35 – Família PASS



Fonte: (ABB, 2011)

Outra característica de suma relevância da família PASS, é que seus módulos são equipados com acoplamento convencional para o processo de monitoramento e supervisão de subestação externa, por exemplo contatos auxiliares para o disjuntor, posição das chaves seccionadoras e chave de aterramento, além de contatos para sinalização (por exemplo, vazamento de SF<sub>6</sub>). Essa interface convencional permite que o PASS seja conectado a qualquer

sistema de controle e proteção, possibilitando não só aplicações simples como a adaptação de subestações já existentes (ABB, 2011).

### **3.5.2 Cubículos de controle local**

O cubículo de controle local é uma caixa metálica que contém todas os contatos elétricos auxiliares necessários para a entrada de comando local assim como contatos com finalidade de sinalização do equipamento.

Dependendo da exigência do projeto, a caixa metálica pode ser feita por aço galvanizado ou aço inoxidável. O cubículo de controle local é geralmente fixo direto na estrutura de suporte do equipamento, mas diferentes soluções podem ser fornecidas dependendo dos requisitos específicos do projeto.

O cubículo possui porta com fechadura que pode ser trancada com chave; painel de comando, onde estão localizados todos os equipamentos de controle e sinalização; e área de fiação e bloco de terminais com todos os circuitos, localizado por trás do painel de comando. Este painel de comando é composto basicamente por (ABB, 2011):

- Chave seletora de três posições: Local, Remoto e Manutenção;
- Chaves de controle: botoeiras para o controle de cada equipamento interno ao módulo;
- Disjuntores auxiliares: dispositivos termomagnéticos que protegem os circuitos auxiliares do painel;
- Contador de operações: um dispositivo eletromecânico que mostra o número de operações do disjuntor principal do módulo;
- Dispositivos de sinalização: lâmpadas, diodos de led ou indicadores eletromecânicos responsáveis por mostrar o status de cada interruptor primário do equipamento no cubículo de controle local; e
- Placa representativa: placa mostrando a referência para cada equipamento primário fixada na porta do cubículo.

Figura 36 – Cubículo de controle local



Fonte: (ABB, 2011)

Todos os dispositivos auxiliares e fiação de baixa tensão são utilizados para a lógica de operação e intertravamento projetada para o equipamento de alta tensão. A exemplo, as funções padrão são (ABB, 2011):

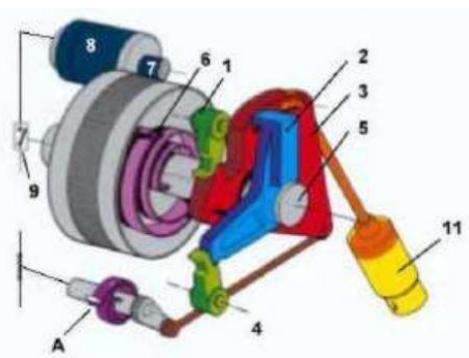
- Disjuntor: circuito de fechamento, dois circuitos de abertura, circuito de trip, função anti-bombeamento, intertravamento com SF<sub>6</sub> e equipamento.
- Chaves seccionadoras e chave de aterramento: circuito de abertura e fechamento, intertravamento com outros componentes.
- SF<sub>6</sub>: primeiro estágio de alarme, segundo estágio de alarme com a possibilidade de trip do disjuntor ou selecionar a trava do disjuntor, impossibilitando a operação de fechamento.

Assim, é fácil ver que o cubículo de controle local de um módulo compacto é similar a qualquer painel de controle local de equipamentos convencionais, como transformadores e disjuntores. Evidenciando a característica frisada anteriormente, interface convencional de controle e supervisão, facilitando a aplicação deste equipamento.

### 3.5.3. Princípio de Operação do disjuntor

O disjuntor é operado por uma mola de abertura, representada com a letra A na Figura 37, está localizada na estrutura de base do disjuntor. Por sua vez, a mola de fechamento (6), está localizada no mecanismo de operação da mola com motor. A mola de fechamento é enrolada em espiral e é carregada por meio de um motor universal (8), sobre um acionador helicoidal (7). Depois de liberar a válvula de fechamento (4), a energia de fechamento durante o processo é transmitida através do acionador (2) para o contato do disjuntor e a mola de abertura. O disjuntor é mantido na posição fechada por uma trava de abertura (1). Na posição normal do disjuntor os contatos estão fechados e as molas de abertura estão carregadas. Sendo assim disjuntor está pronto para interromper o comando de abertura e também pronto para concluir um reajuste automático completo seguindo o ciclo O – 0,3s – CO (ABB, 2011).

Figura 37 – Operação normal do disjuntor

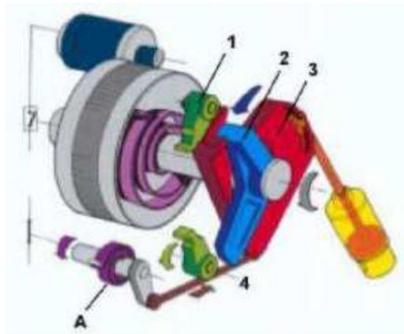


Fonte:(ABB, 2011)

Após sinal elétrico enviado via relé ou sistema de supervisão e controle, uma resposta imediata para fechar o disjuntor é efetivada. A alavanca de acionamento número (2 na Figura 38), traz a alavanca de fechamento (3), para a posição fechada. Ao mesmo tempo, a mola aberta, letra A, é carregada. No final do curso, a alavanca de fechamento conectado ao disjuntor é bloqueada pela trava de abertura (1), na posição fechada. Devido à alavanca de fechamento (3), a alavanca de acionamento (2) é liberada. Para realizar uma operação de fechamento usando o botão ou impulso elétrico remoto, as seguintes condições devem ser satisfeitas (ABB, 2011):

- Chave seletora na posição remota ou local;
- Mola de operação de fechamento totalmente carregada;
- O disjuntor na posição aberto; e
- A densidade do gás é maior que o nível de bloqueio.

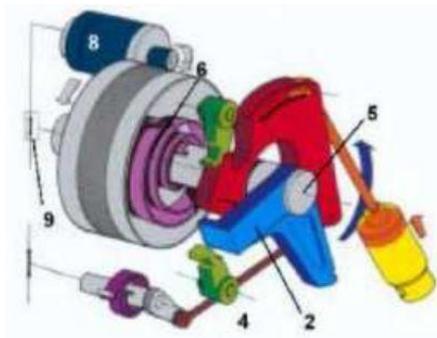
Figura 38 – Operação de fechamento do disjuntor



Fonte: (ABB, 2011)

O disjuntor foi fechado. O circuito do motor é fechado pelo interruptor de limite (número 9 na Figura 39). O motor 8 inicia o carregamento da mola de fechamento 6. Eixo principal (5) e o acionador (2) são engatados pela válvula de fechamento (4). Quando a mola de fechamento está totalmente carregada, o interruptor de limite interrompe o circuito do motor.

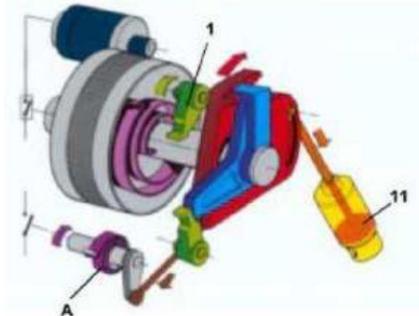
Figura 39 – Operação de mola carregada



Fonte: (ABB, 2011)

Para abrir o disjuntor, a trava de abertura (1) é liberada pela bobina de disparo e a mola de abertura (A) do disjuntor realiza a operação. O movimento do sistema de contato é retardado por um dispositivo de amortecimento (número 11 na Figura 40).

Figura 40 – Operação de abertura do disjuntor



Fonte: (ABB, 2011)

Com um disjuntor operado por mola, a operação de abertura é extremamente confiável, dependendo apenas do funcionamento da trava de abertura e da mola de abertura. A abertura pode ser realizada localmente com o disjuntor na posição fechado, com a chave seletora na posição local e ativando qualquer uma das bobinas de abertura usando o botão de pressão relativo a abertura (ABB, 2011).

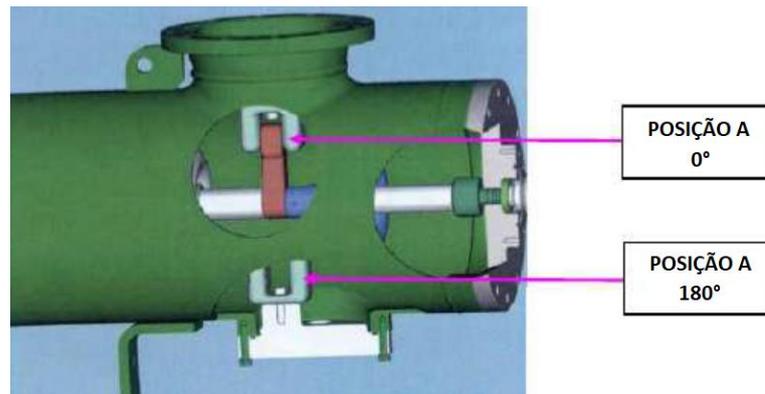
#### ***3.5.4. Princípio de Operação das chaves seccionadoras e aterramento***

O PASS é equipado com um seccionador / seccionador de aterramento combinado movido pelo comando BES7. O princípio de funcionamento é baseado no movimento rotativo do contato que pode ser fechado no contato de barramento, aterrado ou deixado na posição neutra. A operação pode ser feita também pelo painel de controle local. O mecanismo é composto de um número mínimo de componentes mecânicos e é intrinsecamente confiável e livre de manutenção (ABB, 2011).

Este design modular pode ser aplicado no PASS M0 na configuração de barramento simples (SBB) e configuração de barramento duplo (DBB).

Na Figura 41 é ilustrado, para um PASS M0 SBB, como estão dispostos os contatos do seccionador, do aterramento e do contato para fechamento com o barramento. O contato está fechado com barramento na posição de 0°, como mostra a figura. Após rotação de 90°, o seccionador está na posição neutra, ou seja, aberto; por fim, com uma rotação de 180°, o seccionador está ligado à terra.

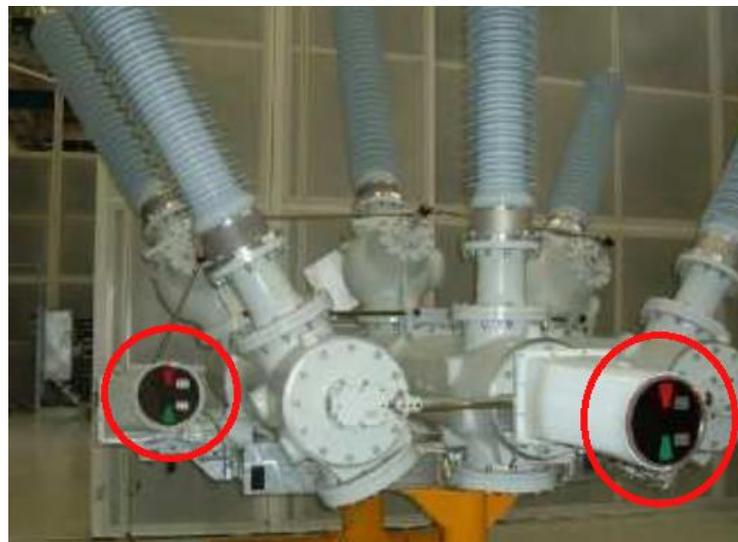
Figura 41 – Sistema de operação do PASS M0 SBB



Fonte: adaptado de (ABB, 2011)

Em ambas as configurações do módulo, a posição do seccionador / chave de aterramento pode ser vista por meio de um indicador que é mecanicamente acoplado ao eixo. Além disso, uma confirmação visual é possível por meio de uma janela de inspeção no recinto, como mostra com destaque em vermelho na Figura 42. O seccionador / chave de aterramento pode ser operado manualmente, em caso de emergência, por meio de uma manivela (ABB, 2011).

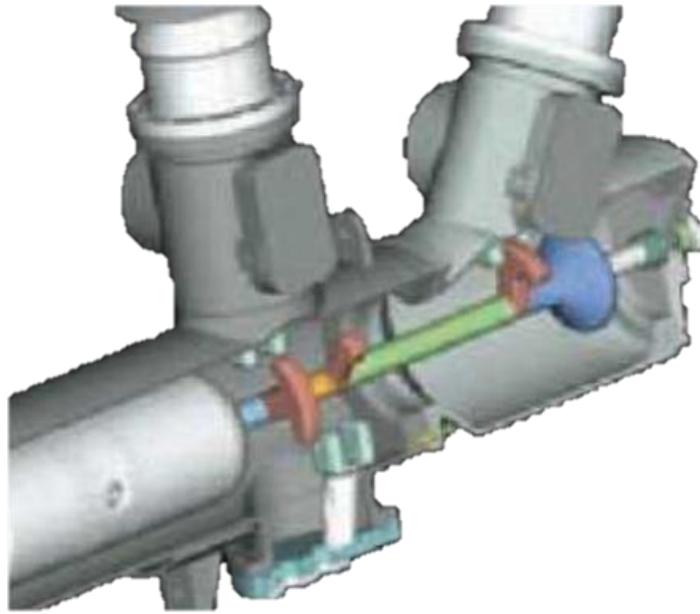
Figura 42 – Indicador da posição do seccionador



Fonte: adaptado de (ABB, 2011)

Já para a configuração DBB, é adicionado mais um contato para barramento, assim como chave seccionadora / de aterramento, que possibilite a conexão e a desconexão com a barra principal assim como no SBB. Na Figura 43, é possível ver o contato direito fechado enquanto o esquerdo está aberto.

Figura 43 – Sistema de operação do PASS M0 DBB

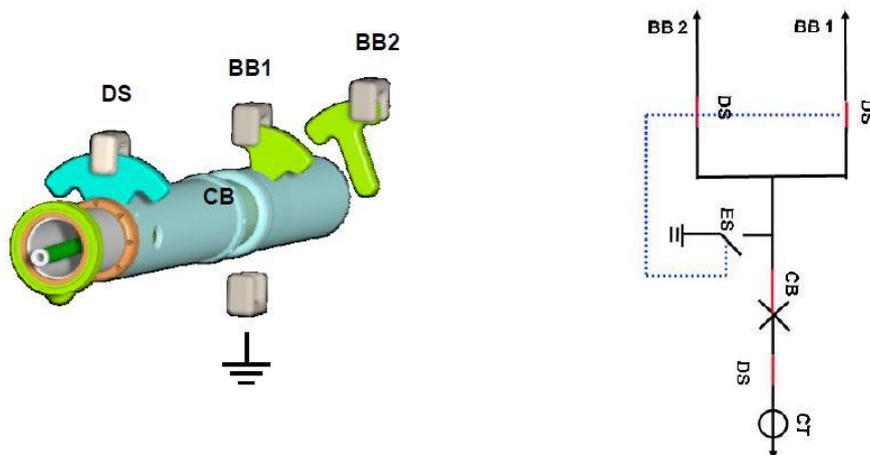


Fonte: (ABB, 2011)

Tendo em vista que a principal característica da câmara de interrupção é a rotação no próprio eixo, para o módulo híbrido compacto barra dupla fez-se uma descrição de como é realizada a operação, ilustrando de forma esquemática e com unifilar, para a melhor compreensão dessa característica rotativa (ABB, 2011).

Admitindo que a condição inicial do módulo é: disjuntor (CB), chave seccionadora do primeiro barramento (BB1), chave seccionadora do segundo barramento (BB2) e chave seccionadora da entrada de linha (DS) estão fechados, conforme Figura 44.

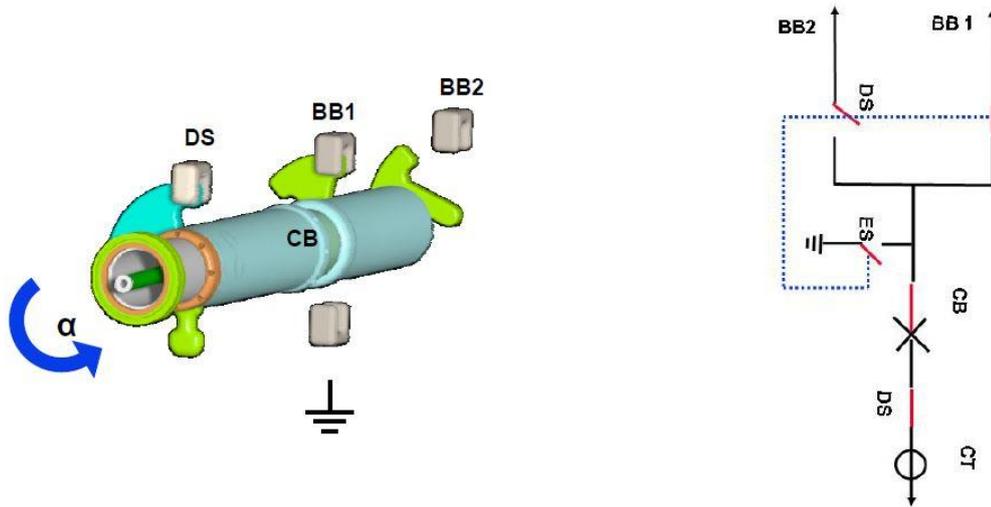
Figura 44 – Condição Inicial: CB, BB1, BB2 e DS fechados



Fonte: (ABB, 2011)

A partir da condição acima mencionada e depois do disjuntor ser aberto, é permitido a rotação. Uma rotação no sentido anti-horário ( $\alpha$ ) do disjuntor permite a abertura do seccionador BB2, desconectando sua lâmina do contato fixo, assim como na Figura 45. Permitindo assim a conexão da linha de entrada e do primeiro barramento, quando o disjuntor for fechado.

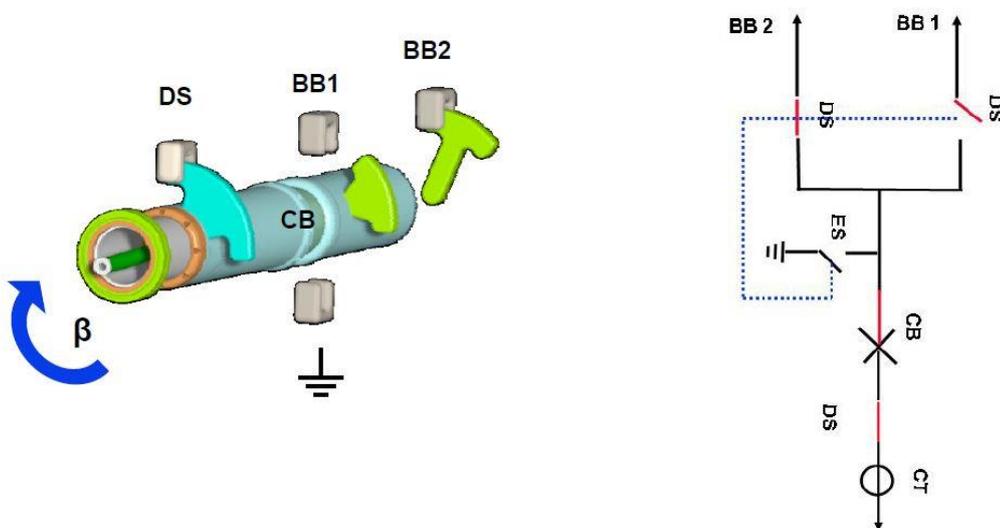
Figura 45 – BB1 e DS fechados e BB2 aberto



Fonte: (ABB, 2011)

Novamente, com o disjuntor aberto, uma rotação no sentido horário ( $\beta$ ), como mostra na Figura 46, permite o fechamento dos seccionadores DS e BB2. Assim, o fechamento do disjuntor possibilita a conexão da linha de entrada e do segundo barramento.

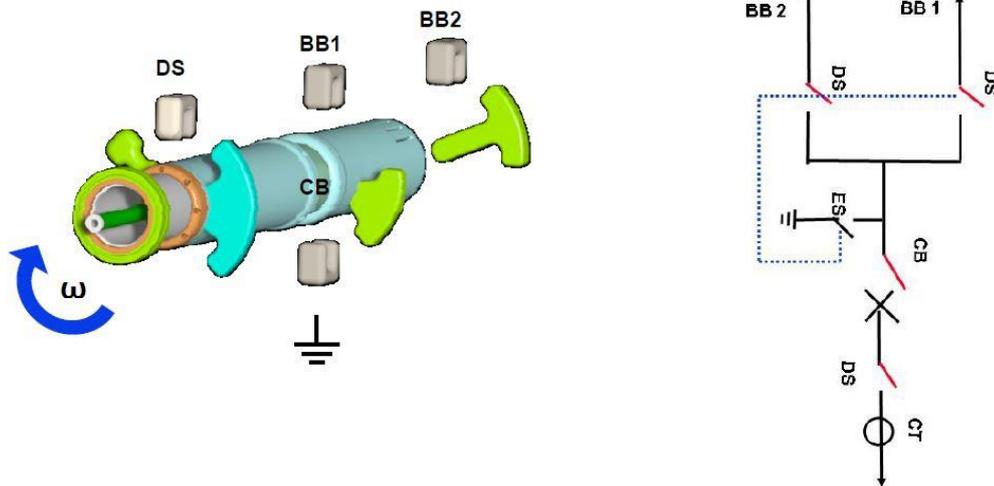
Figura 46 – BB2 e DS fechados e BB1 aberto



Fonte: (ABB, 2011)

Continuando, quando o disjuntor está aberto, é possível prosseguir com uma rotação no sentido horário ( $\omega$ ) do disjuntor que permite que todos os seccionadores (DS, BB1 e BB2) se abram, Figura 47, mantendo o equipamento em estado neutro, totalmente isolado.

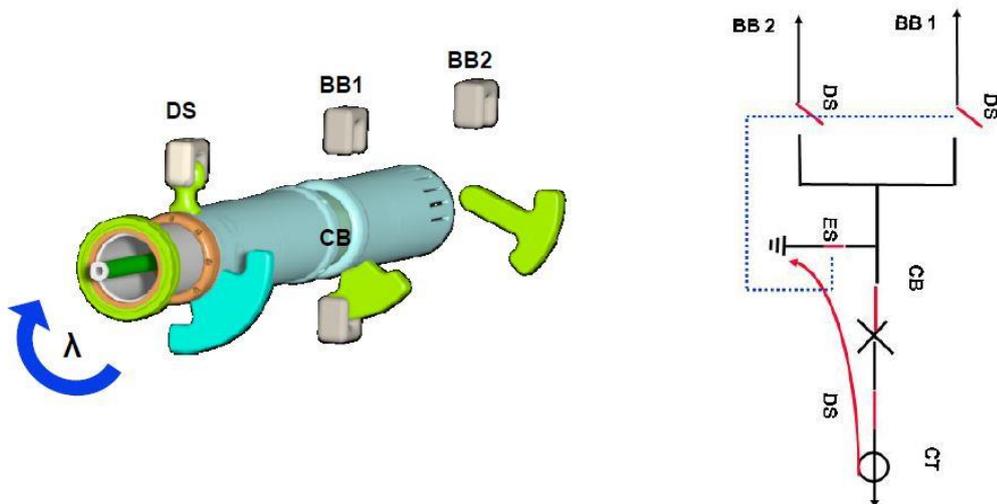
Figura 47 – BB1, BB2 e DS abertos



Fonte: (ABB, 2011)

Mantendo aberto o disjuntor, a rotação no sentido horário ( $\lambda$ ) permite o fechamento dos seccionadores DS e Terra. Neste ponto, é possível fechar o disjuntor para colocar na terra a bucha DS e então a linha, como é ilustrado na Figura 48.

Figura 48 – BB1 e BB2 abertos, DS aterrado



Fonte: (ABB, 2011)

### 3.5.5. *Manutenções*

Os componentes principais do módulo híbrido não são afetados por intempéries externas, tais como sujeira, umidade, chuva ou vento, com exceção das buchas, que devem ser especificadas para uso em ambientes poluídos ou corrosivos quando for o caso. Mas de maneira geral o módulo PASS não requer nenhuma manutenção por um longo tempo, as atividades prescritas são (ABB, 2011):

- Inspeções periódicas;
- Manutenção preventiva; e
- Revisão

Sem a necessidade de abrir o compartimento de gás, são realizadas as inspeções periódicas funcionais e visuais. Anualmente é recomendada uma inspeção a quente, ou seja, o módulo em funcionamento, das seguintes partes:

- Buchas;
- Dispositivo de densidade e indicação de SF<sub>6</sub>;
- Número de operações de disjuntores;
- Estanqueidade das juntas da porta do armário de controle local; e
- Verificação geral dos compartimentos tais como: indicadores de posição, conectores, cabos, conexões equipotenciais e circuitos de aterramento.

No final do primeiro ano, recomenda-se recolocar dez juntas de parafuso relacionadas a chumbadores e conexão de aterramento e verificar a ausência de corrosão ou deterioração dos componentes.

Com o módulo PASS fora de serviço, são realizadas as atividades de manutenção preventiva. Seguindo as orientações dos fabricantes, devem ser realizadas as manutenções caso uma das seguintes condições for atingida (ABB, 2011):

- Depois de 5000 operações mecânicas;
- Quando o número de curtos-circuitos se aproxima dos valores estabelecidos;
- Depois de 20 anos de serviço.

A manutenção preventiva é realizada com a substituição do módulo PASS por um previamente reconicionado para reduzir o tempo de interrupção. A revisão completa do módulo e a substituição da peça desgastada são feitas.

Com o módulo fora de serviço também são realizadas as revisões. No entanto, são realizadas somente quando uma das seguintes condições é satisfeita:

- 10000 operações mecânicas; e

- 40 anos de serviço.

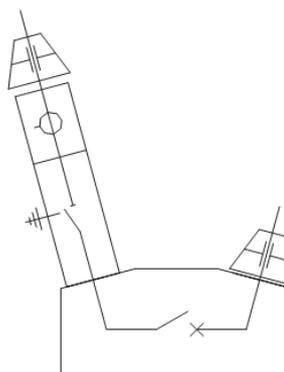
Quando há disponibilidade de equipamento, a revisão geral realizada no quadragésimo ano de serviço é feita com a substituição do módulo PASS por outro previamente configurado para reduzir o tempo de interrupção (ABB, 2011).

### 3.6. Dead Tank Compact – DTC

#### 3.6.1 Generalidades

O módulo de comutação compacto DTC é composto por um disjuntor de potência tripolar, do tipo auto-compressão, utilizando o gás SF<sub>6</sub> como meio extintor e isolante, módulos de seccionamento e aterramento, e transformador de corrente. O disjuntor de potência desse módulo compacto tem um mecanismo de acionamento a mola comum para as três fases, sendo, portanto, apropriado para religamento automático tripolar (SIEMENS, 2012). Na Figura 49 é possível ver um diagrama simplificado de um DTC com os elementos citados.

Figura 49 – Diagrama simplificado – DTC



Fonte: (SIEMENS, 2012)

O DTC é adequado para a utilização na faixa de temperaturas ambiente de 25 °C negativos até 40 °C positivos, e consiste em uma combinação correspondente à finalidade de uso dos módulos para conectar, aterrar e seccionar. Voltando a observar a Figura 3.4, é possível ver que o DTC contempla quatro armários frontais, estes são, respectivamente da esquerda para direita, os (SIEMENS, 2012):

- Armário de comando das seccionadoras e chave de aterramento;
- Armário de ligação dos transformadores de corrente/potencial;
- Armário de comando do disjuntor de potência; e
- Unidade de Acionamento.

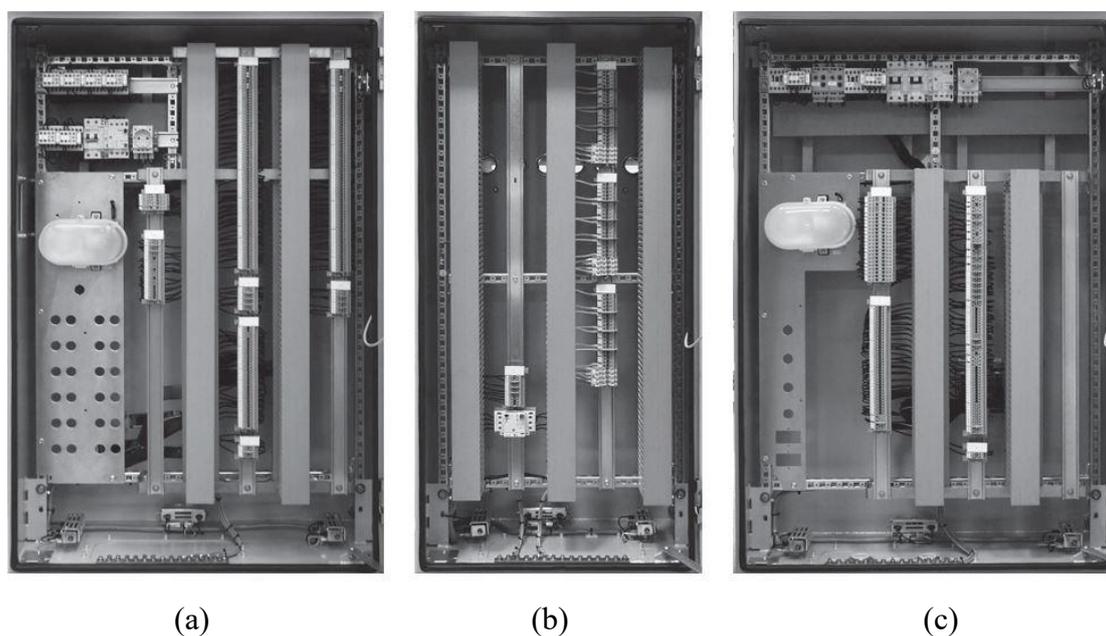
As placas de montagem, integradas nas unidades de comando, contêm todos os equipamentos para o comando e a supervisão do módulo de comutação compacto. Os três polos do módulo encontram-se sobre uma subestrutura comum metálica, e as unidades de manobra dispõem de um enchimento de gás SF<sub>6</sub> como meio extintor e isolante.

