



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
DISCIPLINA: ESTÁGIO INTEGRADO**

**ANTÔNIO ALBERTO NUNES NOGUEIRA BASTOS**

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO INTEGRADO  
CONSTRUTORA SUCESSO SA  
ORIENTADOR: BENEDITO ANTONIO LUCIANO  
PERÍODO: 10/03/2010 À 14/08/2010**

**CAMPINA GRANDE**

**2010**

ANTÔNIO ALBERTO NUNES NOGUEIRA BASTOS

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO INTEGRADO**  
**EMPRESA: CONSTRUTORA SUCESSO SA**  
**PERÍODO: 10/03/2010 À 14/08/2010**

Relatório de Estágio Integrado submetido à Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para obtenção da graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador  
Prof. Benedito Antonio Luciano

**CAMPINA GRANDE**  
**2010**

ANTÔNIO ALBERTO NUNES NOGUEIRA BASTOS

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO INTEGRADO**

**EMPRESA: CONSTRUTORA SUCESSO SA**

**PERÍODO: 10/03/2010 À 14/08/2010**

Relatório de Estágio Integrado submetido à Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para obtenção da graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador

Prof. Benedito Antonio Luciano

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

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Benedito Antonio Luciano

Orientador

---

**Avaliador**

---

**Avaliador**

## SUMÁRIO

<b>1.Introdução</b> .....	1
<b>2.Subestações</b> .....	2
<b>3.Etapas para Construção de uma Subestação</b> .....	3
<b>3.1.Planejamento Ambiental da Contratada</b> .....	4
3.2.1.Documentação .....	3
3.2.2.Preparo da Área .....	4
3.2.3.Instalações .....	4
<b>3.3.Estradas de Acesso</b> .....	5
3.3.1.Escolha do Traçado e Remoção da Vegetação.....	5
3.3.2.Cortes, Aterros e Drenagem .....	5
3.3.3.Recuperação das Áreas Degradadas na Construção de Acessos .....	6
<b>3.4.Obras Civas</b> .....	6
3.4.1.Supressão de Vegetação e Terraplenagem .....	6
3.4.2.Utilização / Recuperação de Áreas de Empréstimo e Bota-Fora Usadas nos Serviços de Terraplenagem .....	6
3.4.3.Drenagem .....	6
3.4.4.Fundações, Estruturas em Concreto e Edificações.....	6
<b>3.5.Montagem Eletromecânica</b> .....	6
3.5.1.Montagem de Estruturas e Equipamentos .....	6
3.5.2.Montagem dos Barramentos.....	7
3.5.3.Aterramento .....	7
<b>3.6.Revisão Final e Comissionamento</b> .....	7
<b>3.7.Desmobilização de Canteiros e Alojamentos</b> .....	7
<b>4.Caracterização do Empreendimento</b> .....	7
4.1.Localização do Empreendimento.....	7
4.2.Unifilar Esquemático - SE Miranda II 550/230 kV.....	8
4.3.Esquema do Seccionamento das Linhas de Transmissão Presidente Dutra/São Luiz, circuitos I e II.....	10
<b>5.Alguns Equipamentos Utilizados na SE Miranda II 500/230 kV</b> .....	11
<b>5.1.Transformadores de Força</b> .....	11
<b>5.2.Disjuntores de Alta Tensão</b> .....	18
5.2.1. Disjuntores a Óleo.....	19
5.2.2. Disjuntores a Ar-Comprimido.....	21
5.2.3. Disjuntores a Vácuo.....	23
5.2.4. Disjuntores a SF6.....	24
5.2.5. Disjuntores Areva GL 317 e GL 317D.....	25
<b>6.Superação de Disjuntores de Alta Tensão</b> .....	28
<b>7. Procedimentos de Montagem do Disjuntor GL 317D</b> .....	33
<b>8.Testes Pré-Comissionamento Elétrico dos Disjuntores Areva GL 317</b> .....	41
<b>8.Conclusão</b> .....	44
<b>Referências</b> .....	46

## 1. Introdução

A crescente demanda por energia elétrica é uma constante desde seu surgimento. Os avanços tecnológicos, os crescimentos populacional e industrial, a procura do bem-estar, são exemplos de fatores determinantes para o aumento do consumo desta forma de energia. Para atender um mundo que cada vez mais depende da eletricidade para sobreviver, são necessários altos investimentos nos setores de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

A **Construtora Sucesso S/A**, pertencente ao **Grupo Claudino** e com sede em **Teresina-PI**, é uma empresa que realiza obras em todo o país e nas mais diversas áreas: edificações em geral, pontes, obras viárias, saneamento, linhas de distribuição e há cerca de três anos entrou no setor elétrico de alta tensão, construindo subestações transformadoras, parques eólicos, linhas de transmissão (LT) e usinas hidrelétricas. Em consórcio com a **Areva T&D**, a empresa foi contratada pelas **Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A - Eletronorte** para a execução do projeto de ampliação da **Subestação Miranda II (500/ 230/ 69 kV – 450 MVA)** além dos seccionamentos das **LT Presidente Dutra/São Luiz (500 kV), circuitos 1 e 2**, com a construção de vinte e uma torres de transmissão que irão mudar o percurso das LT, redirecionando-as até a subestação.

No contrato ficou determinado que a **Sucesso** é responsável pelos serviços de topografia, obras civis, montagem eletromecânica e suporte ao pessoal de comissionamento e supervisão de montagem de equipamentos. A **Areva** tem o dever de fornecer os equipamentos e estruturas metálicas além de pessoal para comissionamento e supervisão.

Tendo como motivação a experiência profissional de um engenheiro na área prática, este relatório de estágio integrado é iniciado com uma visão geral das etapas para construção

de uma subestação. Adicionalmente, é mostrada a caracterização do empreendimento da nova **SE Miranda II**. Por último, são apresentadas considerações a respeito dos **Disjuntores GL317 e GL317D**, e do autotransformador de força da subestação tipo **AMOC-NF**, todos de fabricação da **Areva T&D**, procurando abordar o funcionamento destes equipamentos, além das etapas de montagem e testes antes do energizamento dos disjuntores.

## 2. Subestações

Podemos definir uma subestação como um conjunto de equipamentos de manobra, transformação, proteção, regulação de tensão e/ou compensação de reativos, capaz de dirigir o fluxo de energia elétrica em sistema de potência e aumentar sua confiabilidade, fornecendo rotas alternativas para este fluxo, garantindo proteção eficaz contra todos os defeitos aos quais o sistema está exposto e isolamento dos trechos onde ocorreram estes defeitos.

As subestações podem ser classificadas levando-se em consideração sua função e seu tipo de instalação.

De acordo com sua função podem ser classificadas em:

- **Subestações Transformadoras:** são aquelas que transformam a tensão de entrada para outros níveis de tensão. Podem ser elevadoras ou abaixadoras.
- **Subestações Seccionadoras, de Manobra ou Chaveamento:** são aquelas que interligam circuitos de mesma classe de tensão, permitindo sua multiplicação, manobras e seccionamento de trechos específicos.

Conforme o tipo de instalação as subestações dividem-se em:

- **Subestações Externas ou Ao Tempo:** caracterizam-se pela instalação ao ar livre. Desta forma os equipamentos ficam sujeito às intempéries e à poluição,

o que reduz a eficácia de seus isolamentos. Por conta disto as manutenções são mais frequentes neste tipo de instalação.

- **Subestações Internas ou Abridadas:** são aquelas que de alguma forma são construídas dentro de edificações ou câmaras subterrâneas. Algumas são isoladas a gás, a exemplo do SF<sub>6</sub> (Hexafluoreto de Enxofre).

### **3. Etapas para construção de uma subestação**

A ELETROBRÁS e o Ministério de Minas e Energia definiram uma série de etapas necessárias para a alocação e construção de uma subestação.

#### **3.1. Planejamento Ambiental da Contratada**

Criação da Gerência Ambiental da Contratada na obra, seguida da elaboração e apresentação dos seguintes documentos à Fiscalização do Empreendedor, antes do início dos serviços de construção:

- análise crítica dos documentos e normas ambientais e de suas conseqüências para a execução dos serviços;
- plano de Gestão Ambiental;
- evidências do atendimento às Normas Reguladoras (NR) do Ministério do Trabalho.

#### **3.2. Mobilização de Canteiros e Alojamentos**

##### **3.2.1. Documentação**

Elaboração e apresentação para aprovação da Fiscalização do Empreendedor, antes do início dos serviços de construção, das plantas das instalações provisórias de canteiros e alojamentos, contendo sua localização e detalhamento.

### 3.2.2. Preparo da Área

#### 3.2.2.1. Supressão da vegetação

Limpeza das áreas onde se localizarão os canteiros de obras e alojamentos.