### 3.6.2 Unidades de Comando

As unidades de comando, dispostas como armários, contêm todos os componentes necessários para operação, supervisão e comando do módulo compacto DTC. Os aparelhos individuais foram montados de maneira a formar grupos funcionais. As conexões elétricas são asseguradas por meio de ligações rosqueadas e de encaixe.

Na Figura 50 é possível ver uma variação das telas internas dos comandos. Na figura (a) é representado o armário para comando dos módulos de seccionamento e aterramento; na (b), armário para ligar os transformadores de instrumentos; e na (c) o comando do disjuntor de potência (SIEMENS, 2012).

Figura 50 – Armários para comando dos módulos - DTC



Fonte: (SIEMENS, 2012)

### 3.6.3. Sistema de acionamento da mola do disjuntor.

Neste item procura-se fazer uma apresentação genérica do acionamento da mola do disjuntor, que será mostrado na Figura 51 que contempla um desenho ilustrativo em 3D do

sistema de acionamento citado.

O motor (1) carrega a mola de fechamento (2) através da engrenagem de carregamento (3), por intermédio do eixo de carregamento (4) e da barra de conexão (5). No final do processo de carregamento, o eixo de carregamento é separado da engrenagem por meio da trava de transporte (6) e depois trancado com a trava de fechamento (7). A mola de fechamento (2) fica assim carregada para o processo de fechamento do disjuntor.

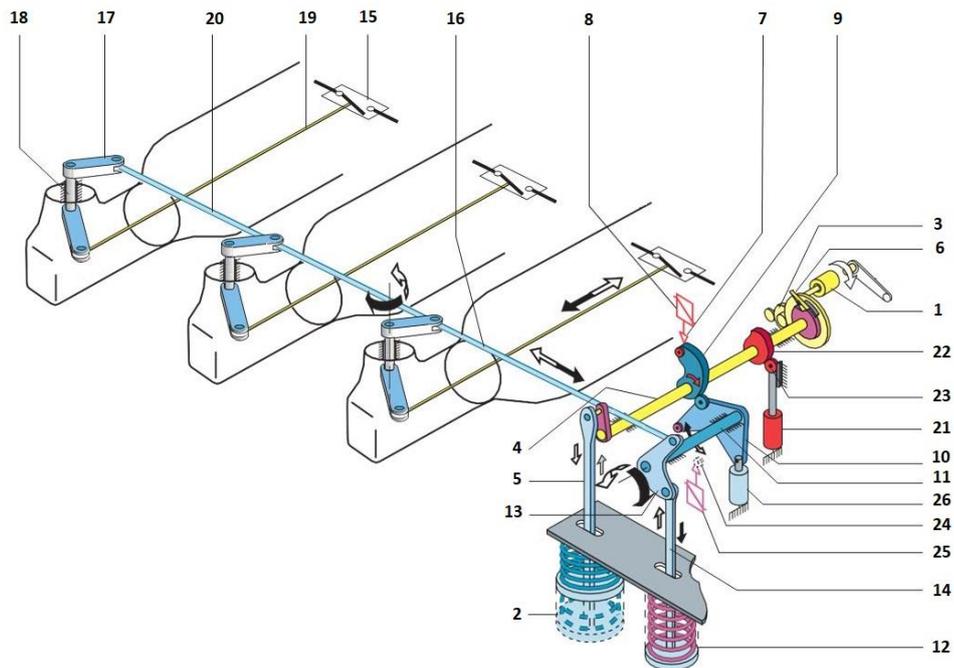
Acionando a bobina (8), a trava de fechamento (7) é destravada. A energia da mola de fechamento (2) é transmitida através do came (9) para a biela (10), e conseqüentemente para o eixo de manobra (11). Neste processo, a mola de abertura (12) é carregada através do movimento de rotação do eixo de manobra (11), da alavanca de manobra (13) e da barra de conexão (14); e o movimento se transmite para a unidade de interrupção (15) através da haste de acionamento (16), alavanca (17), eixo giratório (18) e haste de manobra (19) para a unidade de manobra das fases A, B e C do módulo, via haste de acoplamento (20), fechando então os contatos das unidades de manobra (15) simultaneamente.

No final do movimento de fechamento, o amortecedor de fechamento (21) absorve a energia cinética residual. Através dos excêntricos (22) da polia (23) evita-se uma oscilação do eixo de carregamento (4). Para concluir o processo de fechamento, a biela (10) é bloqueada com a trava de abertura (24). O disjuntor encontra-se agora em posição fechado, estando pronto para a operação de abertura.

Após isso, a mola de fechamento é completamente recarregada, em no máximo 15 segundos. Uma trava mecânica impede uma repetição do fechamento do acionamento antes da operação de abertura.

Acionando a bobina (25) a trava de abertura (24) é liberada. Os contatos das unidades de manobra (15) serão separados pela mola de abertura (12) através da barra de conexão (14), a haste de acionamento (16) e a haste de acoplamento (20). A energia cinética no final da operação de abertura é absorvida pelo amortecedor (26). Ao mesmo tempo o amortecedor (26) atua como batente do movimento de abertura (SIEMENS, 2012).

Figura 51 – Sistema de acionamento motor mola do disjuntor - DTC



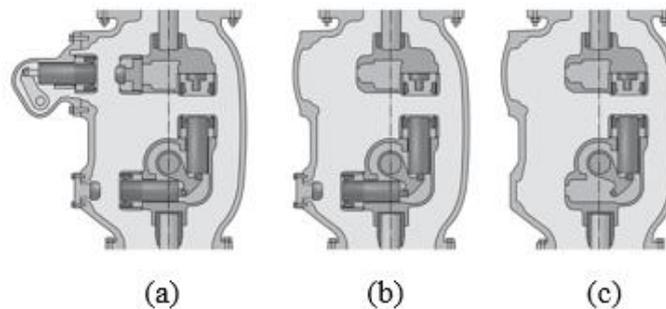
Fonte: adaptado de (SIEMENS, 2012)

### 3.6.4 Módulo de Seccionamento, aterramento e aterramento adicional.

Este módulo junta as funções de chave de seccionamento, aterramento e aterramento adicional. Depois de isolar a subestação em questão, é possível criar a seção de separação necessária para trabalhar com segurança em sistemas elétricos, assim como também estabelecer uma ligação à terra (SIEMENS, 2012).

Devido à implantação de um aparelho com três posições, as funções de seccionamento/aterramento são bloqueadas mecanicamente umas em relação às outras. Os módulos podem apresentar várias combinações do seccionador/lâmina de terra, podendo ser, assim, utilizados universalmente. Na Figura 52 é mostrado as três variações possíveis do módulo em questão.

Figura 52 – Módulo de seccionamento - DTC



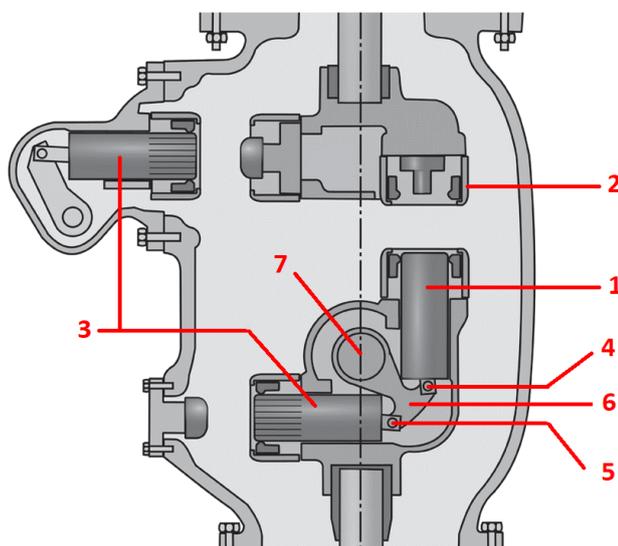
Fonte: (SIEMENS, 2012)

Na figura (a) é mostrado o módulo na sua configuração mais completa, contemplando o seccionador, o eletrodo para conexão a terra e o aterramento adicional. Já na figura (b) contempla o seccionador e eletrodo para conexão a terra. Por último, na figura (c), a configuração mais simples composta somente de seccionador(SIEMENS, 2012).

Ao ligar o seccionador, observar a Figura 53, o pino de contato (1) é movimentado para o contato de inserção (2), fechando o caminho da corrente. No acionamento do eletrodo de terra, o pino de comutação (3) é posicionado sobre o contra-contato do eletrodo de terra e, com isso, liga o caminho da corrente à terra. No acionamento do eletrodo de terra adicional é o mesmo processo.

O movimento do pino de contato ocorre com a chave de seccionamento através do acoplamento (4) e com a chave de aterramento através do acoplamento (5). Ambos os acoplamentos são movimentados pela alavanca de acionamento (6). A alavanca de acionamento é acionada pelo eixo do acionamento isolado (7). Para efeitos de disposição dos sistemas de contato das chaves de seccionamento e aterramento, força-se um movimento contrário: enquanto que um dos pinos de contato se movimenta no sentido de fechamento, o outro pino de contato é conduzido na posição de abertura. O eletrodo de terra adicional pode ser comutado independentemente da combinação seccionador e contato de terra (SIEMENS, 2012).

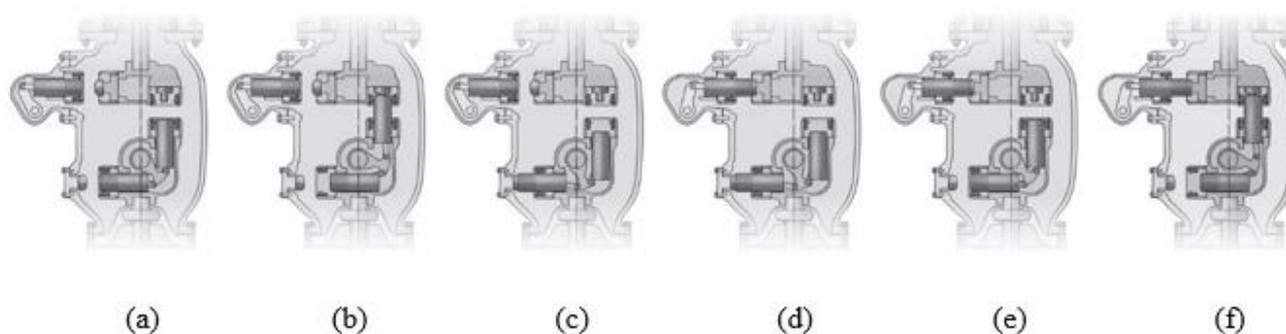
Figura 53 – Sistema de contato do módulo da chave de seccionamento - DTC



Fonte: adaptado de (SIEMENS, 2012)

Para melhor entendimento das operações do módulo de seccionamento, segue imagens ilustrativas das seis alternativas possíveis, intituladas de (a) a (f), na Figura 54 (SIEMENS, 2012)

Figura 54 – Posições possíveis do módulo de seccionamento - DTC.



Fonte: (SIEMENS, 2012)

Sendo:

- a) Aterramento adicional ABERTO, seccionador ABERTO, eléctrodo de terra ABERTO;
- b) Aterramento adicional ABERTO, seccionador FECHADO, aterramento ABERTO;
- c) Aterramento adicional ABERTO, seccionador ABERTO, aterramento FECHADO;
- d) Aterramento adicional FECHADO, seccionador ABERTO, aterramento FECHADO;
- e) Aterramento adicional FECHADO, seccionador ABERTO, aterramento ABERTO;
- f) Aterramento adicional FECHADO, seccionador FECHADO, aterramento ABERTO

### 3.6.5 Manutenções

O módulo compacto DTC deve ser submetido a manutenção com a finalidade de preservar a respectiva segurança de operação. Todas as providências para manutenção e controle cumprem os seguintes objetivos (SIEMENS, 2012):

- Detectar o grau de desgaste de determinadas peças e o seu estado geral;
- Assegurar que as peças ainda operacionais mantenham o seu bom estado;
- Substituir determinadas peças a título preventivo por peças novas; e
- Assegurar o bom estado da proteção anti-corrosão.

Como é evidente, os módulos compactos com manobras frequentes sofrem mais desgaste do que os módulos com poucas manobras. Neste caso, é importante diferenciar desgaste mecânico pelo número de manobras e desgaste devido a comutações de corrente de serviço e correntes de curto-circuito.

O limite de desgaste está determinado de maneira a que seja possível, na maioria dos casos, executar os serviços de manutenção em intervalos fixos. Apenas no caso de comutações muito frequentes do módulo de comutação compacto poderá ser necessário

executar o respectivo serviço de manutenção mais cedo do que o previsto, devido ao número admissível de manobras e/ou ao número admissível de comutações de potência ou de manobras em carga (SIEMENS, 2012).

Então, pelas recomendações do fabricante, os serviços de manutenção do DTC devem ser executados quando determinado intervalo de tempo for ultrapassado ou um número de operações for vencido, ambas condições dependem do tipo de manutenção que deve ser feito.

A princípio deve ser feito o que é chamado de controle geral, que significa uma verificação visual do módulo comutador compacto. A verificação visual compreende os seguintes controles:

- Testar a pressão de SF<sub>6</sub> com o manômetro do disjuntor;
- Sujeira das peças isoladas;
- Danos a isoladores compostos;
- Terminal de aterramento; e
- Número de operações.

Para os sistemas de controle, a manutenção deve ser feita após 12 anos em operação ou a cada 3000 ciclos de operação para correntes superiores à nominal. O disjuntor deve ser colocado fora de operação e isolado da alimentação elétrica (SIEMENS, 2012).

Já a manutenção completa, com o módulo de seccionamento e aterramento fora de serviço e desligado, assim como os compartimentos de gás abertos, para inspeção geral, deve ocorrer somente após 25 anos de operação ou a cada 6000 ciclos de operação para correntes superiores à nominal.

Fazem parte das providencias, os seguintes pontos (SIEMENS, 2012):

- Verificação dos: controle geral, controle do sistema de contato, comando de acionamento, circuitos dos disparadores, bloqueio de fechamento;
- Substituição de filtros;
- Reposição de gás SF<sub>6</sub>;
- Detecção de vazamento no módulo; e
- Proteção anti-corrosão.

### 3.7. HYpact

#### 3.7.1 Generalidades

O HYpact é um conjunto compacto que consiste em disjuntores, seccionadores e chaves de aterramento. Transformadores de corrente e tensão, bem como conectores de cabos podem ser adicionados. Seu design modular oferece vantagens econômicas tais como: requisitos de espaço reduzidos são obtidos pela combinação de todas as funções de interrupção e desconexão em uma única unidade, reduzindo as despesas de obras civis. A unidade também é fácil de transportar e instalar, reduzindo ao mínimo os custos de engenharia (GE, 2017).

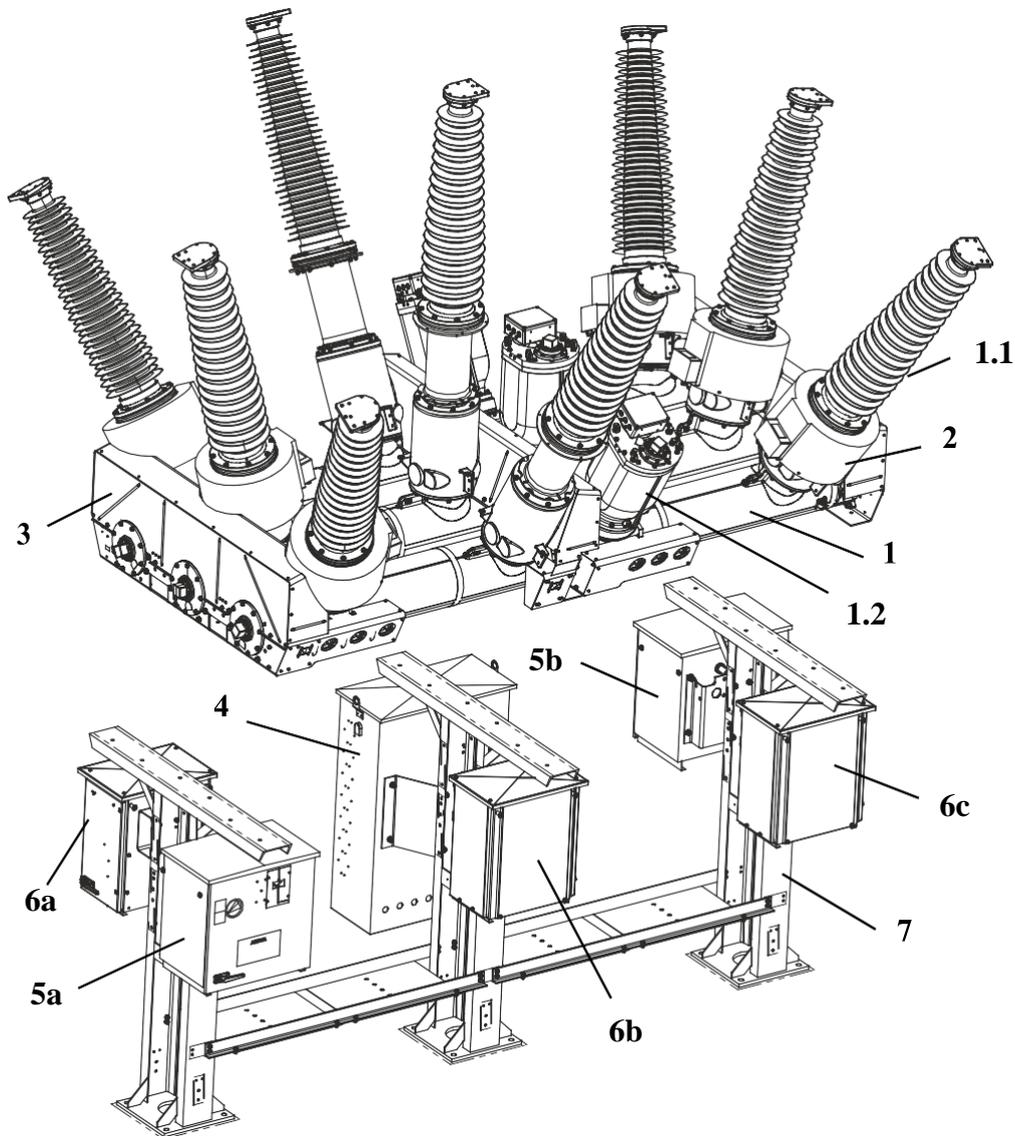
O conjunto compacto da GE consiste em dois disjuntores, até três chaves seccionadoras de aterramento e as buchas para as três fases, além de outros dispositivos opcionais. Transformadores de corrente de núcleo toroidal (opcional) podem ser instalados abaixo das buchas; a posição de montagem dos transformadores de tensão (opcional) é mostrada no desenho cotado.

Os suportes são construídos em aço soldado zincado, no qual os mecanismos de operação também são montados. Os mecanismos de operação dos disjuntores consistem em uma estrutura de aço autoportante, protegida contra a corrosão. A porta, o piso, o painel traseiro, os painéis laterais removíveis e o telhado são construídos em chapa de alumínio. Os mecanismos de operação dos interruptores seccionadores de aterramento combinados possuem carcaças de chapa de aço inoxidável (GE, 2005).

O sistema de controle interno do HYpact está localizado em um painel de controle montado na estrutura de suporte ou integrado em um mecanismo de operação do disjuntor.

Na Figura 55 é mostrado um conjunto compacto HYpact evidenciando com em números seus componentes externos. Os polos de entrada (1), isoladores (1.1) e transformadores de potencial (1.2) são vistos na parte superior do conjunto. Seguindo então após os isoladores estão os transformadores de corrente monofásicos (2). Um componente opcional é denominado por porta gelo (3), usado em ambientes com baixas temperaturas ambientes. Na parte frontal do conjunto se encontram a cabine de controle (4) a cabine do mecanismo de operação do disjuntor (5) e a cabine do mecanismo de operação das chaves seccionadoras e aterramento (6) (GE, 2005).

Figura 55 – Conjunto compacto HYpact



Fonte: (GE, 2005)

### 3.7.2 Operação

As fases separadas do módulo podem ser conectadas pela tubulação a SF<sub>6</sub> para formar um compartimento de gás comum, ou cada fase pode ser monitorada separadamente (opcional). O particionamento possibilita várias câmaras de gás por fase. Os contatos móveis dos sistemas de interruptores são conectados pelas hastes de isolamento, eixos de torque, alavancas e bielas aos mecanismos de operação montados na estrutura de suporte.

Quando a corrente é interrompida pelo disjuntor, a transição da posição fechada para a posição aberta ocorre em poucos milissegundos. Durante esta operação de abertura, os

principais contatos se preparam primeiro. O arco que é formado entre os contatos do arco que entram em contato é extinto por um fluxo de gás dentro da unidade do interruptor. Os principais contatos, que já foram abertos, não são erodidos pelo arco (GE, 2005).

Nos disjuntores SF<sub>6</sub> que são usados nos módulos HYpact, a pressão de gás necessária é gerada em uma câmara de pressão pela energia do próprio arco em função da corrente. O mecanismo de operação fornece apenas a energia necessária para o movimento de contato e o sopro auxiliar mecânico para garantir a segurança das pequenas correntes.

Durante a operação de fechamento, os contatos de arco são fechados primeiro e depois os contatos principais. A mola de fechamento no mecanismo de operação é carregada por um motor elétrico através de um redutor com o objetivo de armazenar a energia operacional necessária. A mola de abertura também está localizada no mecanismo de operação e é carregada durante cada movimento de fechamento. O armazenamento de energia da mola contém energia mecânica suficiente para executar a operação O-CO, mesmo se a fonte de alimentação do motor falhar (GE, 2005).

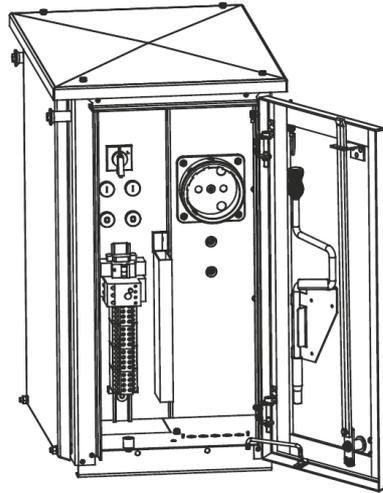
A atuação elétrica das bobinas de fechamento e abertura faz com que os trincos sejam destravados, o que libera a energia das molas para fins de operação. A energia da mola é transferida para o sistema de contato conectando alavancas, conexões e eixos externos e internos aos compartimentos de gás.

Os mecanismos de operação das chaves seccionadoras e de aterramento, seguem o mesmo princípio das chaves seccionadoras do módulo compacto DTC, explanado no tópico 3.6.4. As chaves são intertravadas eletricamente com os mecanismos de operação do disjuntor, a fim de impedir operações não permitidas. O modo mecânico de operação do seccionador combinado de aterramento e desconexão garante que o seccionador de aterramento seja fechado somente quando o seccionador associado estiver aberto.

O mecanismo ME4 é o responsável por realizar o comando e controle do movimento das chaves seccionadoras e chaves de aterramento. Na Figura 56 é possível ver o invólucro que protege a caixa de engrenagens e os componentes elétricos contra influências ambientais e possui um grau de proteção máximo de IP55 (GE, 2005).

O mecanismo pode ser operado por meio de uma manivela, localizada na portada do invólucro, se o seletor de modo operacional estiver ajustado de acordo. O modo de operação do dispositivo pode ser ajustado usando o seletor de modo de operação e bloqueado por meio de um cadeado.

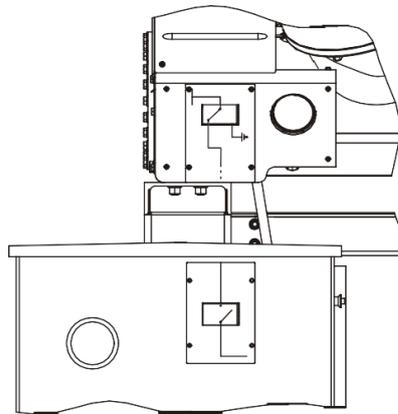
Figura 56 – Caixa de Controle do HYpact



Fonte: (GE, 2005)

Os módulos HYpact são equipados com um indicador mecânico de posição que mostra ao usuário o estado operacional em todos os momentos, assim como mostra a ilustração da Figura 57

Figura 57 – Indicador de posição



Fonte: (GE, 2005)

### 3.7.3 *Manutenções*

Os procedimentos de inspeção e manutenção podem ser executados de acordo com um cronograma disponibilizado pelo fabricante. O trabalho de manutenção e recondiçãoamento só podem ser realizados por técnicos treinados, portanto o fornecedor oferece cursos de treinamento, na fábrica do fabricante, para a equipe do cliente. Caso não haja equipe local treinada, uma equipe de pessoal qualificado pode ser solicitada ao fabricante (GE, 2005).

Os intervalos de inspeção e manutenção especificados aplicam-se às condições normais de operação. Condições ambientais extremas, como:

- Temperaturas ambiente continuamente altas;
- Acúmulo de poeira pesada;
- Umidade continuamente alta;
- Poluição do ar severa por gases ou vapores agressivos; e
- Serviço em áreas costeiras.

Os intervalos de inspeção e manutenção podem ser mais curtos caso sejam necessários, no entanto as definições do fabricante estabelecem os seguintes:

- Inspeção: eventualmente, durante as inspeções de rotina, após, no máximo, 6 anos;
- Manutenção: Após 12 e 24 anos.

Os contatos de arco irão apresentar desgaste devido à comutação de correntes normais e de curto-circuito. O valor efetivo da corrente de curto-circuito é usado para avaliar o desgaste. A manutenção é necessária após 2.500 operações em corrente normal nominal.

O HYpact pode permanecer em operação durante a inspeção, e desta fazem partes atitudes como:

- Verificação cuidadosa quanto a danos ou corrosão;
- Verificação em as aberturas de ventilação e respiros dos mecanismos de operação, do gabinete de controle e da caixa de terminais do transformador para certificar-se de que não estejam obstruídos; e
- Verificação da densidade de gás SF<sub>6</sub>.

No que diz respeito a manutenção geral do HYpact, o conjunto deve ser desligado, mas não é necessário abrir as três fases do módulo. Fazem parte do processo sequencial de manutenção, dentre outras descritas em (GE, 2005) as seguintes ações:

- Desconectar o módulo do sistema de alta tensão e aterre o módulo nas duas extremidades.
- Descarregar as molas de fechamento e abertura.
- Averiguar todas as conexões de cabo na caixa do mecanismo;
- Verificação de conformidade do gás SF<sub>6</sub>;
- Teste da resistência de contato das conexões; e
- Verificação dos tempos de operação do disjuntor;

### **3.8 Considerações finais**

Neste capítulo apresentado foi esclarecido conceitos acerca da tecnologia híbrida, assim como suas principais características e vantagens em relação a tecnologia convencional para equipamentos de alta tensão. Além disso foi apresentado os equipamentos mais comuns no mercado, que contemplam essa tecnologia. Com o objetivo de esclarecer melhor o funcionamento desses equipamentos, foi exposto as principais características de cada um dos equipamentos citados no capítulo. Os assuntos e informações trazidos neste capítulo buscam deixar claro o que é a tecnologia híbrida e como ela se apresenta atualmente no mercado, dando recursos técnicos para o completo entendimento dos capítulos que seguem.

## **4. APLICAÇÕES DA TECNOLOGIA HÍBRIDA**

### **4.1. Introdução**

Neste capítulo procura-se explorar o estado da arte da tecnologia híbrida no Brasil, apresentando exemplos de aplicação prática de equipamentos modulares compactos. Tem como objetivo deixar claro que soluções híbridas são aplicáveis e vantajosas, quando comparadas a soluções convencionais, atendendo aos requerimentos de alta disponibilidade e mantendo custos competitivos.

### **4.2. ALUMAR – Primeira Aplicação do módulo PASS no Brasil**

Em (KLADT, 2001) é apresentado uma experiência prática de aplicação de novas tecnologias em equipamentos de alta tensão e novos conceitos em subestações, em subestação de grande porte.

O autor evidencia os pontos mais significativos do projeto de ampliação de uma SE 230 kV em operação; ampliação esta que não estava prevista no projeto original. A solução adotada para esta situação, atendendo as necessidades do operador, foi obtida com a relocação de um banco de capacitores e a aplicação de uma nova tecnologia com a utilização de um módulo compacto integrado de alta tensão, denominado PASS, pela primeira vez no Brasil.