#### 3.2.2.2. Terraplenagem

Terraplenagem, quando necessária e autorizada pela Fiscalização do Empreendedor, das áreas para instalação dos canteiros de obra e alojamentos, em acordo com as especificações ambientais.

#### 3.2.2.3. Drenagem pluvial

Execução de obras de drenagem de águas pluviais nas áreas dos canteiros e alojamentos.

### 3.2.3. Instalações

#### 3.2.3.1. Instalações de atendimento médico e segurança

Implantação de salas destinadas aos inspetores de segurança e de ambulatórios médicos, devidamente equipados, para atendimento à totalidade dos trabalhadores da obra.

#### 3.2.3.2. Instalações para repouso



Implantação de alojamentos devidamente mobiliados e equipados, compostos no mínimo de dormitórios, sanitários e área de lazer, para atendimento à totalidade dos trabalhadores da obra.

#### 3.2.3.3. Instalações para alimentação

Implantação de refeitórios e cozinhas, com uso de materiais adequados e devidamente equipados, para atendimento à totalidade dos trabalhadores da obra, nos canteiros e no campo.

#### 3.2.3.4. Instalações de abastecimento d'água

Instalação de sistemas de abastecimento de água adequados nos canteiros e alojamentos.

#### 3.2.3.5. Instalações de esgotamento sanitário

Instalação de sistemas de esgotamento sanitário adequados nos canteiros e alojamentos.

#### 3.2.3.6. Instalações de proteção contra incêndios

Instalações do sistema de combate a incêndio nos canteiros e alojamentos.

### **3.3. Estradas de Acesso**

#### 3.3.1. Escolha do Traçado e Remoção da Vegetação

Serviços adequados de escolha de traçado e supressão de vegetação para implantação das vias de acesso às áreas das obras da Subestação ou de canteiros, alojamentos, etc.

#### 3.3.2. Cortes, Aterros e Drenagem

Serviços de abertura, terraplenagem e obras de drenagem das vias de acesso às obras da Subestação ou outras áreas.

### 3.3.3. Recuperação das Áreas Degradadas na Construção de Acessos

Serviços de recuperação das áreas degradadas pela construção das vias de acesso à Subestação, canteiros e alojamentos.

## **3.4. Obras Civas**

### 3.4.1. Supressão de Vegetação e Terraplenagem

Serviços de supressão da vegetação para implantação da Subestação.

3.4.2. Utilização / Recuperação de Áreas de Empréstimo e Bota-Fora Usadas nos Serviços de Terraplenagem

Utilização e recuperação das áreas de empréstimo e bota-fora decorrentes dos serviços de terraplenagem dos pátios da Subestação.

### 3.4.3. Drenagem

Execução de obras de drenagem de águas pluviais dos pátios da Subestação, de acordo com as especificações ambientais.

### 3.4.4. Fundações, Estruturas em Concreto e Edificações

Execução de construção das fundações, estruturas de concreto e edificações

## **3.5. Montagem Eletromecânica**

### 3.5.1. Montagem de Estruturas e Equipamentos

Levantamentos de postes e montagens de TC, transformadores, disjuntores, etc.

### 3.5.2. Montagem dos Barramentos

Instalação das cadeias, lançamento de cabos e montagem de barramentos rígidos.

### 3.5.3. Aterramento

Execução das valetas para malha de terra e perfuração dos buracos das hastes.

## 3.6. Revisão Final e Comissionamento

Revisão final de toda a obra, com testes e correção das deficiências porventura encontradas, de modo a entregar a Subestação em perfeitas condições de operação.

## 3.7. Desmobilização de Canteiros e Alojamentos

Reintegração à paisagem, ao final da obra, dos locais de canteiro e alojamentos, sem danos ao meio ambiente ou às comunidades adjacentes.