O operador da subestação é a ALUMAR - Consórcio de Alumínio do Maranhão, situada na cidade de São Luís. A unidade é um complexo integrado de produção, que envolve um Porto, uma Refinaria e uma Redução, onde no primeiro são recebidas algumas matérias primas e expedidos os produtos; no segundo a bauxita é transformada em alumina; e no terceiro essa alumina é transformada em alumínio metálico nos fornos eletrolíticos. Esses fornos, denominados de Linhas de Cubas, são transformando 730.000 toneladas de alumina em 365.000 toneladas de alumínio em estado líquido, por ano, através do processo eletrolítico que consiste em circular corrente elétrica da ordem de 220 kA médios no banho eletrolítico (KLADT, 2001).

A alimentação de energia elétrica do complexo é feita pela rede básica a partir da SE São Luis II através de duas linhas de transmissão em 230 kV, e rebaixada aos níveis de distribuição pelas SE Redução e SE Refinaria, com uma potência total instalada da ordem de 1.700 MVA e demanda média de 650 MW na Redução e 32 MW na Refinaria. Na Figura 58 mostra o complexo industrial Alumar.

Figura 58 – Complexo Industrial Alumar



Fonte: (KLADT, 2001)

A subestação da unidade intitulada de Redução, objeto do estudo de aplicação, possui arranjo básico em barra dupla com disjuntor de interligação das barras de 230kV e 13,8kV respectivamente. Para a tensão de 34,5kV o arranjo é em barra dupla sem disjuntor de interligação destas barras. Antes da ampliação já existiam na subestação da Redução dezenas de equipamentos, tais como:

- Transformadores abaixadores;
- Transformadores reguladores;
- Retificadores;
- Filtros de Harmônicos;
- Transformadores de Serviços Auxiliares; e
- Bancos de capacitores.

No projeto original da SE Redução foram previstos: um transformador 230/34,5 kV para cada Linha de Cuba e um reserva. Durante reparos em um dos transformadores, após um sinistro, foi encontrada uma falha interna (sem relação com o sinistro), que ameaçava causar arcos elétricos internos, consequentemente a queima do transformador (KLADT, 2001).

Sabendo que os três transformadores remanescentes possuíam o mesmo projeto, análises e inspeções foram feitas apontando evidências do mesmo tipo de falha do

transformador defeituoso. Uma vez que este tipo de falha poderia ocasionar a queima inesperada de qualquer um dos três transformadores, decidiu-se, em meio a várias outras soluções propostas, comprar e instalar um segundo transformador reserva “hot spare”. Sendo necessário assim uma ampliação da subestação (KLADT, 2001).

O benefício esperado do investimento nesta ampliação era assegurar a continuidade no fornecimento de energia elétrica ao processo de produção de alumínio das três Linhas de Cubas, e evitar a interrupção de produção de alumínio.

Para implantação desta ampliação foram feitas inúmeras cotações e a análise a técnica para a comparação das propostas foi composta por mais de 50 itens, dentre os quais destacou-se:

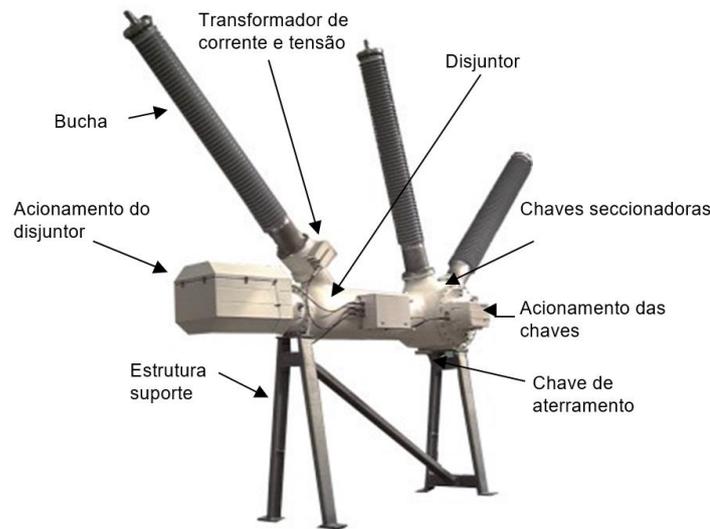
- Impactos ambientais / conservação de energia;
- Aumento na confiabilidade operacional;
- Aumento na flexibilidade operacional; e
- Inovação tecnológica.

Após a equalização, tabulação e ranqueamento das propostas técnicas, verificou-se que a proposta com a utilização de equipamentos de manobra integrado em um único módulo de AT a SF<sub>6</sub> denominado PASS, era a de maior pontuação, principalmente pela a compactação que proporcionava à ampliação. O módulo seria capaz de executar toda as funções necessárias em um bay nos arranjos mais usuais de subestações devido a possibilidade de configuração que poderia incluir até seis aparelhos de alta tensão num equipamento só, como mostra a Figura 59.

O módulo integrado de alta tensão PASS era comandado através de uma unidade de comando numérico REC580 montada no cubículo integrado de comando e controle, instalado na casa de comando e controle da SE, distante 250 m da localização do módulo PASS no pátio de 230 kV (KLADT, 2001).

Além disso, o módulo era equipado com funções de monitoramento e auto supervisão online e disponibilizava todos os dados necessários para um diagnóstico mais amplo, permitindo a realização de manutenções preditivas.

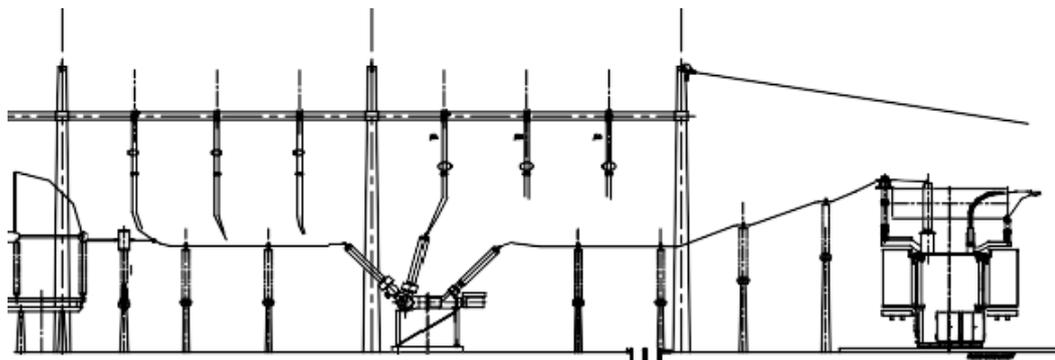
Figura 59 – Módulo integrado de alta tensão



Fonte: adaptado de (KLADT, 2001)

A Figura 60 mostra o corte da ligação do módulo integrado de AT ao transformador de potência e as barras de alta tensão. Nota-se que não são utilizadas chaves isoladoras para isolar o módulo PASS. Este conceito é válido em virtude da alta confiabilidade do módulo sendo demonstrado em estudos comparativos de disponibilidade de que a inserção de chaves isoladoras irá reduzir a disponibilidade do bay. Chama-se a atenção também para a redução do número de fundações, o que reduz o prazo e custo de construção e a redução do número de conexões de AT, aterramento e fiação secundária reduzindo-se consequentemente o prazo e custo de materiais de montagem e construção (KLADT, 2001).

Figura 60 – Corte da Ampliação da SE Redução



Fonte: (KLADT, 2001)

Portanto, para essa aplicação, a implementação da solução híbrida se mostrou muito viável, adequada e ideal; não causou aumento nos custos e ainda trouxe benefícios adicionais de disponibilidade e confiabilidade (KLADT, 2001).

### 4.3. Subestação Itaim - Tecnologia Híbrida em Subestação Compacta Abrigada

Em KAJIKAWA (2008) é apresentada outra aplicação prática da tecnologia híbrida, implementada na antiga AES Eletropaulo, atualmente intitulada de Enel Distribuição São Paulo.

A estação transformadora de distribuição (ETD) Itaim está localizada na zona Sul da cidade de São Paulo, uma região com custo da área altamente valorizada. Ocupava uma área aproximada de 10.000 m<sup>2</sup> e possuía uma capacidade de atendimento de carga firme de 76,8 MVA.

A subestação ETD Itaim opera em tensão não padronizada de 3,8 kV com alto nível de perdas e baixa confiabilidade operativa apresentando circuitos sobrecarregados e condições precárias para o atendimento de novas ligações. Além disso, o crescente aumento do consumo de energia nesta região com a concentração de grandes edifícios comerciais, tendo como consequência, a sobrecargas em outras subestações da região (KAJIKAWA, 2008).

Uma reforma e ampliação da subestação ETD Itaim permitiria a transferência de carga destas subestações, próxima ao centro de carga da ETD Itaim, aliviando seu alto nível de carregamento e permitindo assim, maior flexibilidade operativa nestas subestações.

Estudos realizados na região definiram que a nova ETD Itaim deveria possuir um arranjo com 3 transformadores de 40MVA e três conjuntos blindados disponibilizando um total de 18 alimentadores de distribuição de 13,8kV que permitiria um carregamento firme final de 96 MVA, além de permitir a interligação em 88kV com uma subestação vizinha, conforme era o esquema antes da reforma. Deveria ainda incorporar em sua concepção um conceito de automação que permitiria a transferência das cargas instaladas entre suas três unidades transformadoras sem qualquer intervenção humana. Desta forma o carregamento seria distribuído pelos seus transformadores, de tal forma que a potência em cada um deles ficaria limitada a 32 MVA possibilitando um melhor aproveitamento da potência total instalada e reduzindo a possibilidade de ocorrências indesejáveis nos transformadores da subestação. (KAJIKAWA, 2008).

A ampliação e modernização da ETD Itaim foram viabilizadas em função da possibilidade e do interesse de um empreendedor no aproveitamento da área da subestação para outras aplicações. Desta forma, o processo de seleção de fornecedores da nova subestação estabeleceu premissas, tais como:

- Menor área possível de ocupação;
- Aplicação de sistema antiexplosão nos transformadores;
- Possibilidade de aplicação de equipamentos não padronizados pela

Eletropaulo;

- Operação assistida por período determinado; e
- Possibilidade de intercambiabilidade entre os transformadores.

Os proponentes apresentaram alternativas para a compactação da subestação com soluções convencionais, blindadas isoladas a gás SF<sub>6</sub> (GIS) e equipamentos com tecnologia híbrida. Dentre as alternativas propostas para a ampliação e modernização desta subestação, a que estabelecia o maior custo benefício agregado, ou seja, a que envolvia a melhor relação entre o custo de uma subestação nova e a quantidade de área liberada para outras aplicações na região, foi a proposta de uma subestação compacta abrigada, usando equipamentos com tecnologia híbrida (KAJIKAWA, 2008).

Ocupando uma área aproximada de 2.000 m<sup>2</sup> (KAJIKAWA, 2008), a subestação compacta proporcionaria uma liberação de área significativa para uso misto residencial e comercial, além de trazer ganhos no aspecto de segurança e emissão de ruído audível, por ser abrigada. A concepção da construção da nova Subestação ETD Itaim, na forma como definida visou principalmente:

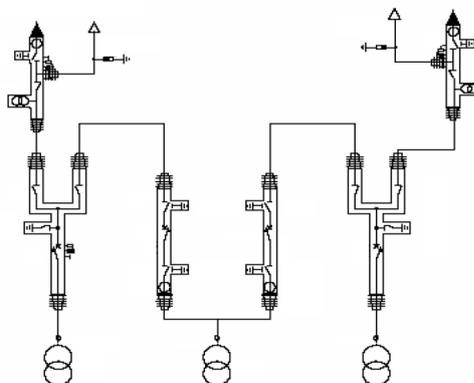
- Reduzir impactos ao meio ambiente, uma vez que sendo compacta, utilizaria menor área para sua construção;
- Por ser abrigada, teria baixa emissão de ruído;
- Circuitos de distribuição com saídas subterrâneas, diminuindo impactos visuais;
- Circuitos aéreos construídos com a tecnologia “spacer”, acarretando menor necessidade de poda de árvores em seus itinerários, além de reduzir a poluição visual, uma vez que pode dispensar a utilização de utiliza cruzetas.

Os equipamentos usados para constituir a subestação compacta abrigada são os módulos PASS de fabricação ABB, encapsulados em SF<sub>6</sub>, com classe de tensão 138 kV que incorporam chaves de aterramento, seccionadores, disjuntores, transformadores de corrente e potencial.

O módulo híbrido PASS é de rápida e fácil instalação, pois é totalmente pré-fabricada e pré-comissionada em fábrica. Além disso, exige pouco tempo de desligamento para substituição de seus polos. A inspeção visual é sempre possível através das janelas existentes nos compartimentos de chaves de aterramento e seccionadores, sinalização de equipamento aberto ou fechado facilitada pela utilização de “bandeiras” verde e vermelha, além de sinais elétricos transmitidos para o painel de controle remoto (KAJIKAWA, 2008).

Como a subestação possuía 2 bays de linha subterrânea, para efetivação da solução, dois módulos PASS foram concebidos para permitirem a derivação destas linhas, além de mais 4 módulos que fazem as conexões entre os transformadores e as saídas, conforme pode ser visto no unifilar do setor de alta tensão na Figura 61.

Figura 61 – Diagrama unifilar do setor de alta tensão – PASS



Fonte: (KAJIKAWA, 2008)

A solução híbrida conseguia atender as principais questões enfrentadas pela área de engenharia, tais como:

- Mais bays em menor espaço;
- Layout mais simples;
- Facilidade de montagem e comissionamento;
- Rápido tempo de instalação; e
- Alta padronização e modularidade.

Para esta aplicação o artigo também contemplou uma análise comparativa percentual dos custos de implantação de uma subestação convencional e uma subestação compacta com tecnologia híbrida em uma região de alto valor para aquisição do terreno. A Tabela 1 mostra os valores percentuais obtidos (KAJIKAWA, 2008).

Tabela 1 – Comparativo percentual de custo

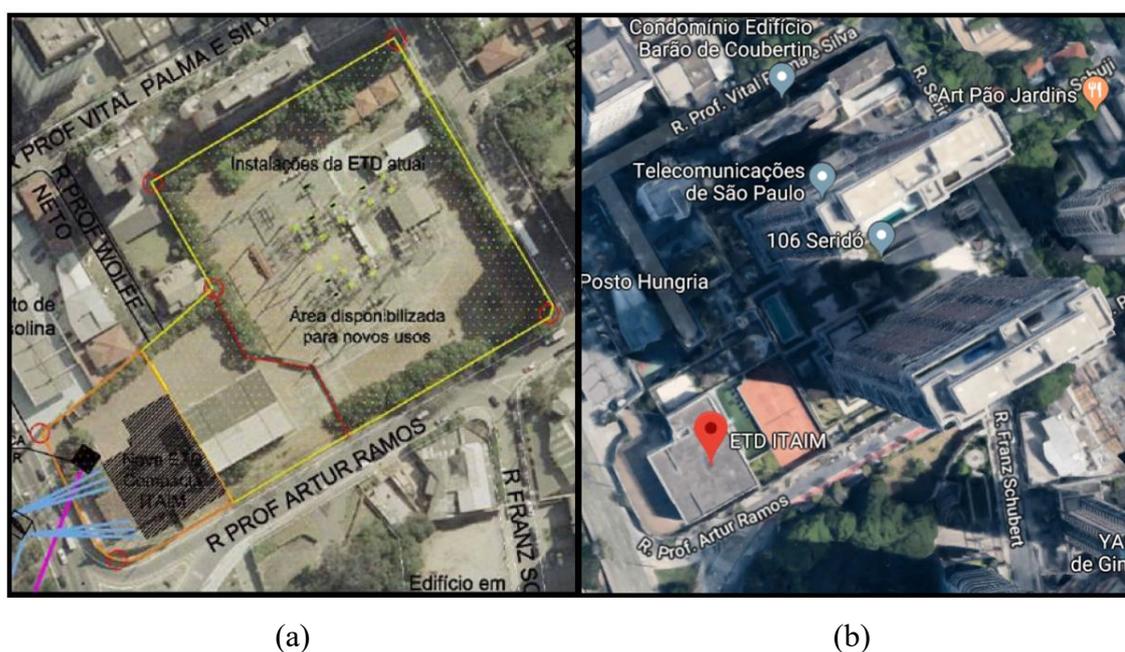
<b>Descrição</b>	<b>SE convencional</b>	<b>SE tipo Híbrida</b>
Terreno	47,5%	19%
Projetos	1,1%	2,3%
Equipamentos	38%	48,3%
Obras Civas	8,6%	8,7%
Montagem Eletromecânica	4,8%	6,8%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>85,2%</b>

Fonte: (KAJIKAWA, 2008)

Além do menor custo global para o caso avaliado, o tempo de implantação de uma subestação compacta com tecnologia híbrida, em função de suas características modulares também é menor do que as subestações convencionais, sendo a redução obtida da ordem de 20% (KAJIKAWA, 2008).

A Figura 62 mostra a área que a ETD Itaim ocupava quando era convencional (a), e ao lado um registro via satélite do que seria atualmente a área antes ocupada pela SE: a subestação abrigada ocupando um espaço 80% menor e o restante da área comportando prédios e residências (b).

Figura 62 – Comparativo da área da EDT Itaim



Fonte: Fonte: adaptada de (KAJIKAWA, 2008)

A aplicação de soluções compactas para subestações pode ser viabilizada após análise técnica e econômica e o fator preponderante na sua implantação é custo da área. Esta solução se torna ainda mais atraente quando se tratar de uma subestação existente, como bem evidenciou o trabalho referenciado, obtendo a disponibilização de área para outras aplicações, permitindo desta forma, a implantação do empreendimento com vantagens financeiras tanto para a concessionária quanto para o empreendedor.

#### 4.4. SED Horizonte

A Subestação Elétrica de Distribuição de Horizonte, comumente denominada de SED Horizonte, é uma infraestrutura elétrica de distribuição da ENEL Distribuição Ceará, localizada no interior do estado, de capacidade final 120 MVA, 72.5/15 kV mas com capacidade

inicial instalada de 32 MVA, dois transformadores de 16 MVA. Dados obtidos em visita realizada no ano de 2019.

Obras concluídas em 2018, a SED Horizonte contempla duas entradas de linha de 72.5 kV, quatro módulos híbridos da família PASS, barramento de 15 kV com switchgear, e quatro bancos de capacitores.

Para esse arranjo de duas entradas, barramento e 72 kV e dois transformadores, seria necessário dois conjuntos de transformadores de corrente, chave seccionadora e disjuntor, para as entradas; transformador de potencial para o barramento; transformador de corrente, chave seccionadora e disjuntor para cada um dos transformadores; além de isoladores e para-raios.

Utilizando os módulos híbridos PASS M00 SBB, suprimiu-se o uso dos transformadores de corrente, chaves seccionadoras e disjuntores, resumindo o arranjo a pórticos de entrada, módulos híbridos, barramento de alta tensão com transformador de potencial, módulos híbridos para cada transformador, e por fim os transformadores de potência. Na Figura 63 é possível ver o pátio de alta tensão da subestação com sua instalação inicial finalizada, evidenciando o uso dos módulos híbridos.

Figura 63 – SED Horizonte



Fonte: elaborado pelo autor

A utilização de módulos híbridos compactos já se tornou padrão para execução de subestações elétricas de distribuição da Enel Distribuição Ceará, Rio de Janeiro e Goiás, como bem pode ser visto na Especificação Técnica nº 144, Subestação de Distribuição Aérea Semi-abrigada 72,5 – 15 kV (ENEL, 2018).

#### 4.5. Considerações finais

Este capítulo procurou apresentar exemplos de aplicação da tecnologia híbrida no Brasil, mostrando como os equipamentos com essa tecnologia possibilitaram uma compactação eficiente, gerando economia de espaço de implantação, tempo de execução, aumento na confiabilidade do sistema e mantendo custos competitivos.

## 5. SOLUÇÃO TÉCNICA UTILIZANDO TECNOLOGIA HÍBRIDA

### 5.1. Introdução

Neste capítulo é apresentado uma proposta de solução técnica para um empreendimento que necessita de infraestrutura elétrica para ser atendido em alta tensão, no entanto dispõe de pouco espaço para implantação de uma subestação abaixadora 72.5/15 kV convencional. É mostrado também uma solução baseada em equipamentos convencionais, logo em seguida apresentada uma solução concebida utilizando um equipamento de tecnologia híbrida visando a compactação da infraestrutura e assim adequando-se ao espaço disponível no empreendimento.

### 5.2. Premissas Iniciais

O empreendimento utilizado na avaliação está localizado na cidade de Fortaleza, é atendido atualmente em 13.8 kV, com potência instalada de aproximadamente 6 MVA, além de conjunto de 6 geradores de emergência a diesel, cada um conectado a um transformador elevador 0.44/13.8 kV de 1000 kVA. A casa de comando do empreendimento possui switchgear com cubículo de entrada e quatro cubículos de saída em 13.8 kV para alimentar uma rede de média tensão interna, como pode ser visto na Figura 64

Figura 64 – Painel de Média Tensão



Fonte: elaborado pelo autor

Para o intertravamento, entre geração e alimentação via sistema elétrico da concessionária local, é utilizado um quadro de transferência automático (QTA), integrado com uma Unidade de Supervisão de Corrente Alternada (USCA).

O grupo gerador com USCAs e o QTA podem ser vistos, respectivamente, nas Figura 65 e 66. O painel de medição e faturamento também é instalado no interior da casa de comando.

Figura 65 – Grupo Gerador e USCAs



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 66 – Quadro de Transferência Automática (QTA)



Fonte: elaborado pelo autor

Para suprir as cargas das instalações, em baixa tensão, da casa de comando e sala de geradores, um transformador de serviços auxiliares (TSA) de 145 kVA 13.8/0.38 kV, evidenciado na Figura 67, é instalado em uma sala fechada dentro da própria estrutura da casa de comando. O TSA comporta acréscimo de carga sem necessidade de aumento de capacidade de potência de transformação, pois atende somente cargas como iluminação, tomadas e condicionadores de ar.

Figura 67 – Transformador de Serviços Auxiliares (TSA)

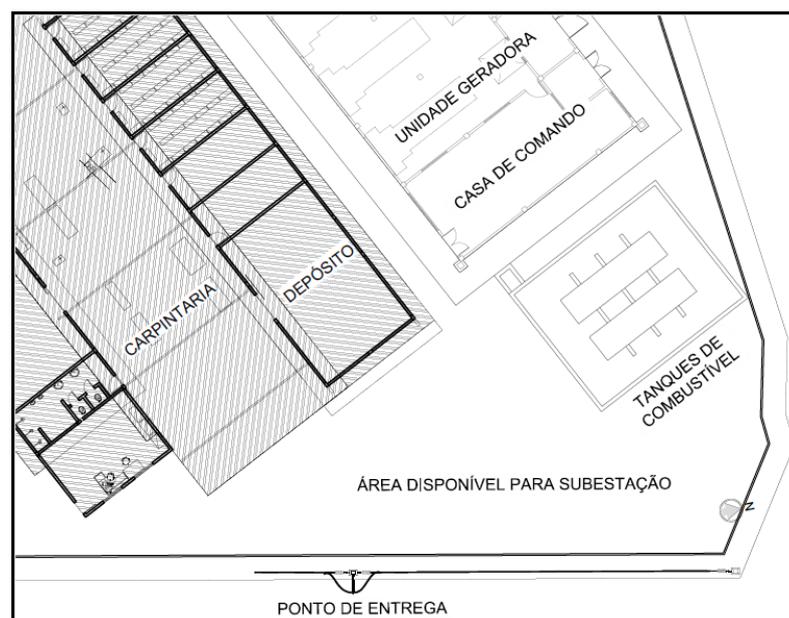


Fonte: elaborado pelo autor

Devido sua potência instalada superior à 2,5 MVA, e sua demanda crescente de energia, é de suma importância que esse consumidor migre para atendimento em alta tensão. Como opção para este atendimento uma linha de 69 kV tangencia o muro externo do empreendimento, próximo ao ponto de entrega atual, foi a opção indicada pela concessionária de energia local, em Atestado de Viabilidade Técnico (AVT), para a conexão do consumidor na rede de alta tensão.

Dito isto, na Figura 68 é possível ver uma planta localização ilustrativa, indicando a casa de comando existente, os tanques para abastecimento do grupo gerador, o possível ponto de entrega em alta tensão, e conseqüentemente, o espaço que será disponibilizado para a implantação da subestação 69 kV.

Figura 68 – Planta Situação



Fonte: elaborado pelo autor

### 5.3. Solução Convencional

Tendo em vista as premissas dadas no item anterior, soluções começaram a ser elaboradas. A existência de uma casa de comando com cubículos de entrada e saída, assim como transformador de serviços auxiliares, isentaria o cliente da aquisição desses itens.

O Painel de Medição e Faturamento (PMF), para mercado livre, locado dentro das instalações do empreendedor, tornou possível também a adequação do mesmo para a medição em 69 kV, dispensando a aquisição de um novo painel de medição assim como edícula de medição, estrutura para proteção e abrigo do PMF contra intempéries.

Com toda a infraestrutura existente, e o espaço disponível no interior da casa de comando, a solução técnica a ser elaborada para o atendimento desse consumidor resume-se, em contextos gerais, a:

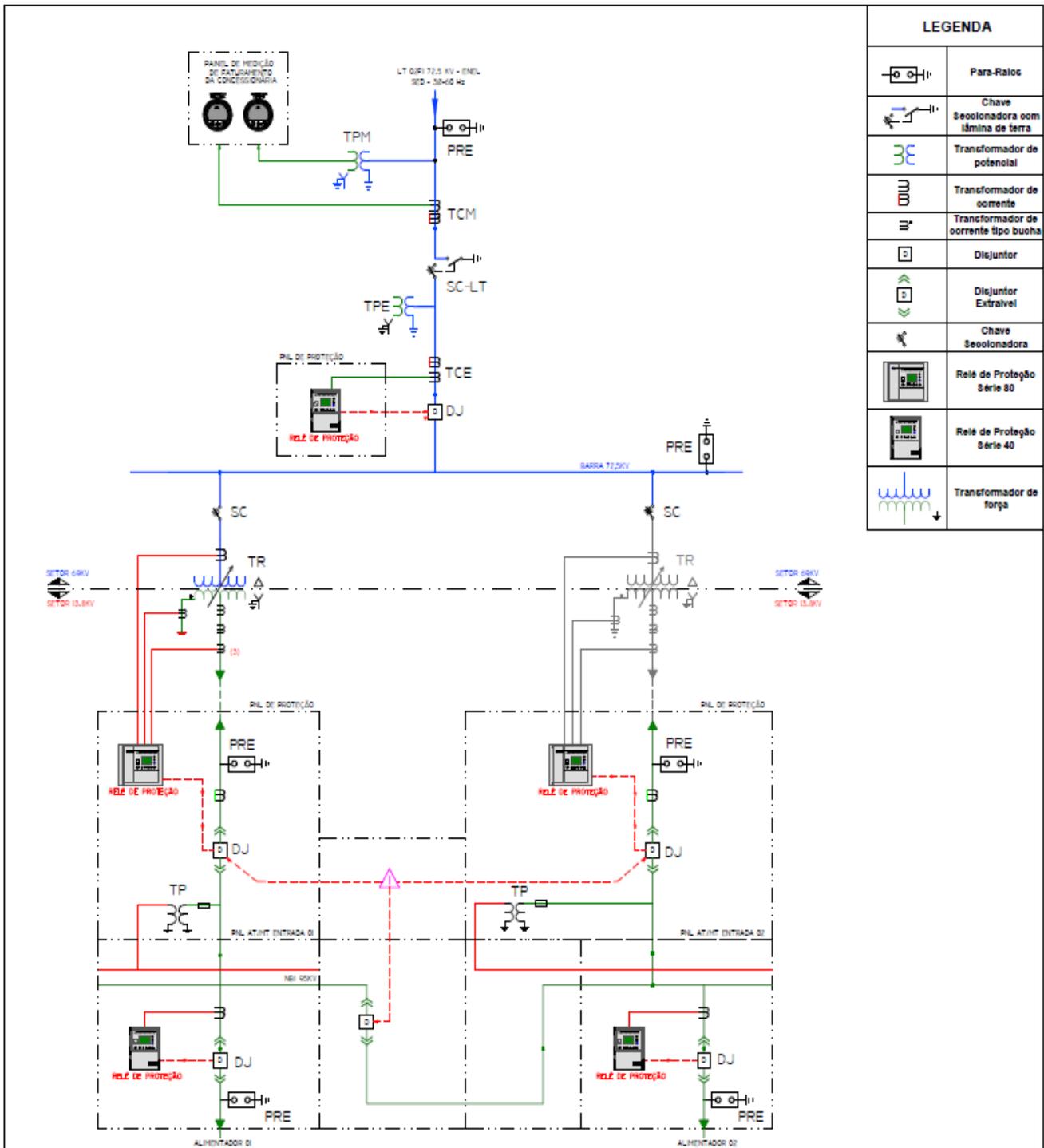
- Equipamentos de pátio em 69 kV;
- Painel de Proteção e Controle de Linha e Transformador de Força;
- Retificador com sistema de baterias, para alimentação em corrente contínua do painel de proteção e controle;
- Sistema de Supervisão e Controle para SE tipo SCADA Baseado na IEC-61850, com software Elipse Power.