# 4. Caracterização do Empreendimento

## 4.1. Localização do empreendimento

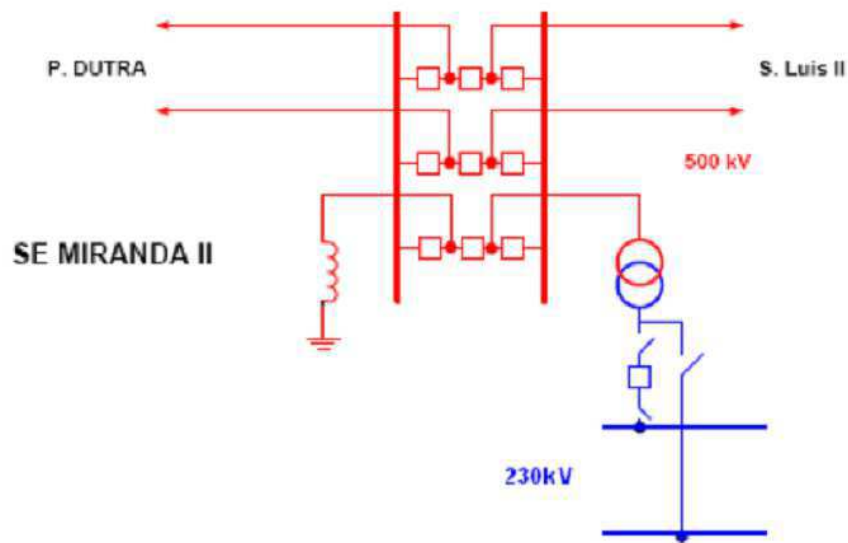
A SE Miranda II está implantada numa área de 8 hta na cidade de Miranda do Norte – MA, conforme Figura 1. O município possui cerca de 18.000 habitantes e fica aproximadamente a 120 km da capital do estado, São Luiz. Antigamente a localidade pertencia à cidade de Itapecurumirim - MA e tem apenas 22 anos de emancipação política. O principal acesso a localidade se dá através das BR – 135 e BR – 222. Recentemente, a **Geranorte** instalou na cidade duas usinas termelétricas com plantas idênticas, **Geramar I e II**, com capacidade para gerar 165 MW utilizando como combustível óleo pesado de alta viscosidade importado ou produzido no Brasil, a ser fornecido pela **Petrobrás**.



**Figura 1:** Localização do empreendimento.

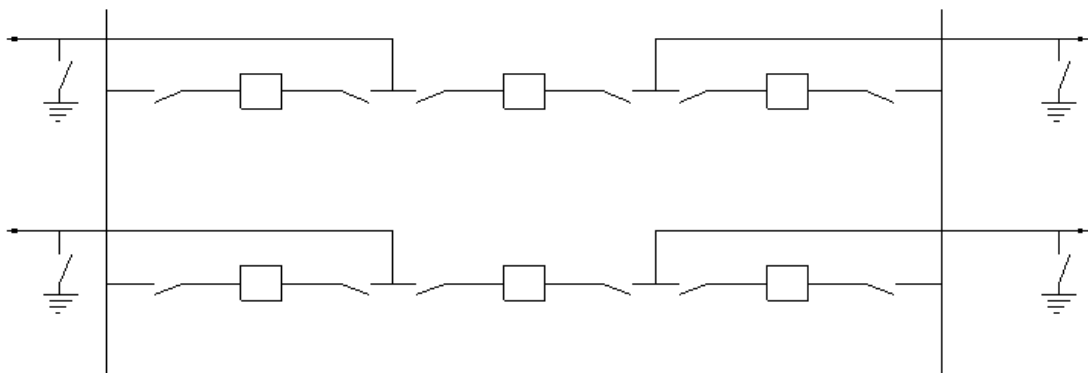
#### **4.2. Unifilar Esquemático - SE Miranda II 550/230 kV**

Na Figura 2 é apresentado o diagrama unifilar simplificado da subestação. A partir de sua análise, pode-se verificar a existência de um barramento duplo com a configuração disjuntor e meio. Ela também indica a presença de um banco de reatores, com a função de compensar a capacitância da linha, minimizando as quedas de tensão, um banco de transformadores 500/230 kV, além de um barramento 230 kV do tipo principal e transferência com disjuntor simples com contorno.