Visando o pleno atendimento da carga, a solução proposta contemplaria um transformador de potência de 5/6.25 MVA (ONAN/ONAF), e espaço disponível para instalação de transformador para futura expansão de carga do consumidor. Portanto, o arranjo convencional para esse tipo de subestação industrial seria:

- Pórticos de entrada, com para-raios;
- TCs e TPs de medição;
- Chave Seccionadora com lâmina de terra, para entrada de linha;
- TCs e TPs de proteção;
- Disjuntor;
- Barramento de 69 kV;
- Chave seccionadoras; e
- Transformadores de Potência;

Na figura Figura 69 é mostrado um diagrama unifilar simplificado da subestação típica com os elementos ditos.

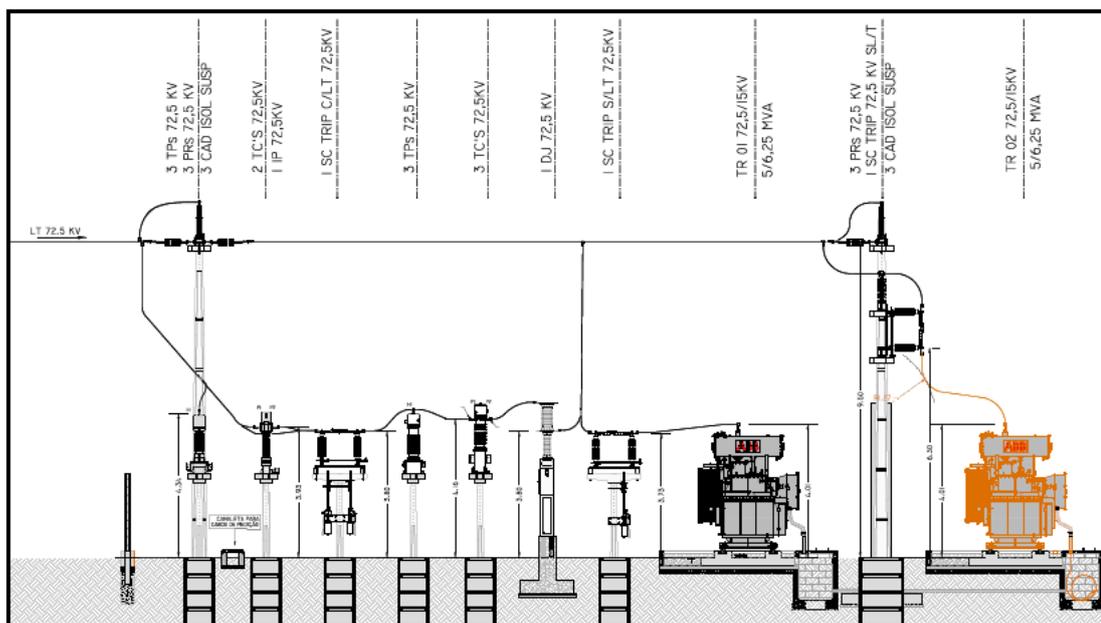
Figura 69 – Unifilar Simplificado – SE Convencional



Fonte: elaborado pelo autor

Um arranjo convencional usado para subestações industriais com dois transformadores pode ser visto na Figura 70, com parede corta fogo entre os transformadores e chave seccionadora vertical para o segundo.

Figura 70 – Arranjo convencional

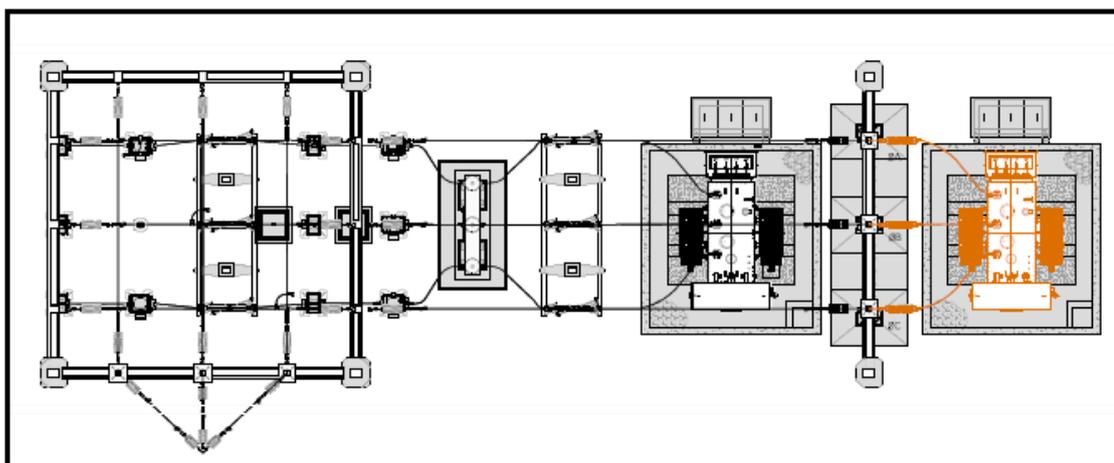


Fonte: elaborado pelo autor

No entanto, devido a condição de derivação da linha ser feita no poste mais próximo ao empreendimento, como foi mostrado na Figura 68, o arranjo convencional teve de ser alterado, mudando a posição de entrada de linha frontal para lateral, como pode ser observado em planta baixa na Figura 71.

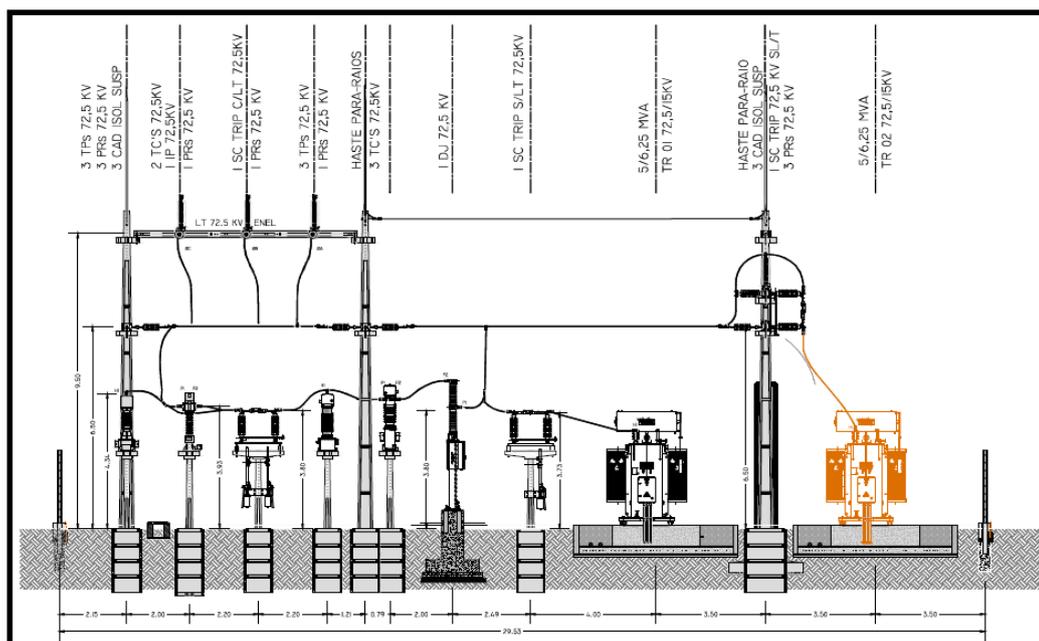
Em corte, na Figura 72, é mostrado como se da conexão entre a entrada de linha e os equipamentos, sendo necessário a sobreposição de barramentos em alturas diferentes, além do barramento comum para os transformadores.

Figura 71 – Planta Baixa Adaptada.



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 72 – Corte do Arranjo Adaptado.

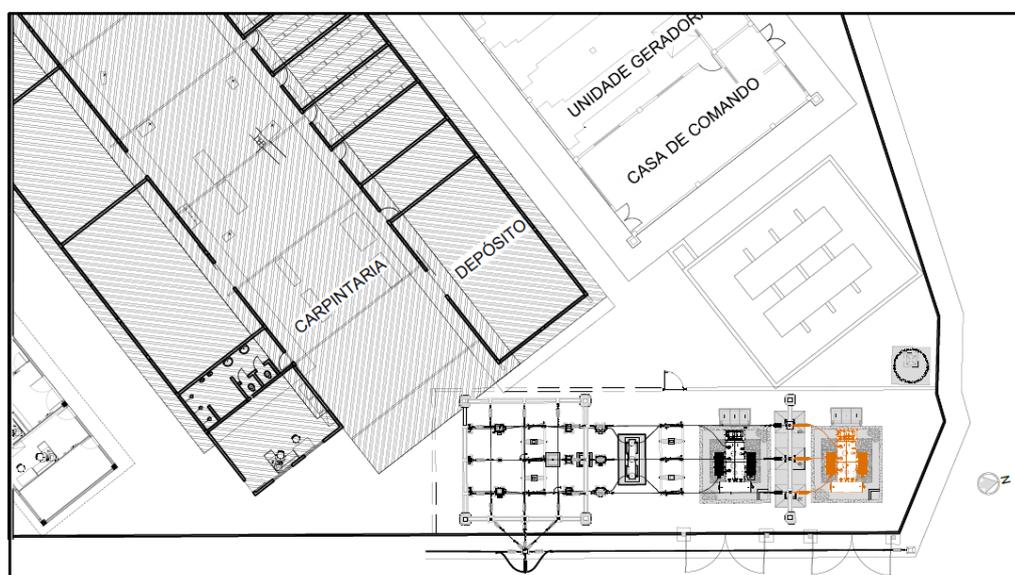


Fonte: elaborado pelo autor

Essa adaptação no arranjo gerou um acréscimo de dois postes de 12 metros, três vigas de 7 metros e duas hastes para-raios de 4 metros, além da quantidade a mais de cabos para execução dos dois níveis de barramento, suas conexões e cadeias de isoladores.

Sobrepondo a planta baixa convencional na planta localização, na Figura 73 é possível ver que parte da estrutura sobrepõe uma área a qual pertenceria a duas edificações existentes, fazendo-se necessário atividades prévias de supressão de parte dessas estruturas para a execução da infraestrutura de pátio da subestação.

Figura 73 – Áreas afetadas pelo pátio de 69 kV.



Fonte: elaborado pelo autor

As edificações existentes são um pátio de carpintaria com telhado metálico e grade de delimitação, e um depósito feito de alvenaria com teto metálico. Imagens dessas estruturas foram registradas e evidenciadas nas Figuras 74 a 76

Figura 74 – Edificação da Carpintaria.



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 75 – Grade de delimitação e teto metálico.



Fonte: elaborado pelo autor

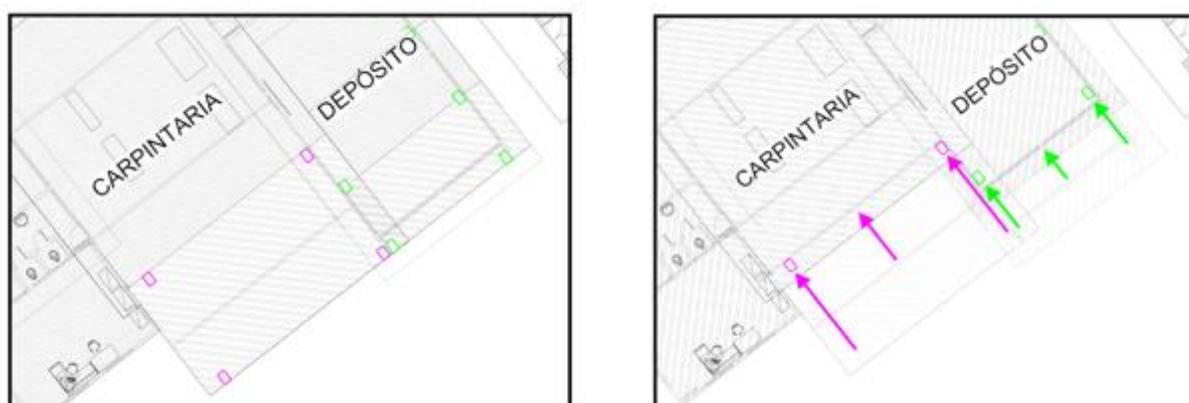
Figura 76 – Parede de alvenaria do Depósito.



Fonte: elaborado pelo autor

Analisando as imagens é possível ver a característica modular do telhado metálico, ou seja, para a remoção desse telhado seria necessário a retirada das vigas frontais e do módulo completo de telhado até as outras vigas metálicas, como é melhor detalhado na Figura 77. Já para a estrutura de alvenaria, a calçada e fechamentos, seriam necessárias demolições e reconstruções dos mesmos, em proporções equivalentes à supressão do módulo de telhado metálico.

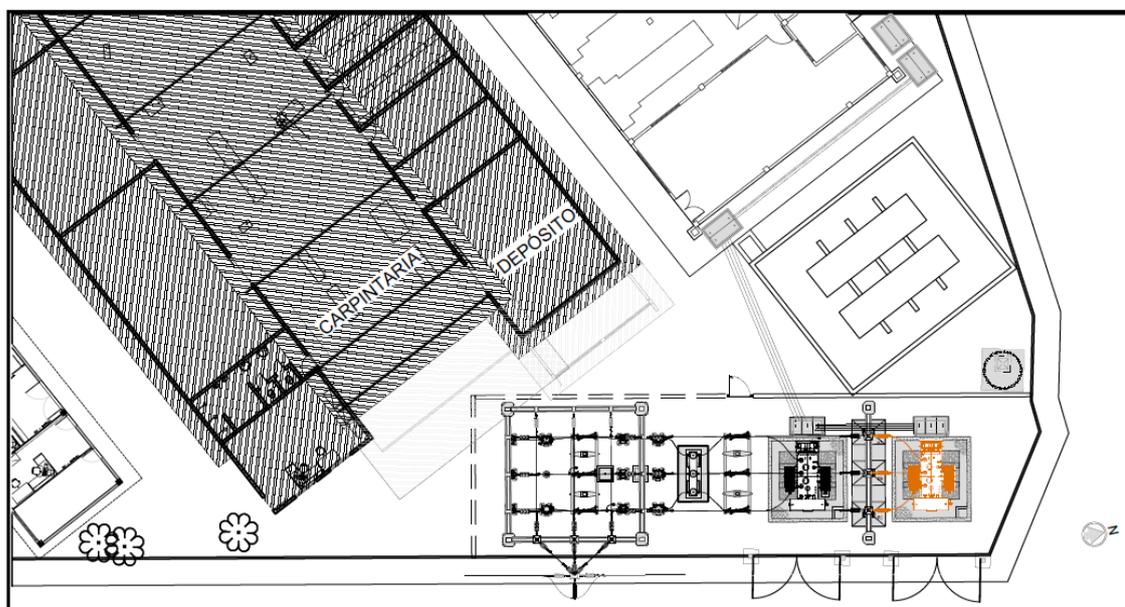
Figura 77 – Supressão de parte das edificações existentes.



Fonte: elaborado pelo autor

Portanto, considerando os serviços preliminares citados, a solução técnica proposta é mostrada em planta baixa na Figura 78, contemplando o pátio com equipamentos convencionais, muro corta fogo para segurança dos tanques de óleo, e encaminhando subterrâneo de cabos de média tensão até a casa de comando.

Figura 78 – Solução Convencional.



Fonte: elaborado pelo autor

Elaborada a solução, foi realizado o levantamento de custos para aquisição e execução da subestação. O valor do orçamento apresentado neste trabalho foi obtido com base em preços de materiais cotados no mercado, e propostas de fornecedores, sendo alguns valores adquiridos das tabelas de insumos da Secretaria de Infraestrutura do Estado do Ceará (Seinfra) (SEINFRA, [s.d.]

A elaboração do referido orçamento foi realizada levantando os custos referentes a compra dos equipamentos, materiais eletromecânicos e execução de obras conforme descrito no Anexo A. Na Tabela 2 é trazido de forma resumida os valores totais para essa subestação.

Tabela 2 – Custos para solução convencional

Descrição	Custo
Equipamentos	R\$ 1.397.410,13
Materiais Eletromecânicos	R\$ 184.467,40
Serviços e Obras	R\$ 605.524,16
<b>Total</b>	<b>R\$ 2.187.401,69</b>

Fonte: elaborado pelo autor

#### 5.4. Solução Alternativa

Após definição da solução convencional, fazendo uso inevitável de parte das estruturas que circundam a subestação, ideias de compactação começaram a surgir, visando diminuir a área de ocupação do pátio para que não fosse necessário a supressão de nenhum patrimônio do investidor.

A primeira ideia sugerida foi a supressão do segundo transformador, ou seja, não executar a base do transformador futuro reduzindo em pelo menos 7 metros o comprimento do pátio, possibilitando locar o pátio de forma a não interferir nas estruturas existentes. No entanto, em alinhamento com o setor de engenharia do empreendimento, essa opção foi descartada pois a expansão de carga era evidente, exigindo que a solução para a subestação contemplasse a possibilidade de expansão.

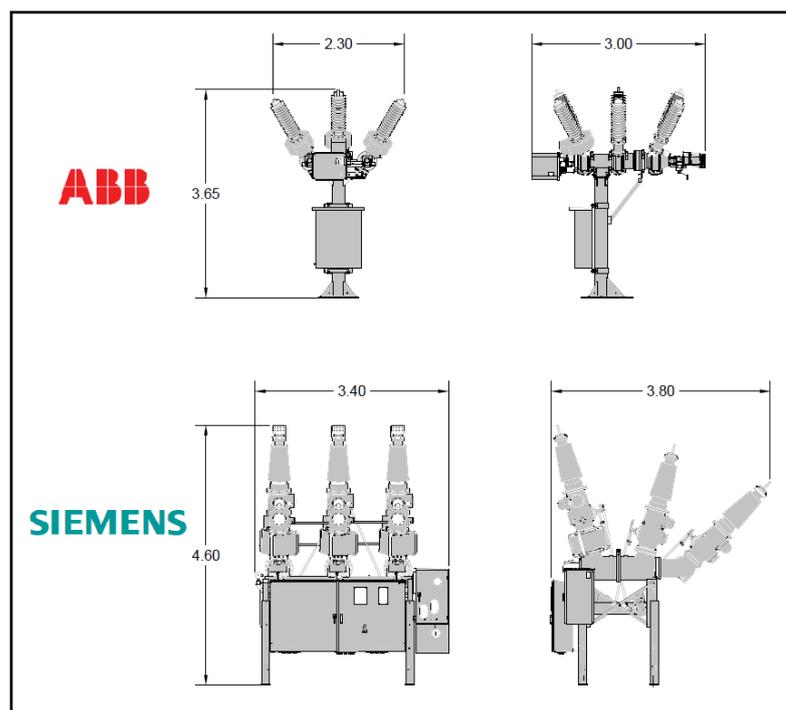
Mudar a localização da subestação visando um espaço maior para implantação do pátio foi outra opção que entrou em debate, contudo, em AVT foi sugerido a derivação da linha existente no ponto mais próximo ao empreendimento, como ponto de conexão em alta tensão, logo tornando essa opção inviável.

Todavia, com resultados da prospecção de novas tecnologias para compactação de subestações, a solução com tecnologia híbrida se mostrou viável tecnicamente para esse empreendimento. Proporcionando a junção de equipamentos em um único módulo compacto, um equipamento híbrido poderia reduzir o arranjo convencional e permitir a execução do pátio da subestação em uma área menor.

Avaliando os equipamentos presentes no arranjo proposto, um módulo compacto poderia substituir as chaves seccionadoras, disjuntor e transformador de corrente. Com as exigências de contemplar a previsão de transformador futuro, o módulo híbrido deveria ser do tipo DBB (Double Busbar), ou seja, barramento duplo.

Foi solicitado proposta aos três fornecedores citados no Capítulo 3, buscando o equipamento que melhor se adequava técnica e financeiramente à solução que era buscada. Houve propostas somente de dois dos três fornecedores, ABB e SIEMENS, onde foram apresentados seus equipamentos, respectivamente, PASS M00 DBB e DTC 72.5 kV. Na Figura 79 é possível ver os desenhos dimensionais dos equipamentos cotados.

Figura 79 – Dimensionais do PASS e DTC.



Fonte: elaborado pelo autor

Pela imagem é possível ver que o PASS tem dimensões inferiores ao DTC, portanto no quesito compactação, o equipamento da ABB se saiu melhor. Outro fator preponderante na comparação entre os dois módulos foi o preço. Como pode ser observado na Figura 80 os valores contidos nas propostas de cada fornecedor mostram que o PASS é mais atrativo financeiramente que o DTC.

Portanto o equipamento utilizado para composição da solução em projeto básico foi o PASS M00 DBB da ABB, cujo funcionamento já foi apresentado no Capítulo 3 deste trabalho. O módulo contempla:

- Um (01) Disjuntor com acionamento tripolar;
- Três (03) Chaves Seccionadoras;
- Duas (2) Lâmina de aterramento;
- Três (03) Transformadores de Corrente tipo toroidal, monofásicos; e
- Um (01) Cubículo de controle local.

Dadas essas definições, o arranjo básico foi novamente montado, utilizando o módulo híbrido da ABB, que pode ser visto em planta baixa na Figura 81 e em corte na Figura 82.

Figura 80 – Propostas PASS e DTC.

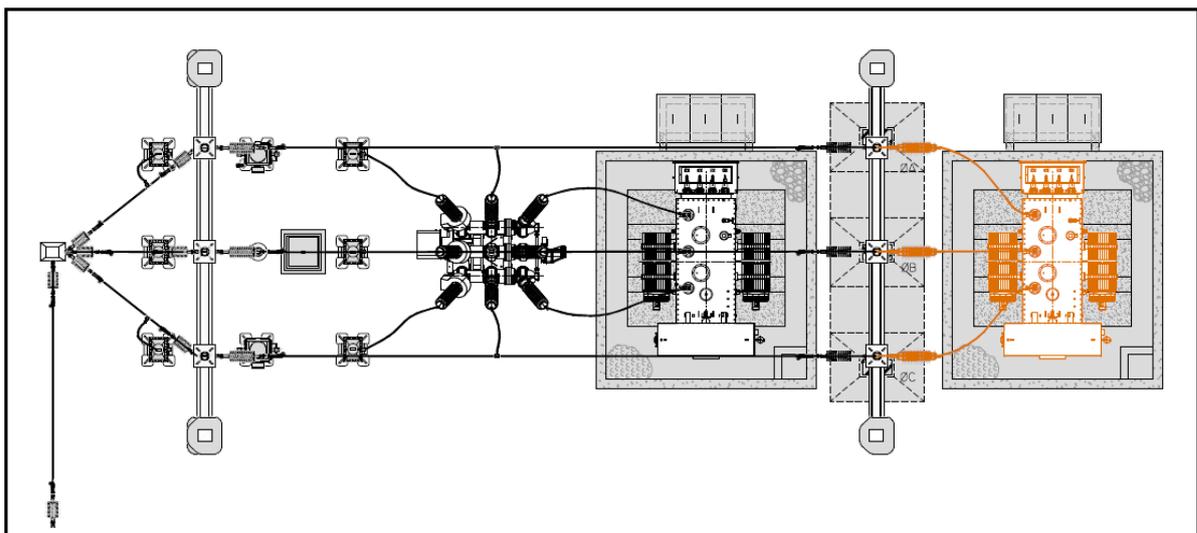
<b>ABB</b>				
Nº	DESCRIÇÃO	QTD	PREÇO UNITÁRIO (R\$)	PREÇO TOTAL (R\$)
10	Módulo Híbrido, a gás SF6, marca ABB, modelo PASS M00 DBB, Corrente Nominal 2000 A, Capacidade de Interrupção 31,5 kA, Religamento Tripolar, com 03 seccionadora combinadas a 2 lâminas de aterramento (uma a jusante e outra a montante do disjuntor), com 3 Transformadores de corrente na bucha de entrada	1	612.567,00	612.567,00

<b>SIEMENS</b>					
Item	Qtde.	Descrição	Prazo de Entrega	Preço Unitário R\$	Preço Total R\$
1	1	Módulo Híbrido Compacto DTC 72.5kV FG Módulo compacto tipo barra dupla 3 chaves, acionamento tripolar, isolado a SF6, tensão nominal, 72.5kV, NBI 350kV, corrente nominal 2500A, corrente de curto-circuito 31.5kA, mecanismo de acionamento à mola para o disjuntor, isolador do tipo porcelana, distancia de escoamento 25mm/kV, composto por 1x TC de bucha por fase, 1x chave seccionador de entrada da linha sem lamina de terra - T1 e 1x chaves seccionadoras sem lamina de terra - T3 e 01x chave de três posições com lamina de terra - T2 e 1x disjuntor.	11 meses	868,000.00	868,000.00

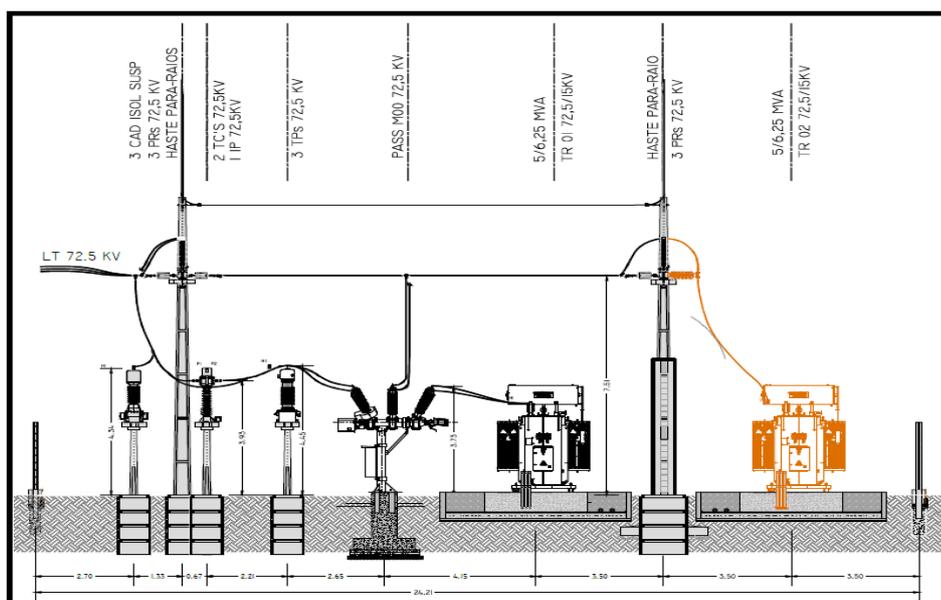
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 81 – Arranjo Básico com PASS – Planta Baixa.



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 82 – Arranjo Básico com PASS – Cortes

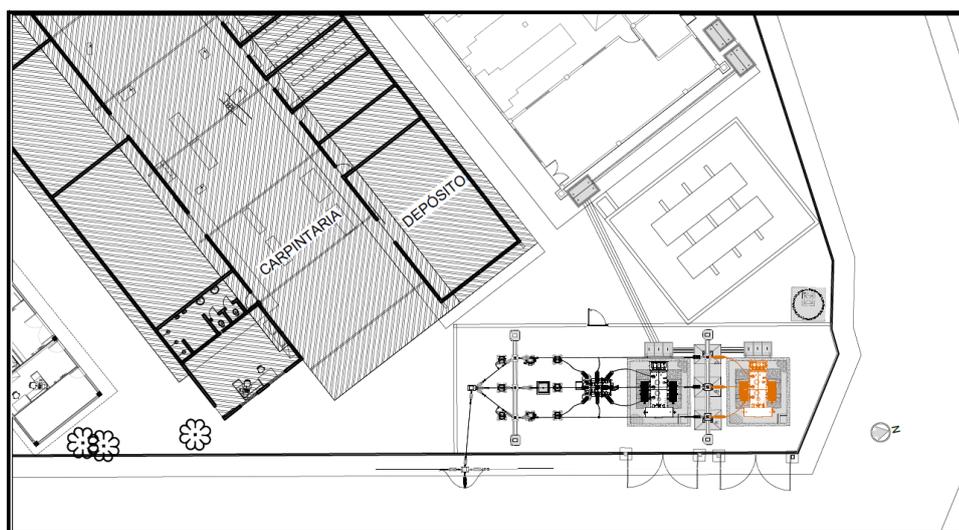


Fonte: elaborado pelo autor

Como pode ser visto, o arranjo utilizando o módulo híbrido se tornou mais simples, contendo apenas um barramento, quatro postes e duas vigas; além da redução na quantidade de hastes para-raios, cadeia de isoladores e condutores aéreos.

A solução proposta, contemplando um equipamento que substituiria outros 4 equipamentos (TCs, duas chaves seccionadoras e disjuntor), possibilitou a redução de 5 metros no comprimento total do pátio, permitindo sua execução no espaço disponibilizado sem a necessidade de supressão das edificações próximas, como é possível ver em planta baixa na Figura 83.

Figura 83 – Solução Híbrida



Fonte: elaborado pelo autor

Realizada novamente a composição da solução técnica, foi elaborada a planilha de custos para aquisição e execução dessa ideia. Tomando como base os mesmos parâmetros utilizados na composição de custo da solução convencional, o Anexo B contempla de forma detalhada todos os quantitativos que são apresentados de forma resumida na Tabela 3.

Tabela 3 – Custos para solução Híbrida

<b>Descrição</b>	<b>Custo</b>
Equipamentos	R\$ 1.789.477,13
Materiais Eletromecânicos	R\$ 99.135,80
Serviços e Obras	R\$ 318.597,82
<b>Total</b>	<b>R\$ 2.207.210,75</b>

Fonte: elaborado pelo autor

Fazendo-se uma comparação entre os valores mostrados na Tabela 2 e 3, referentes respectivamente às soluções convencional e híbrida, pode-se perceber uma diferença de R\$ 19.809,06 entre ambas, cerca de 1% do custo total da solução convencional.

Contudo, a opção de compactação com possibilidade de execução da infraestrutura sem a necessidade de suprimir parte de edificações existentes, garantindo a plena continuidade das rotinas de trabalho do empreendimento, tornou a proposta com Módulo PASS a solução mais atrativa. Além disso, a utilização do equipamento híbrido, garante maior confiabilidade ao sistema, diminuindo a quantidade de pontos de defeitos, postergando serviços de manutenção, garantindo um excelente desempenho e robustez à planta durante um longo período.

#### **5.4. Considerações Finais**

No capítulo foi apresentado, de forma sucinta, a composição de uma solução técnica para subestação de 69 kV, utilizando equipamento com tecnologia híbrida, mostrando-a como opção alternativa à solução de subestação convencional. A condição de espaço reduzido para execução, assim como benefícios técnicos, tornaram a solução compacta atrativa, justificando sua aquisição mesmo está se apresentando mais cara.

## 6. CONCLUSÃO

O presente trabalho se propôs a apresentar aspectos relevantes acerca de uma tecnologia, denominada híbrida, que tem como objetivo compactar infraestruturas de fornecimento de energia elétrica, reduzir sua área de implantação e manter a mesma funcionalidade das subestações convencionais.

Como revisão bibliográfica foi apresentado as classificações, características e principais elementos que compõem uma subestação elétrica, esclarecendo conceitos sobre os equipamentos convencionais. As informações foram explanadas de forma clara e objetiva para que pudessem ser ferramentas para pleno entendimento das premissas da tecnologia híbrida.

A tecnologia estudada se baseia na junção das funcionalidades dos equipamentos convencionais, em um único módulo isolado a gás SF<sub>6</sub>, garantindo maior segurança operacional, compactação e aumento dos intervalos de manutenção. Foi apresentado de forma detalhada três equipamentos híbridos, que são comercializados no país, mostrando suas principais características e modos de operação.

Utilizando artigos de autores nacionais, foi apresentado aplicações da tecnologia híbrida em subestações de concessionárias de energia, evidenciando o crescimento da utilização dessa tecnologia, assim como as vantagens de sua aplicação quando se trata de redução de espaço.

De forma resumida foi apresentada solução técnica, utilizando um módulo híbrido, para subestação abaixadora 72.5/13.8 kV industrial. Para execução de subestação convencional, foi observado que o espaço disponível era reduzido, gerando a necessidade da supressão de partes de estruturas vizinhas existentes. Logo foi elaborada solução compacta, utilizando tecnologia híbrida, reduzindo a área de implantação do pátio, permitindo a execução da subestação sem interferências em arquiteturas existentes, e com preço de custo competitivo.

A partir do estudo apresentado conclui-se que a aplicação de soluções compactas, utilizando equipamentos híbridos, possibilita redução na área de execução com consequente diminuição de obras civis e materiais, flexibilidade dos arranjos além do aumento da confiabilidade do sistema possibilitar e benefícios estéticos às infraestruturas.

Como sugestão para trabalhos futuros acerca do tema abordado, sugere-se:

- Estudo de viabilidade técnica, evidenciando o *pay-back* da aquisição de subestação híbrida, considerando o valor do metro quadrado da área não utilizada;
- Substituição de cabos de barramentos por tubos de alumínio rígido, visando

a diminuição de distâncias entre fase-fase e fase-terra, aliado à tecnologia híbrida para compactação de subestações;

- Elaboração do projeto de interligação, controle e automação de subestações com módulos híbridos;
- Estudo acerca da utilização da tecnologia híbrida combina a containers de média tensão, em substituição às casas de comando.
- Estudo do impacto da maior complexidade da manutenção dos módulos compactos em relação aos equipamentos convencionais e o custo envolvido
- Estudo comparativo detalhado entre subestações híbridas e ultracompactas com tecnologia GIS, evidenciando vantagens e desvantagens de soluções compactas.

## BIBLIOGRAFIA

A ABB lança inovador módulo de alta tensão para subestações de transmissão de energia.

Disponível em:

<<http://www.abb.com.br/cawp/seitp202/41de81faec9d793d83257b5d006eea21.aspx>>. Acesso em: 6 mar. 2019.

ABB. Equipamentos de Alta Tensão Isolados a Ar | ABB. Disponível em:

<<https://new.abb.com/high-voltage/pt/AIS>>. Acesso em: 2 abr. 2019.

ABB. Manual PASS Family: Innovate Solutions for Distribution Substations. p. 200, 2011.

ABB. ABB faz primeira instalação do painel de distribuição com novo gás ecoeficiente.

Disponível em:

<<http://www.abb.com.br/cawp/seitp202/de484d71b984084783257eae0040e892.aspx>>.

Acesso em: 12 maio. 2019.

ABNT. NBR IEC 62271-102: Seccionadores e chaves de aterramento, 2006.

ABNT. No Title NBR 16050: Para-raios de resistor não linear de óxido metálico sem centelhadores, para circuitos de potência de corrente alternada - Procedimento, 2012.

ABNT. NBR 6856: Transformador de corrente - Especificação e ensaios, 2015.

ABNT. NBR 5356-7: Transformadores de potência, 2017.

ABNT. NBR 6855: Transformador de potencial indutivo - Requisitos e ensaios, 2018.

ACADEMY, T. Estudo comparativo de tecnologias aplicadas em Subestações Industriais. v. 1, p. 168, [s.d.].

ÁLVARES, R. C. Diagnóstico de Falhas em Pára-raios Utilizando Termografia Universidade Federal de Minas Gerais. p. 119, 2008.

ANEEL. RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 414, DE 9 DE SETEMBRO DE 2010. [s.l: s.n.].

Disponível em:

<<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/bren2010414.pdf/3bd33297-26f9-4ddf-94c3-f01d76d6f14a?version=1.0>>. Acesso em: 11 jun. 2019.

BALESTRO. Para-raios | Balestro. Disponível em: <<http://www.balestro.com.br/para-raios/>>.

Acesso em: 5 mar. 2019.

BOZZI, F. DE A. Trabalho de Subestações. p. 26, 2011.

CIGRE, S. Innovative Substations with high availability using modules and disconnecting circuit breakers CIGRE SESSIONA 2000, , 2000.

DUAILIBE, P. Subestações : Tipos , Equipamentos e Proteção. Consultoria para Uso Eficiente de Energia, p. 1–85, 1999.

ELÉTRICA, A. Subestações de energia, 2019.

ELETROMAX. Entenda o que é o SF6. Disponível em:

<<http://www.eletromax.com.br/index.asp?InCdSecao=5&InCdEditoria=1&InCdMateria=232&Entenda+o+que+%E9+o+SF6>>. Acesso em: 10 maio. 2019.

ENEL. Especificação Técnica - Subestação de Distribuição Aérea Semi-abrigada 72,5 – 15 kV. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.eneldistribuicao.com.br/ce/documentos/CNS-OMBR-MAT-18-0144-EDCE.pdf>>. Acesso em: 26 maio. 2019.

EPE. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018 no ano base de 2017. p. 249, 2018.

F.N, F. DESAFIOS PARA IMPLANTAÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS DE SUBESTAÇÕES NA REDE BÁSICA BRASILEIRA F . N , Fraga ; A . V , Godoy ; A . E . A . L . Calazans ; R . O , Melo Chesf PE / Brasil PADRONIZAÇÃO DOS PROJETOS DE SUBESTAÇÕES Subestação. p. 1–8, 2014.

(FRANCO. Análise de Desempenho de Pára-raios de SiC com Invólucros de Porcelana

Instalados nas Redes de Distribuição da Energisa MG. Jorge L. Franco; Sanderson R. Abreu, Ítalo C. Tavares, Marcel A. de A. Romano. IV Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos. Goiânia. p. 1-7, 2012.

GE. HYpact Operating Instructions. v. 7, n. 206, 2005.

GE. HYpact. p. 24, 2017.

GUMEDE. Surge Arrester Faults and Their Causes at EThekwini Electricity. M. Gumede, G. Frederick d'Almaine. International Journal of Electrical Energy, Vol 2, No 1. p.1-6. Março, 2014

IBGE. IBGE: Produção industrial cresce 2,5% em 2017 após três anos de queda Este trecho é parte de conteúdo que pode ser compartilhado utilizando o link <https://www.valor.com.br/brasil/5299179/ibge-producao-industrial-cresce-25-em-2017-apos-tres-anos-de-queda> o. Disponível em: <<https://www.valor.com.br/brasil/5299179/ibge-producao-industrial-cresce-25-em-2017-apos-tres-anos-de-queda>>.

IEC. IEC 60050-441: International Electrotechnical Vocabulary. Switchgear, controlgear and fuses, 1984.

IEC. IEC 60044-1: Current transformers International Standard, , 1996.

IEEE. IEEE Std C57.13-2008 (Revision of IEEE Std C57.13-1993) IEEE Standard Requirements for Instrument Transformers. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1L6G66RZ1-2BZQMV1-1HC5/IEEE>>. Acesso em: 9 mar. 2019.

INFOESCOLA. Transformadores - Física e Eletricidade - InfoEscola. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/eletricidade/transformadores/>>. Acesso em: 12 abr. 2019.

INTERNACIONAIS, A. C.; TOVAR, C. Abinee tec 2005. p. 1–14, 2005.

JESUS, M. B. DE; YOKOGAWA, R.; OLIVEIRA, T. DE. Análise do desempenho de uma subestação isolada a gás em comparação a uma subestação convencional. 2017.

KAJIKAWA, C. O. Aplicação de Tecnologia em Subestação Compacta Abrigada. p. 6, 2008.

KLADT, A. SE Alumar - Uma experiência prática na aplicação de novas tecnologias. p. 6, 2001.

MAMEDE, J. Manuais de Equipamentos Elétricos. 4th. ed. Rio de Janeiro: [s.n.].

MARDEGAN, C. Proteção e Seletividade. 1th. ed. São Paulo: [s.n.].

MINULIGHT. Transformador de Corrente Tipo Barra Incorporada. Disponível em: <<https://www.minulight.com.br/energia-eletrica/transformadores/transformador-de-corrente-tipo-barra-incorporada/>>. Acesso em: 8 mar. 2019.

OKUTBO, H. Future Technical Perspectives For Electric Power Equipment Substation (N. University, Ed.)TokyoCIGRE SC A3 & B3, , 2005.

ONS. Procedimento de Rede: Submódulo 2.3 - Requisitos mínimos para transformadores e para subestações e seus equipamentos. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.ons.org.br>>. Acesso em: 27 abr. 2019.

PFIFFNER. Transformadores de Corrente. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://www.pfiffner.com.br/fileadmin/user\\_upload/Produktprospekt\\_HS-JOF\\_PT\\_WEB.pdf](https://www.pfiffner.com.br/fileadmin/user_upload/Produktprospekt_HS-JOF_PT_WEB.pdf)>. Acesso em: 8 mar. 2019a.

PFIFFNER. Transformadores de Tensão. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[http://www.pfiffner.com.br/fileadmin/files/documents/20\\_products/EOF\\_PT.pdf](http://www.pfiffner.com.br/fileadmin/files/documents/20_products/EOF_PT.pdf)>. Acesso em: 9 mar. 2019b.

Protocolo de Kyoto - Protocolo de Kyoto. Disponível em: <<http://protocolo-de-kyoto.info/>>. Acesso em: 23 maio. 2019.

SÁ, R. DE L. E. XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica SENDI 2008 - Estado de Arte das subestações no mundo e sua inserção no Brasil. p. 6, 2008.

SCHAK. Chave Seccionadora Tripolar Modelo SFT | Schak. Disponível em:

<<http://schak.com.br/?product=chave-seccionadora-tripolar-modelo-sft>>. Acesso em: 12 mar. 2019.

SEINFRA. Secretaria da Infraestrutura - Secretaria da Infraestrutura. Disponível em:

<<https://www.seinfra.ce.gov.br/>>. Acesso em: 30 maio. 2019.

SIEMENS. DTC - Instruções de operação. p. 136, 2012.

SIHVENGER, C. Manuseio, Segurança e Manutenção de Hexafluoreto de Enxofre (SF<sub>6</sub>) em Equipamentos Elétricos Grupo de trabalho D1.01. [s.l: s.n.]. Disponível em:

<[http://www.cigre.org.br/archives/BT\\_10\\_final.pdf](http://www.cigre.org.br/archives/BT_10_final.pdf)>. Acesso em: 14 maio. 2019.

TRABALHO, M. DO. NORMA REGULAMENTADORA 10 - NR 10. Disponível em:

<<http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr10.htm>>. Acesso em: 23 abr. 2019.

TRISUL, U. Como é feita a distribuição de energia elétrica no Brasil? Disponível em:

<<http://www.universidadetrisul.com.br/fases-de-obra/instalacoes-eletricas/como-e-feita-a-distribuicao-de-energia-eletrica-no-brasil>>. Acesso em: 11 mar. 2019.

VASSILIEFF, A. Equipamento Híbrido para Subestação de Energia Osasco, 2010.

WEG. Geração, Transmissão e Distribuição. Disponível em:

<[https://www.weg.net/catalog/weg/LA/pt/Gera%C3%A7%C3%A3o%20e%20Transmiss%C3%A3o%20e%20Distribui%C3%A7%C3%A3o/c/GLOBAL\\_GTD](https://www.weg.net/catalog/weg/LA/pt/Gera%C3%A7%C3%A3o%20e%20Transmiss%C3%A3o%20e%20Distribui%C3%A7%C3%A3o/c/GLOBAL_GTD)>. Acesso em: 15 mar. 2019.

## ANEXO A – PLANILHAS DE CUSTO SOLUÇÃO CONVENCIONAL

Tabela 4 – Custos de equipamentos - Convencional

REF	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	UND	TOTAL	VR. UNIT. (R\$)	VR. TOTAL (R\$)
1	TRANSFORMADOR DE FORÇA TRIFÁSICO, 69-13,8kV, 5/6,25 MVA, C/ COMUTADOR SEM CARGA; ONAN/ONAF	PÇ	1	R\$ 831.200,00	R\$ 831.200,00
2	DISJUNTOR TRIPOLAR, SF6 72,5 kV, 1.250 A, 31,5 KA NBI: 350 Kv	PÇ	1	R\$ 95.700,00	R\$ 95.700,00
3	SECCIONADOR TRIP. 72,5 kV, 1.250 A, 25 KA, MONTAGEM HORIZONTAL BAIXA ABERT. CENTRAL, C/LÂMINA DE TERRA	PÇ	1	R\$ 27.500,00	R\$ 29.500,00
4	SECCIONADOR TRIP. 72,5 kV, 1.250 A, 25 KA, MONTAGEM HORIZONTAL BAIXA ABERT. CENTRAL, S/LÂMINA DE TERRA	PÇ	1	R\$ 23.600,00	R\$ 23.600,00
5	SECCIONADOR TRIP. 72,5 kV, 1.250 A, 25 KA, MONTAGEM VERTICAL ALTA ABERT. CENTRAL, S/LÂMINA DE TERRA	PÇ	1	R\$ 24.000,00	R\$ 24.000,00
5	TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA, TIPO OTEF-72, 69000V33-115/V3/115-115/V3/115 V	PÇ	3	R\$ 15.500,00	R\$ 46.500,00
6	PARA-RAIOS, ZnO, TIPO ESTAÇÃO, 72,5 kV, 10 KA, CLASSE DE DESCARGA 2	PÇ	6	R\$ 1.580,00	R\$ 9.480,00
7	TRANSF. DE CORRENTE; PROTEÇÃO, 72,5 kV, 200/300/*400x400/600/800-5-5A; 0,3C50/10B200	PÇ	3	R\$ 15.900,00	R\$ 47.700,00
8	PAINEL DE MÉDIA TENSÃO METÁLICO ISOLADO A AR; MODELO EVOTECH TIPO AUTOPORTANTE COM GRAU DE PROTEÇÃO IP3X. CORRENTE NOMINAL In = 1250A E CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO MÁXIMA Icc = 25 kA.	PÇ	1	R\$ 160.230,13	R\$ 160.230,13
9	QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO EM CORRENTE ALTERNADA, TIPO SOBREPOR, FABRICADO EM CHAPA DE AÇO, PINTURA EM PÓ, COM BORRACHA DE VEDAÇÃO NA PORTA, C/ PROTEÇÃO FRONTAL DO BARRAMENTO EM ACRÍLICO, FORNECIDO COM BARRAMENTOS, CANALETAS, TRILHOS, DISJUNTORES, DR E DPS DE ACORDO COM O DESENHO.	PÇ	1	R\$ 2.500,00	R\$ 2.500,00
10	QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO EM CORRENTE CONTÍNUA, TIPO SOBREPOR, FABRICADO EM CHAPA DE AÇO, PINTURA EM PÓ, COM BORRACHA DE VEDAÇÃO NA PORTA, C/ PROTEÇÃO FRONTAL DO BARRAMENTO EM ACRÍLICO, FORNECIDO COM BARRAMENTOS, CANALETAS, TRILHOS E DISJUNTORES, DE ACORDO COM O DESENHO.	PÇ	1	R\$ 2.500,00	R\$ 2.500,00
11	RETIFICADOR / CARREGADOR DE BATERIAS, MODELO CIB S 125V/60A, ENTRADA 380VCA/3F+N/60HZ, SAÍDA 125VCC/60A Retificador / COMPOSTO POR 4 UNIDADES RETIFICADORAS RT12 125Vcc/17A	PÇ	1	R\$ 41.950,00	R\$ 48.000,00
12	BANCO DE BATERIAS "ESTACIONÁRIAS", CHUMBO-ÁCIDAS, REGULADA À VÁLVULA (SELADA), 10 ELEMENTOS DE 12V, MONTADAS EM RACK METÁLICO; TENSÃO NOMINAL DE 125 VCC; CAPACIDADE 100 A/H; AUTONOMIA MÍNIMA 2 H	PÇ	1	R\$ 41.950,00	R\$ 48.000,00
13	ELIPSE POWER HMI 500, VIEWER ONLY E DRIVER MODICON MODBUS MASTER	PÇ	1	R\$ 23.500,00	R\$ 23.500,00
14	NOTBOOK PARA SISTEMA SCADA	PÇ	1	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00
<b>TOTAL</b>					<b>R\$ 1.397.410,13</b>

Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 5 – Custos de materiais - Convencional

REF	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	UND	TOTAL	VR. UNIT. (R\$)	VR. TOTAL (R\$)
	<b>CONDUTORES</b>				
C-1	CABO DE LIGA DE ALUMÍNIO NU 160 mm <sup>2</sup> (266,8 CAA), 19 FIOS, TÊMPERA MEIO DURA, MASSA LINEAR 0,435 kg/m	M	120	R\$ 26,90	R\$ 3.228,00
C-3	CABO DE COBRE NU 70 mm <sup>2</sup> , 19 FIOS, TÊMPERA MEIO DURA, MASSA LINEAR 0,606 kg/m	kg	477	R\$ 54,30	R\$ 25.901,10
C-10	CABO DE COBRE ISOLADO EPR, 8,6/15 KV, 25 mm <sup>2</sup>	m	94	R\$ 33,60	R\$ 3.158,40
C-14	CABO, CU ISOL; EPE 90°; 12/20 KV; 120 mm <sup>2</sup>	m	125	R\$ 48,60	R\$ 6.075,00
C-19	CORDOALHA PARA ATERRAMENTO; EHS 3/8"	m	80	R\$ 54,30	R\$ 4.344,00
C-20	CABO DE COBRE ISOLAMENTO EM PVC 0,6/1 kV, 35mm <sup>2</sup>	m	150	R\$ 12,60	R\$ 1.890,00
C-23	CABO, CU NU; BITOLA 25 mm <sup>2</sup>	kg	2	R\$ 54,30	R\$ 108,60
C-45	FIO DE COBRE 4 mm <sup>2</sup> , ISOLAMENTO EM PVC, 750 V	m	4	R\$ 2,15	R\$ 8,60
-	CABO CU ISOL EM PVC, 0,6/1KV, 3x4mm <sup>2</sup> , CLASSE DE ENCORDOAMENTO 5	m	1080	R\$ 9,09	R\$ 9.817,20
-	CABO CU ISOL EM PVC, 0,6/1KV, 2x4mm <sup>2</sup> , CLASSE DE ENCORDOAMENTO 5	m	620	R\$ 6,25	R\$ 3.875,00
-	CABO DE CU ISOL EM PVC, 0,6/1KV, 5x4mm <sup>2</sup> , CLASSE DE ENCORDOAMENTO 5	m	960	R\$ 10,50	R\$ 10.080,00
	<b>ATERRAMENTO</b>				
T-1	CHAPA, CURVA, ATERR; CAZ; D=22 mm	PÇ	21	R\$ 3,50	R\$ 73,50
T-3	CHAPA, CURVA, ATERR, CAZ, D=14 mm	PÇ	6	R\$ 3,50	R\$ 21,00
T-4	HASTE PÁRA-RAIOS, L-50x6x4500 mm	PÇ	6	R\$ 90,00	R\$ 540,00
T-5	HASTE DE ATERRAMENTO, AÇO COBREADO (3/4") 19 mm x 3.000 mm; CAMADA ALTA (254µm), CONFORME NORMA NBR 13571	PÇ	12	R\$ 44,20	R\$ 530,40
T-6	CARTUCHO METAL DE SOLDA PARA CONEXÃO DE CABOS DE COBRE NÚ, PELO PROCESSO EXOTÉRMICO, FORNECIDO EM EMBALAGEM APROPRIADA COM PÓ DE IGNIÇÃO NO FUNDO, TAMANHO 200 G	PÇ	12	R\$ 15,00	R\$ 180,00
T-7	CARTUCHO METAL DE SOLDA PARA CONEXÃO DE CABOS DE COBRE NÚ, PELO PROCESSO EXOTÉRMICO, FORNECIDO EM EMBALAGEM APROPRIADA COM PÓ DE IGNIÇÃO NO FUNDO, TAMANHO 90 G	PÇ	84	R\$ 15,00	R\$ 1.260,00
T-8	CARTUCHO METAL DE SOLDA PARA CONEXÃO DE CABOS DE COBRE NÚ, PELO PROCESSO EXOTÉRMICO, FORNECIDO EM EMBALAGEM APROPRIADA COM PÓ DE IGNIÇÃO NO FUNDO, TAMANHO 115 G	PÇ	16	R\$ 15,00	R\$ 240,00
T-11	CARTUCHO METAL DE SOLDA PARA CONEXÃO DE CABOS DE COBRE NÚ, PELO PROCESSO EXOTÉRMICO, FORNECIDO EM EMBALAGEM APROPRIADA COM PÓ DE IGNIÇÃO NO FUNDO, TAMANHO 250 G	PÇ	13	R\$ 15,00	R\$ 195,00
T-27	IGNITOR PARA SOLDA EXOTERMICA (SACO COM 10 UNIDADES)	PÇ	12	R\$ 10,15	R\$ 121,80
T-28	MOLDE PARA SOLDA EXOTÉRMICA TIPO "XSH" ENTRE CABOS DE 70 mm <sup>2</sup> - ALICATE Z-201	PÇ	3	R\$ 110,00	R\$ 330,00
T-29	MOLDE PARA SOLDA EXOTÉRMICA TIPO "HXS" ENTRE CABOS DE 70 mm <sup>2</sup> E HASTE DE 3/4" - ALICATE Z-201	PÇ	2	R\$ 110,00	R\$ 220,00
T-30	MOLDE PARA SOLDA EXOTÉRMICA TIPO "CDH" ENTRE CABOS DE 70 mm <sup>2</sup> - ALICATE Z-201	PÇ	4	R\$ 110,00	R\$ 440,00
T-31	MOLDE PARA SOLDA EXOTÉRMICA TIPO "HTH" ENTRE CABOS DE 70 mm <sup>2</sup> E HASTE DE 3/4" - ALICATE Z-201	PÇ	2	R\$ 110,00	R\$ 220,00

REF	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	UND	TOTAL	VR. UNIT. (R\$)	VR. TOTAL (R\$)
T-32	MOLDE PARA SOLDA EXOTÉRMICA TIPO "HCJ" ENTRE CABOS DE 70 mm <sup>2</sup> E HASTE DE 3/4" - ALICATE Z-201	PÇ	2	R\$ 110,00	R\$ 220,00
T-33	MOLDE PARA SOLDA EXOTÉRMICA TIPO "TED" ENTRE CABOS DE 70 mm <sup>2</sup> E HASTE DE 3/4" - ALICATE Z-201	PÇ	4	R\$ 110,00	R\$ 440,00
T-37	LIMPADOR DE MOLDE DE SOLDA EXOTÉRMICA	PÇ	7	R\$ 7,50	R\$ 52,50
T-38	ESCOVA DE AÇO PLANO PARA LIMPEZA DE MOLDE DE SOLDA EXOTÉRMICA	PÇ	4	R\$ 9,00	R\$ 36,00
T-39	MASSA DE VEDAÇÃO PARA MOLÇDES DE SOLDA EXOTERMICA, FORNECIDO EM SACOS DE 1KG	PÇ	3	R\$ 10,00	R\$ 30,00
<b>ELETRODUTOS E ACESSÓRIOS</b>					
D-1	ELETRODUTO PVC RÍGIDO ROSQUEADO 2" (vr: 3m)	VR	31	R\$ 7,50	R\$ 232,50
D-2	ELETRODUTO PVC RÍGIDO ROSQUEADO 1.1/2" (vr: 3m)	VR	15	R\$ 6,50	R\$ 97,50
D-3	ELETRODUTO PVC RIGIDO ROSQUEADO 1" (vr: 3m)	VR	46	R\$ 5,50	R\$ 253,00
D-4	ELETRODUTO PVC RIGIDO ROSQUEADO DE 3/4", (vr: 3m)	VR	17	R\$ 4,50	R\$ 76,50
D-5	CURVA, 90°, PARA ELETRODUTO DE PVC RÍGIDO ROSQUEADO 2"	PÇ	13	R\$ 5,00	R\$ 65,00
D-6	CURVA, 90° PARA ELETRODUTO DE PVC RIGIDO 1.1/2"	PÇ	9	R\$ 5,00	R\$ 45,00
D-7	CURVA, 90°, PARA ELETRODUTO DE PVC RÍGIDO ROSQUEADO 1"	PÇ	22	R\$ 5,00	R\$ 110,00
D-8	CURVA, PARA ELETRODUTO DE PVC RIGIDO ROSQUEADO DE 3/4"	PÇ	8	R\$ 5,00	R\$ 40,00
D-9	LUVA, PARA ELETRODUTO PVC RIGIDO ROSQUEADO DE 2"	PÇ	26	R\$ 3,50	R\$ 91,00
D-10	LUVA, PARA ELETRODUTO DE PVC RIGIDO 1.1/2"	PÇ	22	R\$ 3,50	R\$ 77,00
D-11	LUVA, PARA ELETRODUTO DE PVC RÍGIDO ROSQUEADO 1"	PÇ	52	R\$ 3,50	R\$ 182,00
D-12	LUVA, PARA ELETRODUTO PVC RIGIDO ROSQUEADO DE 3/4"	PÇ	22	R\$ 3,50	R\$ 77,00
-	CAIXA DE ALUMINIO FUNDIDO, SEM FURAÇÃO, USO AO TEMPO, 342x275x134 mm, COM CHASSIS, REMOVIVEL E TAMPA PLANA; DES-64105	PÇ	3	R\$ 199,00	R\$ 597,00
D-16	CAIXA DE LIGAÇÃO RETANGULAR DE ALUMÍNIO FUNDIDO, SEM FURAÇÃO, USO AO TEMPO, 388X338X220 mm, COM CHASSIS REMOVÍVEL E TAMPA PLANA, TIPO CDW-G40	PÇ	1	R\$ 55,00	R\$ 55,00
D-17	ARRUELA EM ALUMÍNIO SILÍCIO FUNDIDO P/ ELETRODUTO 1.1/2", ROSCA BSP	PÇ	12	R\$ 2,50	R\$ 30,00
D-18	BUCHA EM ALUMÍNIO SILÍCIO FUNDIDO P/ ELETRODUTO 1.1/2", ROSCA BSP	PÇ	12	R\$ 2,50	R\$ 30,00
D-19	BUCHA, BAQUELITE, SEXTAVADA, FIX ELET 2"	PÇ	8	R\$ 2,50	R\$ 20,00
D-22	ARRUELA, SEXTAVADA, FERRO NODULAR PARA ELETRODUTO DE 2"	PÇ	8	R\$ 2,50	R\$ 20,00
D-23	UNIÃO, MACHO-FÊMEA, AÇO ZINCADO, PARA ELETRODUTO DE 2"	PÇ	12	R\$ 35,00	R\$ 420,00
D-24	UNIÃO, MACHO-FÊMEA, AÇO ZINCADO, PARA ELETRODUTO DE 1.1/2"	PÇ	10	R\$ 35,00	R\$ 350,00
D-27	ELETRODUTO METÁLICO FLEXÍVEL, COM REVESTIMENTO EM PVC, 2"	M	12	R\$ 24,50	R\$ 294,00
D-28	ELETRODUTO METÁLICO FLEXÍVEL, COM REVESTIMENTO EM PVC, 1.1/2"	O	9	R\$ 24,50	R\$ 220,50
-	ELETRODUTO METÁLICO FLEXÍVEL, COM REVESTIMENTO EM PVC, 3"	M	4	R\$ 24,50	R\$ 98,00
D-29	CONECTOR MACHO DE LATÃO PARA ELETRODUTO FLEXÍVEL, 2", ROSCA BSP	PÇ	10	R\$ 35,00	R\$ 350,00
D-30	CONECTOR MACHO DE LATÃO PARA ELETRODUTO FLEXÍVEL, 1.1/2", ROSCA BSP	PÇ	5	R\$ 35,00	R\$ 175,00