**Figura 2:** Diagrama Unifilar Simplificado.

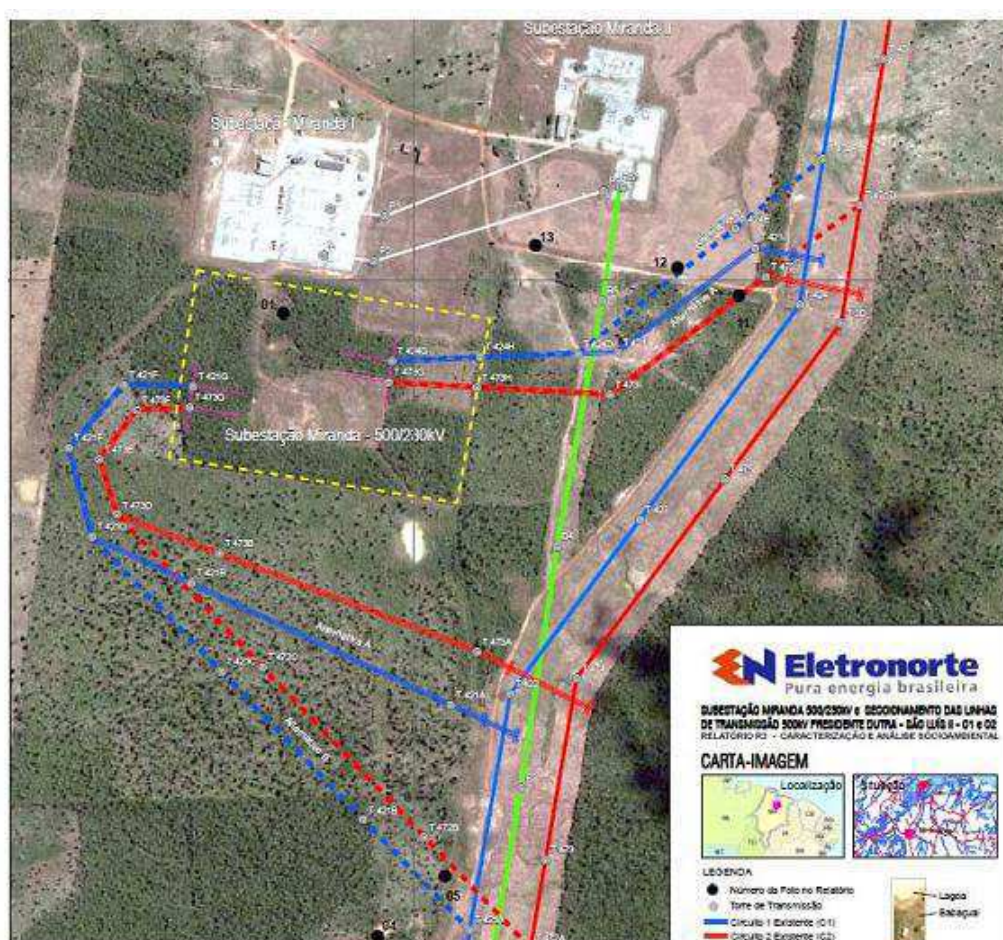
Para subestações de transmissão a configuração disjuntor e meio, representada na Figura 3, é a solução tradicional utilizada na maioria dos países. Este arranjo é formado por três disjuntores em série ligando uma barra dupla, sendo que cada dois circuitos são ligados de um lado e outro do disjuntor central de um grupo. Três disjuntores protegem dois circuitos (um disjuntor e meio por circuito), em uma configuração com dois barramentos. Neste caso, como existem duas barras, a ocorrência de falha em uma delas não provocará o desligamento de equipamentos, mas apenas retirará de operação a barra defeituosa.



**Figura 3:** Barramento Duplo com disjuntor e meio.

### 4.3. Esquema do Seccionamento das Linhas de Transmissão Presidente Dutra/ São Luiz, circuitos I e II

Na Figura 4 é apresentado o modo de seccionamento das linhas de transmissão 500 kV. Nela pode-se observar a manobra feita para redirecionar as linhas até a subestação. É interessante frisar que as torres existentes não serão removidas, pois na ocorrência de algum defeito na subestação, existe a possibilidade adicional de remanejamento da carga através do percurso antigo.



**Figura 4:** Seccionamento da LT P.Dutra/S.Luiz, circuitos 1 e 2.

A maioria das torres utilizadas neste percurso são torres de ancoragem, já que existem várias curvas nas linhas para mudança de seu caminho original, provocando desta forma grandes esforços mecânicos nas estruturas. As torres de suspensão aparecem em menor

número, pois nos “retões” a distância entre as torres é bem maior. Na Figura 5 é apresentada uma fotografia de uma torre do tipo **FTQ1** ainda sem as cadeias de isoladores instaladas.



**Figura 5:** Torre de Ancoragem 4, tipo FTQ1, P.Dutra C1.

## **5. Alguns Equipamentos Utilizados na SE Miranda II 500/230 kV**

Alguns equipamentos são indispensáveis para o pleno funcionamento das subestações. No empreendimento em questão, todos os equipamentos de alta tensão utilizados são de fabricação da **Areva T&D**, empresa líder mundial no segmento, com sede na França e diversas filiais espalhadas pelo mundo, inclusive no Brasil.