REF	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	UND	TOTAL	VR. UNIT. (R\$)	VR. TOTAL (R\$)
-	CONECTOR MACHO DE LATÃO PARA ELETRODUTO FLEXÍVEL, 3", ROSCA BSP	PÇ	8	R\$ 35,00	R\$ 280,00
D-36	ABRAÇADEIRA UNHA PARA CABO DE COBRE NU 70 mm²	PÇ	133	R\$ 3,50	R\$ 465,50
D-47	ABRAÇADEIRA FERRO ZINCADO, TIPO "D" P/ ELETRODUTO DE 3/4"	PÇ	16	R\$ 3,50	R\$ 56,00
D-48	ABRAÇADEIRA FERRO ZINCADO, TIPO "D" P/ ELETRODUTO DE 1"	PÇ	28	R\$ 3,50	R\$ 98,00
D-50	CURVA, 180°, PARA ELETRODUTO DE AÇO GALVANIZADO PESADO ROSQUEADO 1.1/2"	PÇ	2	R\$ 40,00	R\$ 80,00
D-52	ELETRODUTO CORRUGADO TIPO PEAD 2"	M	180	R\$ 7,90	R\$ 1.422,00
D-54	ELETRODUTO CORRUGADO TIPO PEAD 4"	M	420	R\$ 15,00	R\$ 6.300,00
D-64	PRENSA-CABOS ROSCA BSP P/ ELETRODUTO DE 1", TIPO WG-23 P+P, WETZEL	PÇ	20	R\$ 5,60	R\$ 112,00
D-65	PRENSA-CABOS ROSCA BSP P/ ELETRODUTO DE 3/4", TIPO WG-23 P+P, WETZEL	PÇ	8	R\$ 5,60	R\$ 44,80
D-66	ELETRODUTO AÇO GALVANIZADO, PESADO, ROSQUEADO, 1.1/2" (vr: 3m)	VR	42	R\$ 40,50	R\$ 1.701,00
D-67	LUVA, PARA ELETRODUTO DE AÇO GALVANIZADO ROSQUEADO 1.1/2"	PÇ	64	R\$ 5,50	R\$ 352,00
D-68	CURVA, 90°, P/ELETRODUTO, AÇO GALV. PESADO ROSQ. 1.1/2"	PÇ	29	R\$ 13,90	R\$ 403,10
D-70	ELETRODUTO PVC RIGIDO, ROSQUEADO 3" (vr: 3m)	VR	1	R\$ 8,50	R\$ 8,50
D-72	LUVA, P/ELETRODUTO PVC RIGIDO ROSQUEADO DE 3"	PÇ	8	R\$ 8,50	R\$ 68,00
D-73	ARRUELA SEXTAVADA DE FERRO NODULAR PARA ELETRODUTO DE 3"	PÇ	4	R\$ 3,50	R\$ 14,00
D-74	BUCHA, BAQUELITE, SEXTAVADA, FIX ELET 3"	PÇ	4	R\$ 3,50	R\$ 14,00
D-77	CURVA, PARA ELETRODUTO DE AÇO GALVANIZADO ROSQUEADO 1.1/2"	PÇ	0	R\$ 8,50	R\$ -
D-80	ELETRODUTO AÇO ZINCADO, PESADO, ROSQUEADO; 2" (vr: 3m)	VR	8	R\$ 28,00	R\$ 224,00
D-81	LUVA, PARA ELETRODUTO AÇO ZINCADO RIGIDO ROSQUEADO DE 2"	PÇ	12	R\$ 15,00	R\$ 180,00
D-82	CURVA, PARA ELETRODUTO AÇO ZINCADO 2"	PÇ	4	R\$ 13,00	R\$ 52,00
D-83	CAIXA DE DERIVAÇÃO LR; LIGA DE AL; ELETRODUTOS DE 1"	PÇ	8	R\$ 155,00	R\$ 1.240,00
D-87	TERMINAL DE ENCAIXE PARA ELETRODUTO FLEXIVEL	PÇ	4	R\$ 15,00	R\$ 60,00
	<b>EXTINTORES E PLACAS DE SINALIZAÇÃO</b>				R\$ -
X-1	EXTINTOR PÓ QUÍMICO, TIPO CARRETA SOBRE RODAS: CLASSE BC 50 kg 80-BC	PÇ	1	R\$ 1.250,00	R\$ 1.250,00
X-2	EXTINTOR DE CO2, CAPACIDADE DE 6KG	PÇ	2	R\$ 218,00	R\$ 436,00
X-3	EXTINTOR DE PÓ QUÍMICO, CAPACIDADE DE 6KG	PÇ	2	R\$ 218,00	R\$ 436,00
-	PLACA DE SINALIZAÇÃO DE SAÍDA PARA DIREITA	PÇ	5	R\$ 25,00	R\$ 125,00
-	PLACA DE SINALIZAÇÃO DE SAÍDA PARA ESQUERDA	PÇ	3	R\$ 25,00	R\$ 75,00
-	PLACA DE SINALIZAÇÃO DE SAÍDA DE EMERGÊNCIA	PÇ	1	R\$ 25,00	R\$ 25,00
-	PLACA DE SINALIZAÇÃO DE SAÍDA	PÇ	1	R\$ 25,00	R\$ 25,00
-	PLACA DE SINALIZAÇÃO PARA EXTINTOR TIPO CARRETA 50 KG DE PÓ QUIMICO BC	PÇ	1	R\$ 25,00	R\$ 25,00
-	PLACA DE SINALIZAÇÃO PARA EXTINTOR DE PÓ QUIMICO BC	PÇ	2	R\$ 25,00	R\$ 50,00
-	PLACA DE SINALIZAÇÃO PARA EXTINTOR DE CO2	PÇ	2	R\$ 25,00	R\$ 50,00
-	PLACA DE SINALIZAÇÃO DE PERIGO ALTA TENSÃO	PÇ	3	R\$ 25,00	R\$ 75,00
-	PLACA DE SINALIZAÇÃO DE PERIGO RISCO DE MORTE	PÇ	3	R\$ 25,00	R\$ 75,00

REF	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	UND	TOTAL	VR. UNIT. (R\$)	VR. TOTAL (R\$)
-	PLACA DE SINALIZAÇÃO DE PERIGO MANTENHA-SE AFASTADO	PÇ	3	R\$ 25,00	R\$ 75,00
-	PLACA DE SINALIZAÇÃO DE ACESSO RESTRITO	PÇ	3	R\$ 25,00	R\$ 75,00
	<b>POSTES E PREMOLDADOS</b>				
P-1	POSTE DE CONCRETO ARMADO DT 1000x12m; B-1,5; ET-300	PÇ	6	R\$ 960,00	R\$ 5.760,00
P-2	POSTE DE CONCRETO ARMADO DT 600x5m; B; ET-300	PÇ	1	R\$ 550,00	R\$ 550,00
P-3	POSTE DE CONCRETO ARMADO DT 600x4,5m; B; ET-300	PÇ	15	R\$ 425,00	R\$ 6.375,00
P-4	SUPORTE CAPITEL CONCRETO ARMADO B-1, MONT. IP 72,5 kV	PÇ	1	R\$ 260,00	R\$ 260,00
P-8	ANEL, CONCRETO ARMADO, TRIPLO; B-3	PÇ	6	R\$ 160,00	R\$ 960,00
P-9	ANEL, CONCRETO ARMADO, TRIPLO; B-6	PÇ	8	R\$ 160,00	R\$ 1.280,00
P-11	VIGA DE CONCRETO ARMADO, MONT HORIZ/VERT, 230x310x7.100 mm	PÇ	7	R\$ 820,00	R\$ 5.740,00
P-12	VIGA DE CONCRETO ARMADO MONT VERT; 120x170x4.600 mm	PÇ	4	R\$ 360,00	R\$ 1.440,00
P-16	SUPORTE CAPITEL CONCRETO ARMADO B-1, MONTAGEM TC/TP 72,5 kV	PÇ	11	R\$ 260,00	R\$ 2.860,00
P-21	SUPORTE JABAQUARA SIMPLES CONCRETO ARMADO B-3 MOD T 1.630 mm	PÇ	4	R\$ 380,00	R\$ 1.520,00
P-40	TUBO PRÉ-FABRICADO D=0,80m INTERNO CLASSE CA-2	PÇ	64	R\$ 180,00	R\$ 11.520,00
P-41	TUBO PRÉ-FABRICADO D=1,00m INTERNO CLASSE CA-2	PÇ	24	R\$ 180,00	R\$ 4.320,00
	<b>FERRAGENS</b>				
F-2	ARRUELA QUADRADA DE AÇO ZINCADO 50X50x3 mm, COM FURO DE 18 mm	PÇ	113	R\$ 3,50	R\$ 395,50
F-3	ARRUELA QUADRADA DE AÇO ZINCADO 50x5x22 mm	PÇ	106	R\$ 3,50	R\$ 371,00
F-5	ARRUELA REDONDA DE AÇO ZINCADO COM DIAMETRO EXTERNO 28 mm, ESPESSURA DE 3 mm E FURO 14 mm	PÇ	40	R\$ 3,50	R\$ 140,00
F-6	ARRUELA REDONDA DE AÇO ZINCADO COM DIAMETRO EXTERNO 36 mm, ESPESSURA DE 3 mm E FURO 14 mm	PÇ	212	R\$ 3,50	R\$ 742,00
F-7	ARRUELA PRESSÃO AÇO ZINCADO COM DIAMETRO EXTERNO 24 mm, ESPESSURA 4 mm, FURO 17,5 mm	PÇ	96	R\$ 3,50	R\$ 336,00
F-10	CANTONEIRA, AÇO ZINCADO EM U-50x38x5x430 mm	PÇ	8	R\$ 15,00	R\$ 120,00
F-12	CANTONEIRA, AÇO ZINCADO EM L-40x5x430 mm	PÇ	8	R\$ 15,00	R\$ 120,00
F-18	PARAFUSO CABEÇA QUADRADA DE AÇO ZINCADO, M20x2,5 L=350 B=270	PÇ	26	R\$ 8,50	R\$ 221,00
F-19	PARAFUSO CABEÇA QUADRADA DE AÇO ZINCADO, M20x2,5 L=400 B=270	PÇ	21	R\$ 8,50	R\$ 178,50
F-20	PARAFUSO CABEÇA QUADRADA DE AÇO ZINCADO, M20x2,5 L=450 B=370	PÇ	12	R\$ 8,50	R\$ 102,00
F-21	PARAFUSO CABEÇA QUADRADA DE AÇO ZINCADO, M20x2,5 L=550 B=370	PÇ	12	R\$ 8,50	R\$ 102,00
F-24	PARAFUSO CABEÇA QUADRADA DE AÇO ZINCADO, M16X2, COMP. TOTAL DE 300 mm, COMP. DA ROSCA DE 220 mm	PÇ	106	R\$ 8,50	R\$ 901,00
F-29	PARAFUSO CABEÇA QUADRADA DE AÇO ZINCADO, M12X1,5X250 mm	PÇ	20	R\$ 8,50	R\$ 170,00
F-34	PARAFUSO AUTO-ATARRACHANTE, CABEÇA CILÍNDRICA, 4,8x50 mm	PÇ	306	R\$ 8,50	R\$ 2.601,00
F-40	PARAFUSO ROSCA DUPLA EM AÇO ZINCADO, M12X2, COMP. TOTAL DE 400 mm, ROSCA TOTAL	PÇ	8	R\$ 8,50	R\$ 68,00

REF	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	UND	TOTAL	VR. UNIT. (R\$)	VR. TOTAL (R\$)
F-42	PARAFUSO CABEÇA QUADRADA DE AÇO ZINCADO, M16X2, COMP. TOTAL DE 300 mm, COMP. DA ROSCA DE 240 mm	PÇ	36	R\$ 8,50	R\$ 306,00
F-45	ARRUELA REDONDA DE AÇO ZINCADO, 44X5X22 mm	PÇ	42	R\$ 3,50	R\$ 147,00
F-47	PARAFUSO, CABEÇA SEXTAVADA DE AÇO ZINCADO, M10X1,25X50 mm, ROSCA TOTAL	PÇ	16	R\$ 8,50	R\$ 136,00
F-48	PORCA QUADRADA DE AÇO ZINCADO, M16X2	PÇ	88	R\$ 4,50	R\$ 396,00
F-49	PORCA QUADRADA DE AÇO ZINCADO, M12X1,5	PÇ	48	R\$ 4,50	R\$ 216,00
F-55	ARRUELA DE PRESSÃO AÇO ZINCADO DIAM. EXT. 18 mm, ESSES. 3 mm, FURO 13,5 mm	PÇ	20	R\$ 2,50	R\$ 50,00
F-56	ARRUELA DE PRESSÃO AÇO ZINCADO DIAM. EXT. 22 mm, ESSES. 2 mm, FURO 12 mm	PÇ	16	R\$ 2,50	R\$ 40,00
F-57	ARRUELA DE PRESSÃO AÇO ZINCADO; 28X4X22 mm	PÇ	42	R\$ 2,50	R\$ 105,00
F-63	CANTONEIRA ABAS IGUAIS DE AÇO ZINCADO, L-75x10x450 mm	PÇ	18	R\$ 15,00	R\$ 270,00
F-67	ARRUELA REDONDA AÇO ZINCADO, 16X1 mm, FURO 6 mm	PÇ	177	R\$ 2,50	R\$ 442,50
F-69	ARRUELA LISA PARA PARAFUSO, DIÂM. 1/4"	PÇ	124	R\$ 2,50	R\$ 310,00
-	PORCA SEXTAVADA SEXTAVADA DE AÇO ZINCADO, M10X1,25	PÇ	8	R\$ 5,50	R\$ 44,00
	<b>CONECTORES</b>				
O-1	CONECTOR, T; CAA 266; TR/DR; D71014	PÇ	12	R\$ 65,00	R\$ 780,00
O-5	CONECTOR SUP; CAA 266; TUBO 3/8-1/2"; D-71008	PÇ	8	R\$ 65,00	R\$ 520,00
O-12	CONECT ATERRAMENTO, PARA CABO DE COBRE, 16-70 mm <sup>2</sup>	PÇ	39	R\$ 65,00	R\$ 2.535,00
O-13	CONECTOR PARAF FENDIDO C/FSNARADOR CU 35-70mm <sup>2</sup> TR 16-70mm <sup>2</sup>	PÇ	78	R\$ 65,00	R\$ 5.070,00
O-21	CONECTOR, PARAL; CAA 1/0 - 266; TR/DR; D-71027	PÇ	6	R\$ 65,00	R\$ 390,00
O-30	CONECTOR TERM. RETO; 4F; AL/CU; 6-750; D71018	PÇ	43	R\$ 65,00	R\$ 2.795,00
O-37	CONEC. TERMINAL COMPRESS P/CABO CU, 25 mm <sup>2</sup> , 1 F - 2 COMPRESS	PÇ	6	R\$ 65,00	R\$ 390,00
O-40	TERMINAL, TERMOCONTRÁTIL; INTERNO;15KV; 70-120; D72520	PÇ	3	R\$ 329,00	R\$ 987,00
O-48	TERMINAL COMPRESS. PINO LONGO, CABO CU ISOL, 120 mm <sup>2</sup>	PÇ	3	R\$ 55,00	R\$ 165,00
-	TERMINAL COMPRESS. PINO LONGO, CABO CU ISOL, 70 mm <sup>2</sup>	PÇ	1	R\$ 55,00	R\$ 55,00
-	GRAMPO PARALELO P/2 CABOS DE AÇO 3/8"	PÇ	6	R\$ 54,60	R\$ 327,60
-	ALÇA PREFORMADA PARA CABO DE AÇO EHS 3/8", FORNECIDO COM SAPATILHA	PÇ	6	R\$ 4,50	R\$ 27,00
	<b>COMPONENTES</b>				
N-1	BUCHA DE NYLON; N8, PARAF ROSC SOB, 4.8X50mm	PÇ	276	R\$ 1,15	R\$ 317,40
	<b>ILUMINAÇÃO</b>				
L-9	LÂMPADA INCANDESCENTE125 V, 100 W	PÇ	8	R\$ 27,80	R\$ 222,40
L-10	LUMINÁRIA A PROVA DE EXPLOÇÃO, AL FUNDIDO, TIPO ARANDELA 45°, ROSCA BSP 3/4", COM	PÇ	8	R\$ 189,00	R\$ 1.512,00
L-12	RÉGUA BORNES TERMINAIS 600 V, 15 A, 12" OS, BASE EM BAQUELITE CONTATOS, PARAFUSOS E ARRUELA EM BRONZE E ESTANHADO, PRARA LIGAÇÕES ATRAVÉS DE TERMINAIS DO TIPO OLHAL	PÇ	8	R\$ 209,00	R\$ 1.672,00

REF	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	UND	TOTAL	VR. UNIT. (R\$)	VR. TOTAL (R\$)
L-13	TOMADA TRIFÁSICA, À PROVA DE TEMPO, 20A, 380V, 3P+T EM CAIXA REDONDA COM TAMPA COM MOLA, ROSCA BSP 1" NA POSIÇÃO C	PÇ	4	R\$ 89,00	R\$ 356,00
L-14	TOMADA MONOFÁSICA, À PROVA DE TEMPO, 20A, 220V, 2P+T EM CAIXA REDONDA C/ TAMPA COM MOLA, ROSCA BSP 1" NA POSIÇÃO C	PÇ	4	R\$ 87,00	R\$ 348,00
L-15	ABRAÇADEIRA UNHA AÇO ZINCADO P/ELETRODUTO 1.1/2"	PÇ	34	R\$ 2,50	R\$ 85,00
L-17	LUMINÁRIA TIPO PROJETER À PROVA DE TEMPO COM ALOJAMENTO PARA REATOR/IGNITOR, SOQUETE E-40, COM REATOR/IGNITOR E LÂMPADA VAPOR METÁLICO DE 250 W	PÇ	8	R\$ 310,00	R\$ 2.480,00
L-18	BASE P/RELÉ FOTOELÉTRICO	PÇ	8	R\$ 390,00	R\$ 3.120,00
L-19	RELÉ FOTOELÉTRICO; NF; 220 V; 1000 W; EXT. D60401	PÇ	8	R\$ 45,00	R\$ 360,00
	<b>ISOLADORES</b>				
I-1	ISOL SUSP,COMP,CONCHA-BOLA,72,5KV, E-LT-002/R5	PÇ	21	R\$ 398,00	R\$ 8.358,00
I-4	GANCHO-BOLA, AÇO ZN; 12000DAN; D-51019	PÇ	21	R\$ 34,50	R\$ 724,50
I-6	OLHAL, PARAF M20, ACO ZN; 12000DAN; D-41005	PÇ	21	R\$ 34,50	R\$ 724,50
I-8	OLHAL P/PARAFUSO M16x300 mm, AÇO CARB C/PORCA-ARRUELAS	PÇ	6	R\$ 34,50	R\$ 207,00
I-16	ISOLADOR SUPORTE EM PORCELANA MACIÇO, C17, 72,5 kV, TR-216	0	4	R\$ 550,00	R\$ 2.200,00
I-18	CONCHA-OLHAL, ACO ZINC; 12000 DAN; 51018.0	PÇ	21	R\$ 34,50	R\$ 724,50
	<b>PREFORMADOS</b>				
R-9	GRAMPO, ANC; TERMINAL; CAA 1/0-266,8;D-710315	PÇ	21	85	R\$ 1.785,00
<b>TOTAL</b>					<b>R\$ 184.467,40</b>

Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 6 – Custos de serviços - Convencional

ITEM	DESCRIÇÃO	UND	QUANTIDADE	PREÇO UNITÁRIO R\$	PREÇO TOTAL R\$
<b>1</b>	<b>PÁTIOS, ACESSOS E FECHAMENTOS</b>				
<b>1.1</b>	<b>SERVIÇOS PRELIMINARES</b>				
1.1.1	REGISTRO NO CREA E LICENÇAS PREFEITURA MUNICIPAL	vb	1,00	1.153,62	1.153,62
1.1.2	FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE PLACAS DE OBRA	M2	4,00	535,61	2.142,44
1.1.3	LOCAÇÃO DA OBRA COM AUXILIO DA TOPOGRAFIA	M2	315,00	9,05	2.850,75
1.1.4	LIMPEZA E RASPAGEM (MECANIZADA) DO TERRENO, INCLUSIVE BOTA-FORA (COMPLETO)	M2	315,00	4,50	1.417,50
1.1.5	SONDAGEM PARA RECONHECIMENTO DO SOLO E TESTE DE ABSORÇÃO DO SOLO	M	30,00	981,33	29.439,90
1.1.6	MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO DE PESSOAL E EQUIPAMENTOS	vb	1,00	13.720,00	13.720,00
1.1.7	RETIRADA DE ÁRVORES	UNID	8,00	354,24	2.833,92
<b>1.2</b>	<b>REFORMA DA CARPINTARIA</b>				
1.2.1	PROJETO EXECUTIVO DE REFORMA DA CARPINTARIA (TRABALHO PROFISSIONAL)	VU	250,00	31,17	7.792,50
1.2.2	ELABORAÇÃO DE RELATÓRIO "AS BUILT"	UT	250,00	31,17	7.792,50
1.2.3	DEMOLIÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS	M2	60,00	28,19	1.691,40
1.2.4	MONTAGEM DE ESTRUTURAS METÁLICAS	M2	37,62	28,19	1.060,51
1.2.5	DEMOLIÇÃO DE FECHAMENTO EM ESTRUTURAS METÁLICAS	M2	36,00	28,19	1.014,84
1.2.6	MONTAGEM DE FECHAMENTO EM ESTRUTURAS METÁLICAS	M2	36,00	28,19	1.014,84
1.2.7	RETIRADA DE GRADE DE FERRO	M2	120,00	6,97	836,40
1.2.8	MONTAGEM DE GRADE DE FERRO	M2	120,00	6,97	836,40
1.2.9	DEMOLIÇÃO DE COBERTURA C/TELHAS ONDULADAS DE FIBROCIMENTO	M2	45,00	4,19	188,55
1.2.10	MONTAGEM DE COBERTURA C/TELHAS ONDULADAS DE FIBROCIMENTO	M2	15,00	4,19	62,85
1.2.11	DEMOLIÇÃO DE FORRO PVC	M2	45,00	50,43	2.269,35
1.2.12	MONTAGEM DE FORRO PVC	M2	15,00	50,43	756,45
1.2.13	DEMOLIÇÃO DE PISO INDUSTRIAL	M2	100,00	44,74	4.474,00
1.2.14	MONTAGEM DE PISO INDUSTRIAL	M2	100,00	87,28	8.728,00
1.2.15	DEMOLIÇÃO DE REVESTIMENTO C/ARGAMASSA	M2	90,00	8,29	746,10
1.2.16	MONTAGEM DE REVESTIMENTO C/ARGAMASSA	M2	54,00	8,29	447,66
1.2.17	DEMOLIÇÃO DE ALVENARIA DE TIJOLOS S/ REAPROVEITAMENTO	M3	45,00	50,31	2.263,95
1.2.18	ALVENARIA DE BLOCO DE CONCRETO TIPO STONE COLORIDO (14X19X49)CM C/ARGAMASSA MISTA DE CAL HIDRATADA E	M2	24,00	63,98	1.535,52
1.2.19	DEMOLIÇÃO DE CALÇADA EM CONCRETO SIMPLES	M2	18,00	50,31	905,58
1.2.20	CALÇADA EM CONCRETO SIMPLES	M2	15,00	63,98	959,70
1.2.21	DESMONTAGEM DE INSTALAÇÃO ELÉTRICA DE ILUMINAÇÃO	UD	1,00	3.500,00	3.500,00
1.2.22	REMONTAGEM DE INSTALAÇÃO ELÉTRICA DE ILUMINAÇÃO	UD	1,00	1.500,00	1.500,00
1.2.23	DEMOLIÇÃO DE CONCRETO SIMPLES	M3	11,54	218,01	2.515,84
1.2.24	RASPAGEM DO TERRENO	M2	250,00	3,69	922,50

ITEM	DESCRIÇÃO	UND	QUANTIDADE	PREÇO UNITÁRIO R\$	PREÇO TOTAL R\$
1.2.25	TRANSPORTE DE MATERIAL EXCETO ROCHA, ATÉ 20KM	M3	2.000,00	40,17	6.695,00
1.2.26	PINTURA C/ EMASSAMENTO E LIXAMENTO EM PAREDE INTERNA. À BASE EPÓXI	M2	90,00	64,25	5.782,50
<b>1.3</b>	<b>INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS</b>				
1.3.1	CONSTRUÇÃO DE BARRACÃO	M2	30,00	531,16	15.934,80
1.3.2	INSTALAÇÃO PROVISÓRIA DE ÁGUA, ESGOTO, LUZ E FORÇA	vb	1,00	6.757,04	6.757,04
1.3.3	VIGILÂNCIA NOTURNA	SEM	24,00	1.550,00	37.200,00
<b>1.4</b>	<b>MOVIMENTO DE TERRA</b>				
1.4.1	ATERRO COMPACTADO COM AQUISIÇÃO DOS MATERIAIS	M3	250,00	67,69	16.922,50
1.4.2	ESCAVAÇÃO MANUAL	M3	140,00	43,25	6.055,00
1.4.3	ESCAVAÇÃO MANUAL DE VALAS EM TERRENO DE QUALQUER NATUREZA PARA LANÇAMENTO DOS CABOS DA MALHA DE TERRA	M	442,31	13,37	5.913,68
1.4.4	ESCAVAÇÃO MANUAL DE CAVAS PARA FINCAMENTO DE POSTES ATÉ 18M EM TERRENO DE QUALQUER NATUREZA, EXCETO ROCHA	UNID	26,00	122,48	3.184,48
1.4.5	APILOAMENTO DO FUNDO DAS CAVAS DOS POSTES	UNID	26,00	25,40	660,40
1.4.6	REATERRO COMPACTADO DAS CAVAS DOS POSTES COM SOLO-CIMENTO TRAÇO 1:20, ATÉ 18M	UNID	26,00	162,16	4.216,16
1.4.7	REATERRO COMPACTADO DAS VALAS DA MALHA DE TERRA	M	442,31	6,80	3.007,71
1.4.8	REATERRO COMPACTADO MANUALMENTE SEM AQUISIÇÃO DOS MATERIAIS	M3	140,00	48,60	6.804,00
<b>1.5</b>	<b>BASES E FUNDAÇÕES PARA POSTES</b>				
1.5.1	CONSTRUÇÃO DA BASE P/ TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA ATÉ 50t CONFORME DET-050.01(COMPLETA)	UNID	2,00	10.674,41	21.348,82
1.5.2	CONSTRUÇÃO DA BASE P/ DISJUNTOR EM CONCRETO SIMPLES COM VOLUME ATÉ 1,20M3 DE CONCRETO SIMPLES(COMPLETA)	UNID	1,00	1.517,33	1.517,33
1.5.3	CONSTRUÇÃO DA PAREDE CORTA FOGO (COMPLETA)	UNID	1,00	32.433,79	32.433,79
1.5.4	LASTRO EM CONCRETO SIMPLES NO TRAÇO 1:3:5 COM DIMENSÕES E ESPESSURA DE 0,80X0,80X0,15M NO "GOGÓ" DOS POSTES ATÉ 18M	UNID	22,00	154,36	3.395,92
1.5.5	BASE EM CONCRETO ARMADO COM DIMENSÕES 0,80X0,80X0,05M, FERRO D=5.0 COM MALHA 10X10CM, NO FUNDO DAS CAVAS DOS POSTES ATÉ 18M	UNID	22,00	198,48	4.366,56
1.5.6	BASE PARA EXTINTOR COM ABRIGO	UNID	1,00	944,45	944,45
1.5.7	MANILHA PRÉ-FABRICADA DIAM. INTERNO DIAM. ATÉ 1,00M INTERNO, CLASSE CA-2	UNID	21,00	514,29	10.800,09
1.5.8	MANILHA PR-E-FABRICADA DIAM. INTERNO DIAM. ATÉ 0,80M INTERNO, CLASSE CA-2	UNID	76,00	278,54	21.169,04
<b>1.6</b>	<b>CAIXAS</b>				
1.6.1	CAIXA SEPARADORA DE ÁGUA E ÓLEO EM TUBO PRÉ-MOLDADO COM FUNDO E TAMPA EM CONCRETO ARMADO	UNID	1,00	35.004,70	35.004,70
1.6.2	CAIXA DE PASSAGEM COM FUNDO DE CONCRETO ARMADO, EM ALVENARIA DE TIJOLO CERÂMICO/BLOCO, CHAPISCADO, REBOCADA E IMPERMEABILIZADA, COM TAMPA DE PERFIL METÁLICO E EM CONCRETO ARMADO COM FERRO COM D=5.0, COM MALHA 10X10CM, NAS DIMENSÕES DE 0,35X0,35X0,35M	UNID	2,00	471,38	942,76

ITEM	DESCRIÇÃO	UND	QUANTIDADE	PREÇO UNITÁRIO R\$	PREÇO TOTAL R\$
1.6.3	CAIXA DE PASSAGEM COM FUNDO DE CONCRETO ARMADO, EM ALVENARIA DE TIJOLO CERÂMICO/BLOCO, CHAPISCADO, REBOCADA E IMPERMEABILIZADA, COM TAMPA DE PERFIL METÁLICO E EM CONCRETO ARMADO COM FERRO D=5.0, COM MALHA 10X10CM, NAS DIMENSÕES DE 0,60X0,60X0,50M	UNID	2,00	839,13	1.678,26
1.6.4	CAIXA DE PASSAGEM DE CONCRETO ARMADO, EM ALVENARIA DE TIJOLO CERÂMICO/BLOCO, CHAPISCADO, REBOCADA E IMPERMEABILIZADA, COM TAMPA DE PERFIL METÁLICO E EM CONCRETO ARMADO COM FERRO D=5.0, COM MALHA DE 10X10CM, NAS DIMENSÕES DE 0,90X1,20X1,20M	UN	4,00	1.785,07	7.140,28
<b>1.7</b>	<b>ELETRODUTOS</b>				
1.7.1	INSTALAÇÃO DE ELETRODUTOS E CONEXÕES DE PVC RÍGIDO DE 1", EM CAVA DE TERRA OU EMBUTIDO EM ALVENARIA OU FIXADO EM ALVENARIA OU CONCRETO	M	90,00	26,95	2.425,50
1.7.2	INSTALAÇÃO DE ELETRODUTOS E CONEXÕES DE AÇO GALVANIZADO DE 2.1/2", EM CAVA DE TERRA OU EMBUTIDO EM ALVENARIA OU FIXADO EM ALVENARIA OU CONCRETO	M	92,00	110,82	10.195,44
1.7.3	INSTALAÇÃO DE ELETRODUTOS E CONEXÕES DE PVC RÍGIDO DE 3", EM CAVA DE TERRA OU EMBUTIDO EM ALVENARIA OU FIXADO EM ALVENARIA OU CONCRETO	M	28,00	46,46	1.300,88
1.7.4	INSTALAÇÃO DE ELETRODUTOS KANAFLEX DE 2", EM CAVA DE TERRA	M	100,00	56,34	5.634,00
1.7.5	INSTALAÇÃO DE ELETRODUTOS KANAFLEX DE 4", EM CAVA DE TERRA	M	400,00	94,01	37.604,00
<b>1.8</b>	<b>PAVIMENTAÇÃO</b>				
1.8.1	PAVIMENTAÇÃO EM PISO INTERTRAVADO UNI 8-35 MPa, 11X22,5CM ESPESSURA 8CM, SOBRE CAMADA DE AREIA COM ESPESSURA ENTRE 6 E 7CM	M2	30,00	88,93	2.667,90
1.8.2	MEIO-FIO PREMOLD. CHUMB. E REJUNT. C/ ARG. CIMENTO E AREIA 1:3, S/ ALV. CONF. DET-051.55/56	M	13,00	30,03	390,39
<b>1.9</b>	<b>CONCRETO</b>				
1.9.1	CONCRETO ARMADO 20MPa<fck<30MPa	M3	6,25	2.432,54	15.203,38
1.9.2	ENVELOPE DE CONCRETO P/TUBOS PVC ENTERRADOS, TIPO C, FCK=13,5MPa	M3	3,92	475,04	1.862,16
<b>1.10</b>	<b>SISTEMA DE COMBATE A INCÊNDIO</b>				
1.10.1	EXTINTOR EM CARRETA, CAP. 50KG - PO QUIMICO	UN	1,00	2.635,00	2.635,00
<b>1.11</b>	<b>DRENAGEM</b>				
1.11.1	INSTALAÇÃO DE TUBO PVC RÍGIDO DIÂMETRO DE 75MM, INCLUSIVE CONEXÕES	M	6,00	20,76	124,56
1.11.2	INSTALAÇÃO DE TUBO PVC RÍGIDO DIÂMETRO DE 100MM, INCLUSIVE CONEXÕES	M	12,00	23,21	278,52
1.11.3	INSTALAÇÃO DE TUBO PVC RÍGIDO DIÂMETRO DE 150MM, INCLUSIVE CONEXÕES	M	12,00	72,30	867,60
1.11.4	INSTALAÇÃO DE TUBO CORRUGADO PEAD TIPO KANANET DIÂMETRO DE 230MM, INCLUSIVE CONEXÕES, MANTA GEOTEXTIL E BRITA	M	20,10	97,49	1.959,55
1.11.5	INSTALAÇÃO DE TUBO FOFO DIÂMETRO DE 150MM	M	21,00	115,24	2.420,04
1.11.6	CAIXA DE PASSAGEM COM FUNDO DE CONCRETO ARMADO, EM ALVENARIA DE TIJOLO CERÂMICO/BLOCO, CHAPISCADO, REBOCADA E IMPERMEABILIZADA, COM TAMPA DE PERFIL METÁLICO	UNID	4,00	781,95	3.127,80

ITEM	DESCRIÇÃO	UND	QUANTIDADE	PREÇO UNITÁRIO R\$	PREÇO TOTAL R\$
	E EM CONCRETO ARMADO COM FERRO D=5.0, COM MALHA 10X10CM, NAS DIMENSÕES DE 0,80X0,80XVAR				
1.11.7	CAIXA DE PASSAGEM COM FUNDO DE BRITA Nº3, EM ALVENARIA DE TIJOLO CERÂMICO, CHAPISCADO, REBOCADA E IMPERMEABILIZADA, NAS DIMENSÕES DE 0,60X0,60XVAR	UNID	2,00	396,18	792,36
1.11.8	CAIXA DE PASSAGEM DE ÓLEO COM FUNDO DE CONCRETO ARMADO, EM ALVENARIA DE TIJOLO CERÂMICO/BLOCO, CHAPISCADO, REBOCADA E IMPERMEABILIZADA, COM TAMPA DE PERFIL METÁLICO E EM CONCRETO ARMADO COM FERRO D=5.0, COM MALHA 10X10CM, NAS DIMENSÕES DE 0,60X0,60XVAR	UNID	2,00	520,10	1.040,20
1.11.9	LANÇAMENTO DE BRITA Mº2 ESPALHADA À NÍVEL NO PÁTIO - COMPLETA	M3	43,50	150,74	6.557,19
<b>1.12</b>	<b>MURO E FECHAMENTOS</b>				
1.12.1	FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DO PORTÃO DE ACESSO À SUBESTAÇÃO TIPO I COMPLETO)	UNID	2,00	4.150,56	8.301,12
1.12.2	FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DO PORTÃO DE ACESSO À SUBESTAÇÃO TIPO II COMPLETO)	UNID	1,00	2.329,87	2.329,87
1.12.3	INSTALAÇÃO DA LOGOMARCA E IDENTIFICAÇÃO DA SUBESTAÇÃO	UNID	1,00	1.388,17	1.388,17
1.12.4	CONSTRUÇÃO DO ABRIGO PARA EXTINTORES DE INCÊNDIO CONFORME PROJETO - COMPLETA	UNID	1,00	2.525,57	2.525,57
1.12.5	CONSTRUÇÃO DO MURO DE ARRIMO CONF. DET-051.39, ATÉ 1,00M (COMPLETO)	M	26,07	362,53	9.451,16
1.12.6	CERCA/GRADIL NYLOFOR H=2,03M, MALHA 5 X 20CM - FIO 5,00MM, COM FIXADORES DE POLIAMIDA EM POSTE 40 x 60 MM CHUMBADOS EM BASE DE CONCRETO (EXCLUSIVE ESTA) , REVESTIDOS EM POLIESTER POR PROCESSO DE PINTURA ELETROSTÁTICA (GRADIL E POSTE), NAS CORES VERDE OU BRANCA - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO	M	25,00	268,45	6.711,25
1.12.7	MURETA C/TIJOLO MACIÇO/CERÂMICO OU BLOCO DE CONCRETO, REBOCADA, INCL. FUNDAÇÕES	M2	15,00	268,14	4.022,10
1.12.8	MURO DIVISÓRIO TIPO CORTA FOGO C/ BLOCOS DE CONCRETO 19x19x39 CM, H=6,20 M, SOBRE VIGAS BALDRAMES, C/ PILARES E VIGAS DE AMARRAÇÃO DE CONCRETO (M)	M	20,00	4.023,61	80.472,20
1.12.9	RECOMPOSIÇÃO DO MURO C/MOURÕES E PLACAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO H=2.00M	M	16,00	212,05	3.392,80
<b>1.13</b>	<b>PINTURA</b>				
1.13.1	ESMALTE PARA ESQUADRIAS DE FERRO, 02 DEMÃOS, COM BASE PRÓPRIA PARA FERRO "GALVIT" (PORTÃO)	M2	60,00	38,23	2.293,80
1.13.2	PINTURA HIDRACOR (MURO)	M2	234,00	10,27	2.403,18
1.13.3	PINTURA P/PAREDE CORTA FOGO À BASE LATEX ACRÍLICO, TIPO "NOVACOR"	M2	248,00	20,51	5.086,48
<b>1.14</b>	<b>COMPLEMENTAÇÃO DA OBRA</b>				
1.14.1	LIMPEZA GERAL	M2	289,20	1,89	546,59
<b>TOTAL</b>					<b>R\$ 605.524,16</b>

Fonte: elaborada pelo autor.

## ANEXO B – PLANILHAS DE CUSTO SOLUÇÃO HÍBRIDA

Tabela 7 – Custos de equipamentos - Híbrida

REF	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	UND	TOTAL	VR. UNIT. (R\$)	VR. TOTAL (R\$)
1	TRANSFORMADOR DE FORÇA TRIFÁSICO, 69-13,8kV, 5/6,25 MVA, C/ COMUTADOR SEM CARGA; ONAN/ONAF	PÇ	1	R\$ 831.200,00	R\$ 831.200,00
2	PARA-RAIOS, ZnO, TIPO ESTAÇÃO, 72,5 kV, 10 KA, CLASSE DE DESCARGA 2	PÇ	6	R\$ 1.580,00	R\$ 9.480,00
3	TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA, TIPO OTEF-72, 69000v33-115/v3/115-115/v3/115 V	PÇ	3	R\$ 15.500,00	R\$ 46.500,00
4	MÓDULO HÍBRIDO, PASS M00 DBB, A GÁS SF6, CORRENTE NOMINAL 2000 A, DISJUNTOR TRIPOLAR, CAPACIDADE DE INTERRUPTÃO 31,5 KA, COM 03 SECCIONADORA COMBINADAS A 2 LÂMINAS DE ATERRAMENTO E COM 3 TRANSFORMADORES DE CORRENTE.	PÇ	1	R\$ 612.567,00	R\$ 612.567,00
5	PAINEL DE MÉDIA TENSÃO METÁLICO ISOLADO A AR; MODELO EVOTECH TIPO AUTOPORTANTE COM GRAU DE PROTEÇÃO IP3X. CORRENTE NOMINAL In = 1250A E CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO MÁXIMA Icc = 25 kA.	PÇ	1	R\$ 160.230,13	R\$ 160.230,13
6	QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO EM CORRENTE ALTERNADA, TIPO SOBREPOR, FABRICADO EM CHAPA DE AÇO, PINTURA EM PÓ, COM BORRACHA DE VEDAÇÃO NA PORTA, C/ PROTEÇÃO FRONTAL DO BARRAMENTO EM ACRÍLICO, FORNECIDO COM BARRAMENTOS, CANALETAS, TRILHOS, DISJUNTORES, DR E DPS DE ACORDO COM O DESENHO.	PÇ	1	R\$ 2.500,00	R\$ 2.500,00
7	QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO EM CORRENTE CONTÍNUA, TIPO SOBREPOR, FABRICADO EM CHAPA DE AÇO, PINTURA EM PÓ, COM BORRACHA DE VEDAÇÃO NA PORTA, C/ PROTEÇÃO FRONTAL DO BARRAMENTO EM ACRÍLICO, FORNECIDO COM BARRAMENTOS, CANALETAS, TRILHOS E DISJUNTORES, DE ACORDO COM O DESENHO.	PÇ	1	R\$ 2.500,00	R\$ 2.500,00
8	RETIFICADOR / CARREGADOR DE BATERIAS, MODELO CIB S 125V/60A, ENTRADA 380VCA/3F+N/60HZ, SAÍDA 125VCC/60A Retificador / COMPOSTO POR 4 UNIDADES RETIFICADORAS RT12 125Vcc/17A	PÇ	1	R\$ 41.950,00	R\$ 48.000,00
9	BANCO DE BATERIAS "ESTACIONÁRIAS", CHUMBO-ÁCIDAS, REGULADA À VÁLVULA (SELADA), 10 ELEMENTOS DE 12V, MONTADAS EM RACK METÁLICO; TENSÃO NOMINAL DE 125 VCC; CAPACIDADE 100 A/H; AUTONOMIA MÍNIMA 2 H	PÇ	1	R\$ 41.950,00	R\$ 48.000,00
10	ELIPSE POWER HMI 500, VIEWER ONLY E DRIVER MODICON MODBUS MASTER	PÇ	1	R\$ 23.500,00	R\$ 23.500,00
11	NOTBOOK PARA SISTEMA SCADA	PÇ	1	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00
<b>TOTAL</b>					<b>R\$ 1.789.477,13</b>

Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 8 – Custos de materiais – Híbrida

REF	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	UND	TOTAL	VR. UNIT. (R\$)	VR. TOTAL (R\$)
	<b>CONDUTORES</b>				
C-1	CABO DE LIGA DE ALUMÍNIO NU 160 mm <sup>2</sup> (266,8 CAA), 19 FIOS, TÊMPERA MEIO DURA, MASSA LINEAR 0,435 kg/m	M	75	R\$ 26,90	R\$ 2.017,50
C-3	CABO DE COBRE NU 70 mm <sup>2</sup> , 19 FIOS, TÊMPERA MEIO DURA, MASSA LINEAR 0,606 kg/m	kg	211,5	R\$ 54,30	R\$ 11.484,45
C-10	CABO DE COBRE ISOLADO EPR, 8,6/15 KV, 25 mm <sup>2</sup>	m	90	R\$ 33,60	R\$ 3.024,00
C-14	CABO, CU ISOL; EPE 90°; 12/20 KV; 120 mm <sup>2</sup>	m	72	R\$ 48,60	R\$ 3.499,20
C-19	CORDOALHA PARA ATERRAMENTO; EHS 3/8"	m	60	R\$ 54,30	R\$ 3.258,00
C-20	CABO DE COBRE ISOLAMENTO EM PVC 0,6/1 kv, 35mm <sup>2</sup>	m	195	R\$ 12,60	R\$ 2.457,00
C-23	CABO, CU NU; BITOLA 25 mm <sup>2</sup>	kg	2	R\$ 54,30	R\$ 108,60
C-45	FIO DE COBRE 4 mm <sup>2</sup> , ISOLAMENTO EM PVC, 750 V	m	3	R\$ 2,15	R\$ 6,45
-	CABO CU ISOL EM PVC, 0,6/1KV, 3x4mm <sup>2</sup> , CLASSE DE ENCORDOAMENTO 5	m	360	R\$ 9,09	R\$ 3.272,40
-	CABO CU ISOL EM PVC, 0,6/1KV, 2x4mm <sup>2</sup> , CLASSE DE ENCORDOAMENTO 5	m	195	R\$ 6,25	R\$ 1.218,75
-	CABO DE CU ISOL EM PVC, 0,6/1KV, 5x4mm <sup>2</sup> , CLASSE DE ENCORDOAMENTO 5	m	262,5	R\$ 10,50	R\$ 2.756,25
	<b>ATERRAMENTO</b>				
T-1	CHAPA, CURVA, ATERR; CAZ; D=22 mm	PÇ	9	R\$ 3,50	R\$ 31,50
T-3	CHAPA, CURVA, ATERR, CAZ, D=14 mm	PÇ	2	R\$ 3,50	R\$ 7,00
T-4	HASTE PÁRA-RAIOS, L-50x6x4500 mm	PÇ	6	R\$ 90,00	R\$ 540,00
T-5	HASTE DE ATERRAMENTO, AÇO COBREADO (3/4") 19 mm x 3.000 mm; CAMADA ALTA (254µm), CONFORME NORMA NBR 13571	PÇ	8	R\$ 44,20	R\$ 353,60
T-6	CARTUCHO METAL DE SOLDA PARA CONEXÃO DE CABOS DE COBRE NÚ, PELO PROCESSO EXOTÉRMICO, FORNECIDO EM EMBALAGEM APROPRIADA COM PÓ DE IGNIÇÃO NO FUNDO, TAMANHO 200 G	PÇ	8	R\$ 15,00	R\$ 120,00
T-7	CARTUCHO METAL DE SOLDA PARA CONEXÃO DE CABOS DE COBRE NÚ, PELO PROCESSO EXOTÉRMICO, FORNECIDO EM EMBALAGEM APROPRIADA COM PÓ DE IGNIÇÃO NO FUNDO, TAMANHO 90 G	PÇ	47	R\$ 15,00	R\$ 705,00
T-8	CARTUCHO METAL DE SOLDA PARA CONEXÃO DE CABOS DE COBRE NÚ, PELO PROCESSO EXOTÉRMICO, FORNECIDO EM EMBALAGEM APROPRIADA COM PÓ DE IGNIÇÃO NO FUNDO, TAMANHO 115 G	PÇ	11	R\$ 15,00	R\$ 165,00
T-11	CARTUCHO METAL DE SOLDA PARA CONEXÃO DE CABOS DE COBRE NÚ, PELO PROCESSO EXOTÉRMICO, FORNECIDO EM EMBALAGEM APROPRIADA COM PÓ DE IGNIÇÃO NO FUNDO, TAMANHO 250 G	PÇ	8	R\$ 15,00	R\$ 120,00
T-27	IGNITOR PARA SOLDA EXOTERMICA (SACO COM 10 UNIDADES)	PÇ	8	R\$ 10,15	R\$ 81,20
T-28	MOLDE PARA SOLDA EXOTÉRMICA TIPO "XSH" ENTRE CABOS DE 70 mm <sup>2</sup> - ALICATE Z-201	PÇ	2	R\$ 110,00	R\$ 220,00
T-29	MOLDE PARA SOLDA EXOTÉRMICA TIPO "HXS" ENTRE CABOS DE 70 mm <sup>2</sup> E HASTE DE 3/4" - ALICATE Z-201	PÇ	1	R\$ 110,00	R\$ 110,00
T-30	MOLDE PARA SOLDA EXOTÉRMICA TIPO "CDH" ENTRE CABOS DE 70 mm <sup>2</sup> - ALICATE Z-201	PÇ	2	R\$ 110,00	R\$ 220,00
T-31	MOLDE PARA SOLDA EXOTÉRMICA TIPO "HTH" ENTRE CABOS DE 70 mm <sup>2</sup> E HASTE DE 3/4" - ALICATE Z-201	PÇ	1	R\$ 110,00	R\$ 110,00

REF	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	UND	TOTAL	VR. UNIT. (R\$)	VR. TOTAL (R\$)
T-32	MOLDE PARA SOLDA EXOTÉRMICA TIPO "HCJ" ENTRE CABOS DE 70 mm <sup>2</sup> E HASTE DE 3/4" - ALICATE Z-201	PÇ	1	R\$ 110,00	R\$ 110,00
T-33	MOLDE PARA SOLDA EXOTÉRMICA TIPO "TED" ENTRE CABOS DE 70 mm <sup>2</sup> E HASTE DE 3/4" - ALICATE Z-201	PÇ	2	R\$ 110,00	R\$ 220,00
T-37	LIMPADOR DE MOLDE DE SOLDA EXOTÉRMICA	PÇ	2	R\$ 7,50	R\$ 15,00
T-38	ESCOVA DE AÇO PLANO PARA LIMPEZA DE MOLDE DE SOLDA EXOTÉRMICA	PÇ	2	R\$ 9,00	R\$ 18,00
T-39	MASSA DE VEDAÇÃO PARA MOLÇDES DE SOLDA EXOTERMICA, FORNECIDO EM SACOS DE 1KG	PÇ	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00
<b>ELETRODUTOS E ACESSÓRIOS</b>					
D-1	ELETRODUTO PVC RÍGIDO ROSQUEADO 2" (vr: 3m)	VR	16	R\$ 7,50	R\$ 120,00
D-2	ELETRODUTO PVC RÍGIDO ROSQUEADO 1.1/2" (vr: 3m)	VR	10	R\$ 6,50	R\$ 65,00
D-3	ELETRODUTO PVC RIGIDO ROSQUEADO 1" (vr: 3m)	VR	24	R\$ 5,50	R\$ 132,00
D-4	ELETRODUTO PVC RIGIDO ROSQUEADO DE 3/4", (vr: 3m)	VR	10	R\$ 4,50	R\$ 45,00
D-5	CURVA, 90°, PARA ELETRODUTO DE PVC RÍGIDO ROSQUEADO 2"	PÇ	5	R\$ 5,00	R\$ 25,00
D-6	CURVA, 90° PARA ELETRODUTO DE PVC RIGIDO 1.1/2"	PÇ	6	R\$ 5,00	R\$ 30,00
D-7	CURVA, 90°, PARA ELETRODUTO DE PVC RÍGIDO ROSQUEADO 1"	PÇ	8	R\$ 5,00	R\$ 40,00
D-8	CURVA, PARA ELETRODUTO DE PVC RIGIDO ROSQUEADO DE 3/4"	PÇ	4	R\$ 5,00	R\$ 20,00
D-9	LUVA, PARA ELETRODUTO PVC RIGIDO ROSQUEADO DE 2"	PÇ	10	R\$ 3,50	R\$ 35,00
D-10	LUVA, PARA ELETRODUTO DE PVC RIGIDO 1.1/2"	PÇ	20	R\$ 3,50	R\$ 70,00
D-11	LUVA, PARA ELETRODUTO DE PVC RÍGIDO ROSQUEADO 1"	PÇ	28	R\$ 3,50	R\$ 98,00
D-12	LUVA, PARA ELETRODUTO PVC RIGIDO ROSQUEADO DE 3/4"	PÇ	13	R\$ 3,50	R\$ 45,50
-	CAIXA DE ALUMINIO FUNDIDO, SEM FURAÇÃO, USO AO TEMPO, 342x275x134 mm, COM CHASSIS, REMOVIVEL E TAMPA PLANA; DES-64105	PÇ	2	R\$ 199,00	R\$ 398,00
D-16	CAIXA DE LIGAÇÃO RETANGULAR DE ALUMÍNIO FUNDIDO, SEM FURAÇÃO, USO AO TEMPO, 388X338X220 mm, COM CHASSIS REMOVÍVEL E TAMPA PLANA, TIPO CDW-G40	PÇ	1	R\$ 55,00	R\$ 55,00
D-17	ARRUELA EM ALUMÍNIO SILÍCIO FUNDIDO P/ ELETRODUTO 1.1/2", ROSCA BSP	PÇ	12	R\$ 2,50	R\$ 30,00
D-18	BUCHA EM ALUMÍNIO SILÍCIO FUNDIDO P/ ELETRODUTO 1.1/2", ROSCA BSP	PÇ	12	R\$ 2,50	R\$ 30,00
D-19	BUCHA, BAQUELITE, SEXTAVADA, FIX ELET 2"	PÇ	6	R\$ 2,50	R\$ 15,00
D-22	ARRUELA, SEXTAVADA, FERRO NODULAR PARA ELETRODUTO DE 2"	PÇ	6	R\$ 2,50	R\$ 15,00
D-23	UNIÃO, MACHO-FÊMEA, AÇO ZINCADO, PARA ELETRODUTO DE 2"	PÇ	6	R\$ 35,00	R\$ 210,00
D-24	UNIÃO, MACHO-FÊMEA, AÇO ZINCADO, PARA ELETRODUTO DE 1.1/2"	PÇ	10	R\$ 35,00	R\$ 350,00
D-27	ELETRODUTO METÁLICO FLEXÍVEL, COM REVESTIMENTO EM PVC, 2"	M	5	R\$ 24,50	R\$ 122,50
D-28	ELETRODUTO METÁLICO FLEXÍVEL, COM REVESTIMENTO EM PVC, 1.1/2"	O	9	R\$ 24,50	R\$ 220,50
-	ELETRODUTO METÁLICO FLEXÍVEL, COM REVESTIMENTO EM PVC, 3"	M	4	R\$ 24,50	R\$ 98,00
D-29	CONECTOR MACHO DE LATÃO PARA ELETRODUTO FLEXÍVEL, 2", ROSCA BSP	PÇ	7	R\$ 35,00	R\$ 245,00
D-30	CONECTOR MACHO DE LATÃO PARA ELETRODUTO FLEXÍVEL, 1.1/2", ROSCA BSP	PÇ	5	R\$ 35,00	R\$ 175,00

REF	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	UND	TOTAL	VR. UNIT. (R\$)	VR. TOTAL (R\$)
-	CONECTOR MACHO DE LATÃO PARA ELETRODUTO FLEXÍVEL, 3", ROSCA BSP	PÇ	8	R\$ 35,00	R\$ 280,00
D-36	ABRAÇADEIRA UNHA PARA CABO DE COBRE NU 70 mm <sup>2</sup>	PÇ	67	R\$ 3,50	R\$ 234,50
D-47	ABRAÇADEIRA FERRO ZINCADO, TIPO "D" P/ ELETRODUTO DE 3/4"	PÇ	8	R\$ 3,50	R\$ 28,00
D-48	ABRAÇADEIRA FERRO ZINCADO, TIPO "D" P/ ELETRODUTO DE 1"	PÇ	16	R\$ 3,50	R\$ 56,00
D-50	CURVA, 180°, PARA ELETRODUTO DE AÇO GALVANIZADO PESADO ROSQUEADO 1.1/2"	PÇ	2	R\$ 40,00	R\$ 80,00
D-52	ELETRODUTO CORRUGADO TIPO PEAD 2"	M	140	R\$ 7,90	R\$ 1.106,00
D-54	ELETRODUTO CORRUGADO TIPO PEAD 4"	M	350	R\$ 15,00	R\$ 5.250,00
D-64	PRENSA-CABOS ROSCA BSP P/ ELETRODUTO DE 1", TIPO WG-23 P+P, WETZEL	PÇ	16	R\$ 5,60	R\$ 89,60
D-65	PRENSA-CABOS ROSCA BSP P/ ELETRODUTO DE 3/4", TIPO WG-23 P+P, WETZEL	PÇ	4	R\$ 5,60	R\$ 22,40
D-66	ELETRODUTO AÇO GALVANIZADO, PESADO, ROSQUEADO, 1.1/2" (vr: 3m)	VR	27	R\$ 40,50	R\$ 1.093,50
D-67	LUVA, PARA ELETRODUTO DE AÇO GALVANIZADO ROSQUEADO 1.1/2"	PÇ	49	R\$ 5,50	R\$ 269,50
D-68	CURVA, 90°, P/ELETRODUTO, AÇO GALV. PESADO ROSQ. 1.1/2"	PÇ	22	R\$ 13,90	R\$ 305,80
D-70	ELETRODUTO PVC RIGIDO, ROSQUEADO 3" (vr: 3m)	VR	1	R\$ 8,50	R\$ 8,50
D-72	LUVA, P/ELETRODUTO PVC RIGIDO ROSQUEADO DE 3"	PÇ	8	R\$ 8,50	R\$ 68,00
D-73	ARRUELA SEXTAVADA DE FERRO NODULAR PARA ELETRODUTO DE 3"	PÇ	4	R\$ 3,50	R\$ 14,00
D-74	BUCHA, BAQUELITE, SEXTAVADA, FIX ELET 3"	PÇ	4	R\$ 3,50	R\$ 14,00
D-77	CURVA, PARA ELETRODUTO DE AÇO GALVANIZADO ROSQUEADO 1.1/2"	PÇ	0	R\$ 8,50	R\$ -
D-80	ELETRODUTO AÇO ZINCADO, PESADO, ROSQUEADO; 2" (vr: 3m)	VR	8	R\$ 28,00	R\$ 224,00
D-81	LUVA, PARA ELETRODUTO AÇO ZINCADO RIGIDO ROSQUEADO DE 2"	PÇ	12	R\$ 15,00	R\$ 180,00
D-82	CURVA, PARA ELETRODUTO AÇO ZINCADO 2"	PÇ	4	R\$ 13,00	R\$ 52,00
D-83	CAIXA DE DERIVAÇÃO LR; LIGA DE AL; ELETRODUTOS DE 1"	PÇ	4	R\$ 155,00	R\$ 620,00
D-87	TERMINAL DE ENCAIXE PARA ELETRODUTO FLEXIVEL	PÇ	0	R\$ 15,00	
<b>EXTINTORES E PLACAS DE SINALIZAÇÃO</b>					
X-1	EXTINTOR PÓ QUÍMICO, TIPO CARRETA SOBRE RODAS: CLASSE BC 50 kg 80-BC	PÇ	1	R\$ 1.250,00	R\$ 1.250,00
X-2	EXTINTOR DE CO2, CAPACIDADE DE 6KG	PÇ	2	R\$ 218,00	R\$ 436,00
X-3	EXTINTOR DE PÓ QUÍMICO, CAPACIDADE DE 6KG	PÇ	2	R\$ 218,00	R\$ 436,00
-	PLACA DE SINALIZAÇÃO DE SAÍDA PARA DIREITA	PÇ	5	R\$ 25,00	R\$ 125,00
-	PLACA DE SINALIZAÇÃO DE SAÍDA PARA ESQUERDA	PÇ	3	R\$ 25,00	R\$ 75,00
-	PLACA DE SINALIZAÇÃO DE SAÍDA DE EMERGÊNCIA	PÇ	1	R\$ 25,00	R\$ 25,00
-	PLACA DE SINALIZAÇÃO DE SAÍDA	PÇ	1	R\$ 25,00	R\$ 25,00
-	PLACA DE SINALIZAÇÃO PARA EXTINTOR TIPO CARRETA 50 KG DE PÓ QUIMICO BC	PÇ	1	R\$ 25,00	R\$ 25,00
-	PLACA DE SINALIZAÇÃO PARA EXTINTOR DE PÓ QUIMICO BC	PÇ	2	R\$ 25,00	R\$ 50,00
-	PLACA DE SINALIZAÇÃO PARA EXTINTOR DE CO2	PÇ	2	R\$ 25,00	R\$ 50,00
-	PLACA DE SINALIZAÇÃO DE PERIGO ALTA TENSÃO	PÇ	3	R\$ 25,00	R\$ 75,00
-	PLACA DE SINALIZAÇÃO DE PERIGO RISCO DE MORTE	PÇ	3	R\$ 25,00	R\$ 75,00