### **5.1. Transformadores de Força**

Existem duas modalidades de Equipamentos de Transformação, os Transformadores de Força e os Transformadores para Instrumentos. Os Transformadores de Força são de fundamental importância no que diz respeito à transmissão de energia elétrica a grandes distâncias, pois sem a elevação dos níveis de tensão na geração e seu abaixamento nas

proximidades dos centros consumidores seria inviável o transporte de energia elétrica a centros distantes do sistema de geração. Já os Transformadores para Instrumentos são especialmente projetados e construídos para serem empregados em sistemas de medição, controle e proteção e atuam reduzindo tensão e corrente a níveis compatíveis com relés e medidores.

A obra de ampliação da SE Miranda II 500/230 kV adicionou a subestação um banco trifásico de autotransformadores formado por três unidades monofásicas (Figura 6), de tensão  $500/\sqrt{3}$ -230/ $\sqrt{3}$ -13,8 kV, com capacidade máxima de 150 MVA cada e frequência nominal 60 Hz, além de uma unidade reserva com as mesmas características, todos projetados para operarem ao tempo. Abaixo seguem alguns dados de placa de uma das unidades:

- Potência: 90/120/150 MVA
- Tensão:  $500/\sqrt{3}$ -230/ $\sqrt{3}$ -13,8 kV
- Frequência: 60 Hz
- Ligações do Banco: Estrela – Estrela – Triângulo
- Tipo de Comutação: Sob Carga
- Massa Total (com óleo): 146.500 kg
- Massa p/ Transporte sem óleo: 93.000 kg
- Massa de Óleo: 45.000 kg
- Volume de Óleo: 50.562 l





**Figura 6:** Transformadores de Força da SE Miranda II.

Estes equipamentos normalmente não vêm completos de fábrica, sendo vários acessórios enviados separadamente para montagem após colocação das unidades nas suas devidas bases. Dentre estes itens adicionais, destacam-se os seguintes:

- **Buchas de Alta, Média e Baixa Tensão e de Neutro:** têm por função prover isolamento elétrico entre os condutores energizados que atravessam o tanque e o próprio tanque para a tensão nominal e sobretensões do sistema e ainda servir como suporte mecânico para os condutores e conexões externas. Para que possam desempenhar esta função de maneira satisfatória, cuidados especiais devem ser tomados no seu projeto, onde se deve levar em conta o dimensionamento e controle dos campos elétricos, escolha de materiais apropriados para que possam suportar as solicitações eletromecânicas de regime permanente e transitório e garantir as condições de estanqueidade, evitando que a umidade e poeiras penetrem no seu interior o que pode levar a degradação de suas características elétricas.

- **Transformadores de Corrente:** transformador para instrumento projetado e construído com o objetivo de ser empregado em sistemas elétricos de medição, controle e proteção.
- **Radiadores:** elemento dissipador de calor, através do qual circula o óleo, por convecção, no interior do equipamento, evitando seu superaquecimento.
- **Ventiladores:** elementos auxiliares que fazem parte do sistema de resfriamento ativo do transformador, previstos para entrar em operação em caso de sobrecarga.
- **Tanques de Expansão de Óleo:** tem a função de acomodar as dilatações no volume do óleo decorrentes do aumento das temperaturas ambiente e de operação, além de suprir pequenos vazamentos de óleo.
- **Relé Buchholz:** detecta a passagem de bolhas de gás ou ar do tanque principal em direção ao tanque de expansão. Estas bolhas são provenientes da formação de arcos elétricos no interior do tanque principal, decorrentes de falhas no isolamento das bobinas e conexões internas do transformador, que podem se agravar e gerar um curto-circuito interno. Dependendo do tamanho da bolha o relé pode tirar o transformador de operação ou simplesmente emitir alarme visual e sonoro.

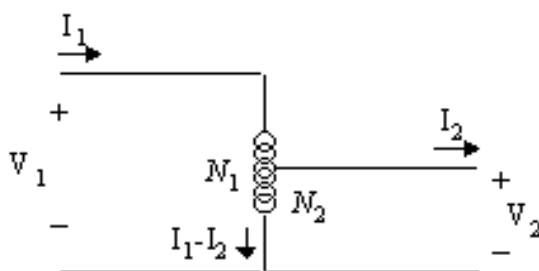
Além disso, as unidades não vêm com óleo isolante de fábrica. O enchimento dos tanques com óleo mineral é feito na própria subestação, após tratamento adequado para retirada de ar, gases, umidade e impurezas presentes no óleo. Também é necessário que se faça um processo de vácuo no tanque dos autotransformadores antes do seu abastecimento.

O núcleo destes transformadores é formado por chapas de aço silício de grãos orientados laminados a frio, pois elas possuem melhores propriedades magnéticas na direção de laminação em relação às chapas com laminação a quente, proporcionando uma alta

permeabilidade e baixas perdas específicas no núcleo. Tais lâminas são recobertas ainda por uma camada isolante resistente ao calor e que não é afetada pelo óleo isolante presente no interior do equipamento.

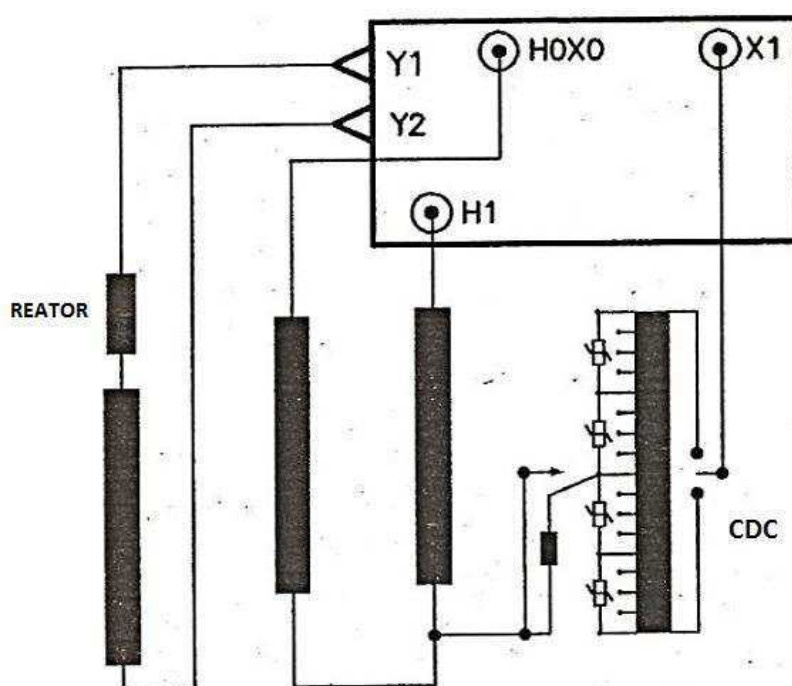
Um autotransformador é um transformador com um único enrolamento que tem um terminal intermediário dividindo o enrolamento em duas seções. Consideram-se cada secção como um enrolamento de um transformador comum: primário e secundário.

A conexão metálica entre os enrolamentos fornece um aumento da potência dos autotransformadores quando comparados aos transformadores multi-enrolamentos para uma mesma seção transversal de condutores. A explicação para esse aumento é que o transformador convencional não possui conexão metálica entre os dois enrolamentos, e então a potência é transmitida de um enrolamento ao outro via acoplamento magnético. Como os autotransformadores têm seus enrolamentos conectados para fornecer a operação de autotransformação, a conexão metálica entre eles é quem transporta a energia do primário para o secundário, sem ser transformada magneticamente. Embora vantajoso a esse respeito, tal conexão destrói a propriedade de isolamento dos transformadores convencionais, o significa que a autotransformação não pode ser aplicada em qualquer transformador. Apesar da diferença construtiva, todos os princípios aplicados ao transformador multi-enrolamentos normal são aplicáveis aos autotransformadores. Na Figura 7 é apresentado o circuito equivalente de um autotransformador.



**Figura 7:** Circuito Equivalente de um Autotransformador Abaixador [9].

Durante a operação do autotransformador são permitidas mudanças na relação de tensão entre os terminais de alta (500 kV) e média tensão (230 kV). Isto pode ser conseguido através de um comutador de derivação em carga (CDC), localizado no interior do tanque principal, que atua adicionando ou subtraindo espiras do enrolamento de regulação. Este comutador é projetado para operar na presença ou não de carga, e possui vida útil igual a do transformador. As operações de comutação são realizadas no interior da chave comutadora, que também é preenchida por óleo isolante, evitando que os arcos decorrentes das mudanças de Tap's deteriorem o óleo do tanque principal. Na Figura 8 pode-se verificar a disposição interna dos enrolamentos e do CDC.