REF	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	UND	TOTAL	VR. UNIT. (R\$)	VR. TOTAL (R\$)
-	PLACA DE SINALIZAÇÃO DE PERIGO MANTENHA-SE AFASTADO	PÇ	3	R\$ 25,00	R\$ 75,00
-	PLACA DE SINALIZAÇÃO DE ACESSO RESTRITO	PÇ	3	R\$ 25,00	R\$ 75,00
	<b>POSTES E PREMOLDADOS</b>				
P-1	POSTE DE CONCRETO ARMADO DT 1000x12m; B-1,5; ET-300	PÇ	4	R\$ 960,00	R\$ 3.840,00
P-2	POSTE DE CONCRETO ARMADO DT 600X5m; B; ET-300	PÇ	1	R\$ 550,00	R\$ 550,00
P-3	POSTE DE CONCRETO ARMADO DT 600x4,5m; B; ET-300	PÇ	8	R\$ 425,00	R\$ 3.400,00
P-4	SUPORTE CAPITEL CONCRETO ARMADO B-1, MONT. IP 72,5 kV	PÇ	1	R\$ 260,00	R\$ 260,00
P-8	ANEL, CONCRETO ARMADO, TRIPLO; B-3	PÇ	4	R\$ 160,00	R\$ 640,00
P-11	VIGA DE CONCRETO ARMADO, MONT HORIZ/VERT, 230x310x7.100 mm	PÇ	2	R\$ 820,00	R\$ 1.640,00
P-16	SUPORTE CAPITEL CONCRETO ARMADO B-1, MONTAGEM TC/TP 72,5 kV	PÇ	8	R\$ 260,00	R\$ 2.080,00
P-40	TUBO PRÉ-FABRICADO D=0,80m INTERNO CLASSE CA-2	PÇ	36	R\$ 180,00	R\$ 6.480,00
P-41	TUBO PRÉ-FABRICADO D=1,00m INTERNO CLASSE CA-2	PÇ	16	R\$ 180,00	R\$ 2.880,00
	<b>FERRAGENS</b>				
F-2	ARRUELA QUADRADA DE AÇO ZINCADO 50X50x3 mm, COM FURO DE 18 mm	PÇ	47	R\$ 3,50	R\$ 164,50
F-3	ARRUELA QUADRADA DE AÇO ZINCADO 50x5x22 mm	PÇ	94	R\$ 3,50	R\$ 329,00
F-5	ARRUELA REDONDA DE AÇO ZINCADO COM DIAMETRO EXTERNO 28 mm, ESPESSURA DE 3 mm E FURO 14 mm	PÇ	26	R\$ 3,50	R\$ 91,00
F-6	ARRUELA REDONDA DE AÇO ZINCADO COM DIAMETRO EXTERNO 36 mm, ESPESSURA DE 3 mm E FURO 14 mm	PÇ	99	R\$ 3,50	R\$ 346,50
F-7	ARRUELA PRESSÃO AÇO ZINCADO COM DIAMETRO EXTERNO 24 mm, ESPESSURA 4 mm, FURO 17,5 mm	PÇ	28	R\$ 3,50	R\$ 98,00
F-10	CANTONEIRA, AÇO ZINCADO EM U-50x38x5x430 mm	PÇ	6	R\$ 15,00	R\$ 90,00
F-12	CANTONEIRA, AÇO ZINCADO EM L-40x5x430 mm	PÇ	6	R\$ 15,00	R\$ 90,00
F-18	PARAFUSO CABEÇA QUADRADA DE AÇO ZINCADO, M20x2,5 L=350 B=270	PÇ	26	R\$ 8,50	R\$ 221,00
F-19	PARAFUSO CABEÇA QUADRADA DE AÇO ZINCADO, M20x2,5 L=400 B=270	PÇ	9	R\$ 8,50	R\$ 76,50
F-20	PARAFUSO CABEÇA QUADRADA DE AÇO ZINCADO, M20x2,5 L=450 B=370	PÇ	12	R\$ 8,50	R\$ 102,00
F-21	PARAFUSO CABEÇA QUADRADA DE AÇO ZINCADO, M20x2,5 L=550 B=370	PÇ	12	R\$ 8,50	R\$ 102,00
F-24	PARAFUSO CABEÇA QUADRADA DE AÇO ZINCADO, M16X2, COMP. TOTAL DE 300 mm, COMP. DA ROSCA DE 220 mm	PÇ	47	R\$ 8,50	R\$ 399,50
F-29	PARAFUSO CABEÇA QUADRADA DE AÇO ZINCADO, M12X1,5X250 mm	PÇ	12	R\$ 8,50	R\$ 102,00
F-34	PARAFUSO AUTO-ATARRACHANTE, CABEÇA CILÍNDRICA, 4,8x50 mm	PÇ	163	R\$ 8,50	R\$ 1.385,50
F-40	PARAFUSO ROSCA DUPLA EM AÇO ZINCADO, M12X2, COMP. TOTAL DE 400 mm, ROSCA TOTAL	PÇ	2	R\$ 8,50	R\$ 17,00
F-42	PARAFUSO CABEÇA QUADRADA DE AÇO ZINCADO, M16X2, COMP. TOTAL DE 300 mm, COMP. DA ROSCA DE 240 mm	PÇ	24	R\$ 8,50	R\$ 204,00
F-45	ARRUELA REDONDA DE AÇO ZINCADO, 44X5X22 mm	PÇ	18	R\$ 3,50	R\$ 63,00
F-47	PARAFUSO, CABEÇA SEXTAVADA DE AÇO ZINCADO, M10X1,25X50 mm, ROSCA TOTAL	PÇ	12	R\$ 8,50	R\$ 102,00

REF	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	UND	TOTAL	VR. UNIT. (R\$)	VR. TOTAL (R\$)
F-48	PORCA QUADRADA DE AÇO ZINCADO, M16X2	PÇ	20	R\$ 4,50	R\$ 90,00
F-49	PORCA QUADRADA DE AÇO ZINCADO, M12X1,5	PÇ	12	R\$ 4,50	R\$ 54,00
F-55	ARRUELA DE PRESSÃO AÇO ZINCADO DIAM. EXT. 18 mm, ESSES. 3 mm, FURO 13,5 mm	PÇ	13	R\$ 2,50	R\$ 32,50
F-56	ARRUELA DE PRESSÃO AÇO ZINCADO DIAM. EXT. 22 mm, ESSES. 2 mm, FURO 12 mm	PÇ	8	R\$ 2,50	R\$ 20,00
F-57	ARRUELA DE PRESSÃO AÇO ZINCADO; 28X4X22 mm	PÇ	18	R\$ 2,50	R\$ 45,00
F-63	CANTONEIRA ABAS IGUAIS DE AÇO ZINCADO, L-75x10x450 mm	PÇ	12	R\$ 15,00	R\$ 180,00
F-67	ARRUELA REDONDA AÇO ZINCADO, 16X1 mm, FURO 6 mm	PÇ	81	R\$ 2,50	R\$ 202,50
F-69	ARRUELA LISA PARA PARAFUSO, DIÂM. 1/4"	PÇ	72	R\$ 2,50	R\$ 180,00
-	PORCA SEXTAVADA SEXTAVADA DE AÇO ZINCADO, M10X1,25	PÇ	8	R\$ 5,50	R\$ 44,00
<b>CONECTORES</b>					
O-1	CONECTOR, T; CAA 266; TR/DR; D71014	PÇ	10	R\$ 65,00	R\$ 650,00
O-5	CONECTOR SUP; CAA 266; TUBO 3/8-1/2"; D-71008	PÇ	4	R\$ 65,00	R\$ 260,00
O-12	CONECT ATERRAMENTO, PARA CABO DE COBRE, 16-70 mm <sup>2</sup>	PÇ	17	R\$ 65,00	R\$ 1.105,00
O-13	CONECTOR PARAF FENDIDO C/FSNARADOR CU 35-70mm <sup>2</sup> TR 16-70mm <sup>2</sup>	PÇ	32	R\$ 65,00	R\$ 2.080,00
O-21	CONECTOR, PARAL; CAA 1/0 - 266; TR/DR; D-71027	PÇ	5	R\$ 65,00	R\$ 325,00
O-30	CONECTOR TERM. RETO; 4F; AL/CU; 6-750; D71018	PÇ	38	R\$ 65,00	R\$ 2.470,00
O-37	CONEC. TERMINAL COMPRESS P/CABO CU, 25 mm <sup>2</sup> , 1 F - 2 COMPRESS	PÇ	5	R\$ 65,00	R\$ 325,00
O-40	TERMINAL, TERMOCONTRÁTIL; INTERNO;15KV; 70-120; D72520	PÇ	3	R\$ 329,00	R\$ 987,00
O-48	TERMINAL COMPRESS. PINO LONGO, CABO CU ISOL, 120 mm <sup>2</sup>	PÇ	3	R\$ 55,00	R\$ 165,00
-	TERMINAL COMPRESS. PINO LONGO, CABO CU ISOL, 70 mm <sup>2</sup>	PÇ	1	R\$ 55,00	R\$ 55,00
-	GRAMPO PARALELO P/2 CABOS DE AÇO 3/8"	PÇ	6	R\$ 54,60	R\$ 327,60
-	ALÇA PREFORMADA PARA CABO DE AÇO EHS 3/8", FORNECIDO COM SAPATILHA	PÇ	6	R\$ 4,50	R\$ 27,00
<b>COMPONENTES</b>					
N-1	BUCHA DE NYLON; N8, PARAF ROSC SOB, 4.8X50mm	PÇ	152	R\$ 1,15	R\$ 174,80
<b>ILUMINAÇÃO</b>					
L-9	LÂMPADA INCANDESCENTE125 V, 100 W	PÇ	4	R\$ 27,80	R\$ 111,20
L-10	LUMINÁRIA A PROVA DE EXPLOÇÃO, AL FUNDIDO, TIPO ARANDELA 45°, ROSCA BSP 3/4", COM	PÇ	4	R\$ 189,00	R\$ 756,00
L-12	RÉGUA BORNES TERMINAIS 600 V, 15 A, 12" OS, BASE EM BAQUELITE CONTATOS, PARAFUSOS E ARRUELA EM BRONZE E ESTANHADO, PRARA LIGAÇÕES ATRAVÉS DE TERMINAIS DO TIPO OLHAL	PÇ	6	R\$ 209,00	R\$ 1.254,00
L-13	TOMADA TRIFÁSICA, À PROVA DE TEMPO, 20A, 380V, 3P+T EM CAIXA REDONDA COM TAMPA COM MOLA, ROSCA BSP 1" NA POSIÇÃO C	PÇ	4	R\$ 89,00	R\$ 356,00
L-14	TOMADA MONOFÁSICA, À PROVA DE TEMPO, 20A, 220V, 2P+T EM CAIXA REDONDA C/ TAMPA COM MOLA, ROSCA BSP 1" NA POSIÇÃO C	PÇ	4	R\$ 87,00	R\$ 348,00
L-15	ABRÇADEIRA UNHA AÇO ZINCADO P/ELETRODUTO 1.1/2"	PÇ	28	R\$ 2,50	R\$ 70,00

REF	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	UND	TOTAL	VR. UNIT. (R\$)	VR. TOTAL (R\$)
L-17	LUMINÁRIA TIPO PROJETO À PROVA DE TEMPO COM ALOJAMENTO PARA REATOR/IGNITOR, SOQUETE E-40, COM REATOR/IGNITOR E LÂMPADA VAPOR METÁLICO DE 250 W	PÇ	4	R\$ 310,00	R\$ 1.240,00
L-18	BASE P/RELÉ FOTOELÉTRICO	PÇ	4	R\$ 390,00	R\$ 1.560,00
L-19	RELÉ FOTOELÉTRICO; NF; 220 V; 1000 W; EXT. D60401	PÇ	4	R\$ 45,00	R\$ 180,00
<b>ISOLADORES</b>					
I-1	ISOL SUSP, COMP, CONCHA-BOLA, 72,5KV, E-LT-002/R5	PÇ	9	R\$ 398,00	R\$ 3.582,00
I-4	GANCHO-BOLA, AÇO ZN; 12000DAN; D-51019	PÇ	9	R\$ 34,50	R\$ 310,50
I-6	OLHAL, PARAF M20, AÇO ZN; 12000DAN; D-41005	PÇ	9	R\$ 34,50	R\$ 310,50
I-8	OLHAL P/PARAFUSO M16x300 mm, AÇO CARB C/PORCA-ARRUELAS	PÇ	4	R\$ 34,50	R\$ 138,00
I-16	ISOLADOR SUPORTE EM PORCELANA MACIÇO, C17, 72,5 kV, TR-216	0	1	R\$ 550,00	R\$ 550,00
I-18	CONCHA-OLHAL, AÇO ZINC; 12000 DAN; 51018.0	PÇ	9	R\$ 34,50	R\$ 310,50
<b>PREFORMADOS</b>					
R-9	GRAMPO, ANC; TERMINAL; CAA 1/0-266,8; D-710315	PÇ	9	85	R\$ 765,00
<b>TOTAL</b>					<b>R\$ 99.135,80</b>

Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 9 – Custos de serviços – Híbrida

Item	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	Unid.	Quant	Vr. Unit.	Totais
<b>I</b>	<b>PÁTIOS, ACESSOS E FECHAMENTOS</b>				
<b>1.0</b>	<b>SERVIÇOS PRELIMINARES</b>				
1.1	REGISTROS E TAXAS DO CREA	Vb	1,00	1.153,62	1.153,62
1.2	PLACA PADRÃO DA OBRA	m <sup>2</sup>	4,00	535,61	2.142,44
1.3	LOCAÇÃO DA OBRA CONFORME PROJETOS, COM AUXILIO DE TOPÓGRAFO (COMPLETA)	m <sup>2</sup>	230,00	9,05	2.081,50
1.4	LIMPEZA E RASPAGEM DO TERRENO INCLUSIVE BOTA-FORA (COMPLETO)	m <sup>2</sup>	230,00	4,50	1.035,00
1.5	SONDAGEM PARA RECONHECIMENTO DO SOLO E TESTE DE ABSORÇÃO DO SOLO	m	20,00	54,52	1.090,40
1.6	MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO DE PESSOAL E EQUIPAMENTOS	vb	1,00	13.720,00	13.720,00
1.7	RETIRADAS DE ÁRVORES	Unid.	3,00	314,04	942,12
1.8	ELABORAÇÃO DE RELATÓRIO "AS BUILT"	UT	72,00	26,93	1.938,96
<b>2.0</b>	<b>INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS</b>				
2.1	BARRACÃO COM AS RESPECTIVAS INSTALAÇÕES CONFORME DESENHO DO PROJETO, INCLUSIVE RETIRADA NO FINAL DA OBRA	m <sup>2</sup>	20,00	531,16	10.623,20
2.2	INSTALAÇÃO PROVISÓRIA DE ÁGUA, ESGOTO, LUZ E FORÇA	vb	1,00	6.757,04	6.757,04
2.3	VIGILÂNCIA NOTURNA	SEM	8,00	1.550,00	12.400,00
<b>3.0</b>	<b>MOVIMENTO DE TERRA</b>				
3.1	ATERRO COM COMPACTAÇÃO MECÂNICA COM AQUISIÇÃO DE MATERIAL	m <sup>3</sup>	132,00	67,69	8.935,08
3.2	ESCAVAÇÃO MANUAL CAMPO ABERTO EM TERRA ATÉ 2M	m <sup>3</sup>	62,60	43,25	2.707,45
3.3	ESCAVAÇÃO MANUAL DE VALAS EM TERRENO DE QUALQUER NATUREZA PARA LANÇAMENTO DOS CABOS DA MALHA DE TERRA	m	326,00	13,37	4.358,62
3.4	ESCAVAÇÃO MANUAL DE CAVAS PARA FINCAMENTO DE POSTES ATÉ 18M EM TERRENO DE QUALQUER NATUREZA, EXCETO ROCHA	unid	11,00	122,48	1.347,28
3.5	APILOAMENTO DO FUNDO DAS CAVAS DOS POSTES	unid	11,00	25,40	279,40
3.6	REATERRO COMPACTADO DAS CAVAS DOS POSTES COM SOLO-CIMENTO TRAÇO 1:20, ATÉ 18M	unid	11,00	162,16	1.783,76
3.7	REATERRO COMPACTADO DAS VALAS DA MALHA DE TERRA	m	326,00	6,80	2.216,80
3.8	REATERRO C/COMPACTAÇÃO MECÂNICA, E CONTROLE, MATERIAL DA VALA	m <sup>3</sup>	62,60	48,60	3.042,36
<b>4.0</b>	<b>BASES E FUNDAÇÕES PARA POSTES</b>				
4.1	BASE PARA TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA, EM CONCRETO ARMADO, APARENTE E VIBRADO, CONFORME DESENHOS DO PROJETO.	unid	2,00	10.674,41	21.348,82
4.2	BASE PARA DISJUNTOR (MÓDULO HÍBRIDO), EM CONCRETO ARMADO, APARENTE E VIBRADO, CONFORME DESENHOS DO PROJETO.	unid	1,00	1.517,33	1.517,33
4.4	PAREDE CORTA FOGO 69KV, CONFORME DESENHOS DO PROJETO.	unid	1,00	32.433,79	32.433,79
4.5	LASTRO EM CONCRETO SIMPLES NO TRAÇO 1:3:5 COM DIMENSÕES E ESPESSURA DE 0,80X0,80X0,15M NO "GOGÓ" DOS POSTES ATÉ 18M	unid	11,00	154,36	1.697,96
4.6	BASE EM CONCRETO ARMADO COM DIMENSÕES 0,80X0,80X0,05M, FERRO Ø 5.0 COM MALHA 10X10CM, NO FUNDO DAS CAVAS DOS POSTES ATÉ 18M.	unid	11,00	198,48	2.183,28
4.7	BASE PARA EXTINTOR COM ABRIGO	unid	1,00	944,45	944,45
4.8	MANILHA PRÉ-FABRICA DIAM. INTERNO DIAM. ATÉ 1,00M INTERNO, CLASSE CA-2	unid	8,00	514,29	4.114,32
4.9	MANILHA PRÉ-FABRICA DIAM. INTERNO DIAM. ATÉ 0,80M INTERNO, CLASSE CA-2	unid	20,00	278,54	5.570,80
<b>5.0</b>	<b>CAIXAS</b>				

Item	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	Unid.	Quant	Vr. Unit.	Totais
5.1	CAIXA SEPARADORA DE ÁGUA E ÓLEO EM TUBO PRÉMOLDADO COM FUNDO E TAMPA EM CONCRETO ARMADO, CONFORME DESENHOS DO PROJETO	unid	1,00	35.004,70	35.004,70
5.3	CAIXA DE PASSAGEM COM FUNDO DE CONCRETO ARMADO, EM ALVENARIA DE TIJOLO CERÂMICO/BLOCO, CHAPISCADO, REBOCADA E IMPERMEABILIZADA, COM TAMPA DE PERFIL METÁLICO E EM CONCRETO ARMADO COM FERRO Ø 5.0, COM MALHA 10X10CM, NAS DIMENSÕES DE 0,35X0,35X0,50M, CONFORME DESENHOS DO PROJETO	unid	2,00	471,38	942,76
5.4	CAIXA DE PASSAGEM COM FUNDO DE CONCRETO ARMADO, EM ALVENARIA DE TIJOLO CERÂMICO/BLOCO, CHAPISCADO, REBOCADA E IMPERMEABILIZADA, COM TAMPA DE PERFIL METÁLICO E EM CONCRETO ARMADO COM FERRO Ø 5.0, COM MALHA 10X10CM, NAS DIMENSÕES DE 0,60X0,60X0,50M, CONFORME DESENHOS DO PROJETO	unid	2,00	839,13	1.678,26
5.5	CAIXA DE PASSAGEM COM FUNDO DE CONCRETO ARMADO, EM ALVENARIA DE TIJOLO CERÂMICO/BLOCO, CHAPISCADO, REBOCADA E IMPERMEABILIZADA, COM TAMPA DE PERFIL METÁLICO E EM CONCRETO ARMADO COM FERRO Ø 5.0, COM MALHA 10X10CM, NAS DIMENSÕES DE 0,90X1,20X1,20M, CONFORME DESENHOS DO PROJETO	unid	1,00	1.785,07	1.785,07
<b>6.0</b>	<b>ELETRODUTOS</b>				
6.1	ESCAVAÇÃO, ASSENTAMENTO E REATERRO, DE ELETRODUTOS E CONEXÕES EM PVC RÍGIDO DE Ø 1"	m	25,00	26,95	673,75
6.2	ESCAVAÇÃO, ASSENTAMENTO E REATERRO, DE ELETRODUTOS E CONEXÕES EM AÇO GALVANIZADO DE Ø 3"	m	34,00	110,82	3.767,88
6.3	ESCAVAÇÃO, ASSENTAMENTO E REATERRO, DE ELETRODUTOS E CONEXÕES EM PVC RÍGIDO DE Ø 3"	m	9,00	46,46	418,14
6.5	ESCAVAÇÃO, ASSENTAMENTO E REATERRO, DE ELETRODUTOS KANAFLEX DE Ø 2"	m	62,00	56,34	3.493,08
6.6	ESCAVAÇÃO, ASSENTAMENTO E REATERRO, DE ELETRODUTOS KANAFLEX DE Ø 4"	m	380,00	94,01	35.723,80
<b>8.0</b>	<b>PAVIMENTAÇÃO</b>				
8.2	MEIO FIO PRÉ MOLDADO (0,07X0,30X1,00) M	m	8,00	30,03	240,24
<b>9.0</b>	<b>CONCRETO</b>				
10.1	CONCRETO ARMADO PARA LAJE, CINTAS, VIGAS E PILARES, COMPLETO, INCLUSIVE ESCORAMENTO.	m³	2,50	2.432,54	6.081,35
10.2	ENVELOPE DE CONCRETO P/TUBOS PVC ENTERRADOS, TIPO C, FCK=13,5MPA	M3	1,20	475,04	570,05
<b>11.0</b>	<b>DRENAGEM</b>				
11.2	AQUISIÇÃO, ESCAVAÇÃO, ASSENTAMENTO E REATERRO DE TUBO PVC RÍGIDO DN 75MM (COMPLETO).	m	2,00	20,76	41,52
11.3	AQUISIÇÃO, ESCAVAÇÃO, ASSENTAMENTO E REATERRO DE TUBO PVC RÍGIDO DN 100MM (COMPLETO).	m	8,00	23,21	185,68
11.4	AQUISIÇÃO, ESCAVAÇÃO, ASSENTAMENTO E REATERRO DE TUBO PVC RÍGIDO DN 150MM (COMPLETO).	m	8,00	72,30	578,40
11.5	AQUISIÇÃO, ESCAVAÇÃO, ASSENTAMENTO E REATERRO DE TUBO CORRUGADO PEAD TIPO KANANET DN 230MM (COMPLETO).	m	12,00	94,49	1.133,88
11.6	AQUISIÇÃO, ESCAVAÇÃO, ASSENTAMENTO E REATERRO DE TUBO FOFO DN 150MM (COMPLETO).	m	16,00	115,24	1.843,84
11.7	CAIXA DE PASSAGEM COM FUNDO DE CONCRETO ARMADO, EM ALVENARIA DE TIJOLO CERÂMICO/BLOCO, CHAPISCADO, REBOCADA E IMPERMEABILIZADA, COM TAMPA DE PERFIL METÁLICO E EM CONCRETO ARMADO COM FERRO Ø 5.0, COM MALHA 10X10CM, NAS DIMENSÕES DE 0,80X0,80XVAR. CONFORME DESENHOS DO PROJETO	unid	3,00	781,95	2.345,85
11.8	CAIXA DE PASSAGEM COM FUNDO DE BRITA N.º 3, EM ALVENARIA DE TIJOLO CERÂMICO, CHAPISCADO, REBOCADA E	unid	1,00	396,18	396,18

Item	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	Unid.	Quant	Vr. Unit.	Totais
	IMPERMEABILIZADA, NAS DIMENSÕES DE 0,60X0,60XVAR, COMPLETA.				
11.9	CAIXA DE PASSAGEM DE ÓLEO COM FUNDO DE CONCRETO ARMADO, EM ALVENARIA DE TIJOLO CERÂMICO/BLOCO, CHAPISCADO, REBOCADA E IMPERMEABILIZADA, COM TAMPA DE PERFIL METÁLICO E EM CONCRETO ARMADO COM FERRO Ø 5.0, COM MALHA 10X10CM, NAS DIMENSÕES DE 0,60X0,60XVAR., CONFORME DESENHOS DO PROJETO	unid	1,00	520,10	520,10
11.10	BRITA Nº 2 ESPALHADA NO NÍVEL DO PÁTIO DA SE	m³	18,00	150,74	2.713,32
<b>12.0</b>	<b>MURO E FECHAMENTOS</b>				
12.1	FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DO PORTÃO DE ACESSO À SUBESTAÇÃO TIPO I COMPLETO)	unid	2,00	4.150,56	8.301,12
12.2	FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DO PORTÃO DE ACESSO À SUBESTAÇÃO TIPO II COMPLETO)	unid	1,00	2.329,87	2.329,87
12.3	INSTALAÇÃO DA LOGOMARCA E IDENTIFICAÇÃO DA SUBESTAÇÃO	unid	1,00	1.388,17	1.388,17
12.4	CONSTRUÇÃO DO ABRIGO PARA EXTINTORES DE INCÊNDIO CONFORME PROJETO - COMPLETA	unid	1,00	2.525,57	2.525,57
12.5	CONSTRUÇÃO DO MURO DE ARRIMO CONF. DET-051.39, ATÉ 1,00M (COMPLETO)	m	16,30	362,53	5.909,24
12.6	CERCA/GRADIL NYLOFOR H=2,03M, MALHA 5 X 20CM - FIO 5,00MM, COM FIXADORES DE POLIAMIDA EM POSTE 40 X 60 MM CHUMBADOS EM BASE DE CONCRETO (EXCLUSIVE ESTA) , REVESTIDOS EM POLIESTER POR PROCESSO DE PINTURA ELETROSTÁTICA (GRADIL E POSTE), NAS CORES VERDE OU BRANCA - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO	m	18,00	268,45	4.832,10
12.7	MURETA C/TIJOLO MACIÇO/CERÂMICO OU BLOCO DE CONCRETO, REBOCADA, INCL. FUNDAÇÕES	m2	11,00	268,14	2.949,54
12.8	MURO DIVISÓRIO TIPO CORTA FOGO C/ BLOCOS DE CONCRETO 19X19X39 CM, H=6,20 M, SOBRE VIGAS BALDRAMES, C/ PILARES E VIGAS DE AMARRAÇÃO DE CONCRETO (M)	m	9,50	4.023,61	38.224,30
12.9	RECOMPOSIÇÃO DO MURO C/MOURÕES E PLACAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO H=2.00M	m	9,00	212,05	1.908,45
<b>13.0</b>	<b>PINTURA</b>				
13.1	ESMALTE COM BASE PRÓPRIA PARA FERRO GALVANIZADO "GALVIT" (PORTÃO DE ACESSO)	m²	54,00	23,91	1.291,14
<b>14.0</b>	<b>COMPLEMENTAÇÃO DA OBRA</b>				
14.1	LIMPEZA TOTAL, INCLUSIVE BOTA-FORA	m²	230,00	1,89	434,70
<b>TOTAL</b>					<b>R\$ 318.597,82</b>

Fonte: elaborada pelo autor.

**ANEXO C – PROJETO ELETROMECAÂNICO BÁSICO**