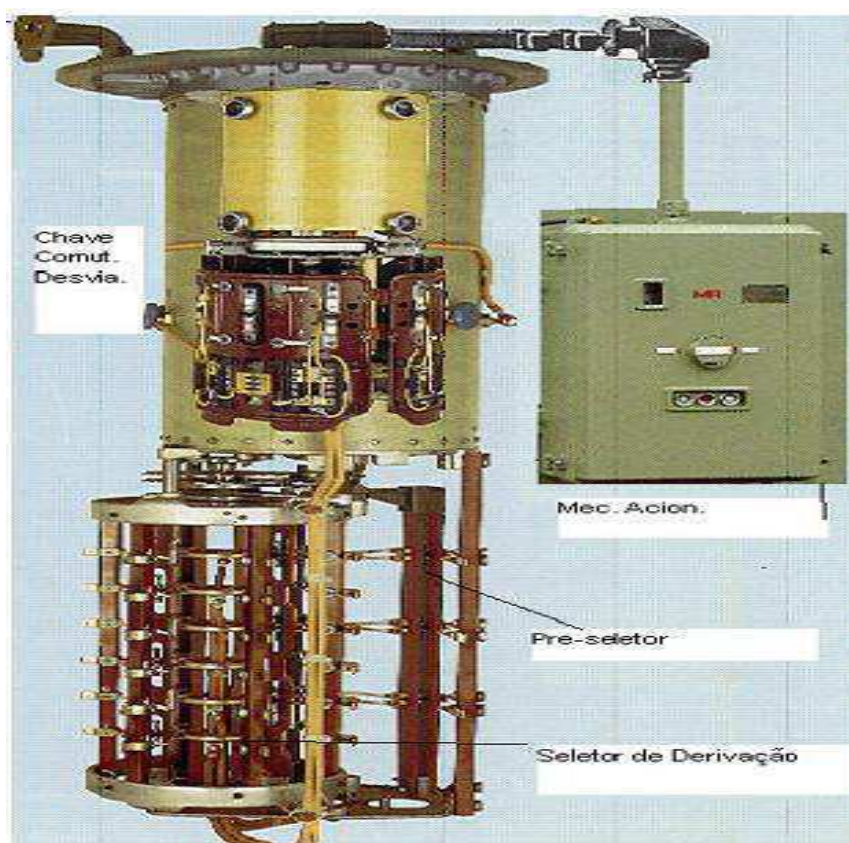


**Figura 8:** Disposição Interna dos Enrolamentos e do CDC.

O CDC (Figura 9) pode ser comandado manualmente, através de uma alavanca que fica guardada no interior do armário de acionamento motorizado, por meio de botões situados neste mesmo armário, ou automaticamente. Neste último caso, torna-se necessária a presença

de um relé regulador de tensão no alojamento de comando do transformador ou em um painel à distância, que pode estar situado nas casas de comando ou casa de relés.

A baixa tensão (13,8 kV) do autotransformador não possui regulação de tensão. Além disso, pode-se verificar através da Figura 8, a presença de um reator em série com o terciário do transformador. Este elemento atua como um limitador de corrente de curto-circuito neste enrolamento. Sua presença se faz necessária devido aos valores exorbitantes que estas correntes podem assumir no lado de baixa tensão do transformador, já que diferentemente da relação de tensão, a relação de corrente entre os enrolamentos é inversamente proporcional à relação de espiras.



**Figura 9:** Comutador de Derivação em Carga.

## 5.2. Disjuntores de Alta Tensão

Os disjuntores são os equipamentos responsáveis por estabelecer, conduzir e interromper circuitos em condições normais e durante a ocorrência de falta. No segundo caso, ele deve conduzir somente por um período determinado e depois atuar interrompendo a circulação de corrente elétrica.

Estes dispositivos operam apenas em duas posições: aberto ou fechado. Na posição fechado, o mesmo torna-se um curto-circuito, permitindo assim a circulação de corrente elétrica pelos circuitos em direção à carga. Durante a posição aberto, este equipamento isola os circuitos das cargas, inviabilizando assim a passagem de corrente. Os disjuntores são projetados mecanicamente para abrir mesmo passando meses na posição de fechado. Isso requer uma atenção especial em seu projeto mecânico com a redução de massa nas partes móveis.

Existem hoje quatro tipos de disjuntores e essa classificação é dada de acordo com o meio utilizado para extinção do arco elétrico em seu interior. Hoje existem disjuntores a óleo, a gás SF<sub>6</sub>, a ar-comprimido e recentemente surgiram os disjuntores a vácuo. Outros critérios também são utilizados para classificação dos disjuntores:

- **Tecnologia de Construção:** óleo a grande volume (GVO), óleo a pequeno volume (PVO), ar comprimido, SF<sub>6</sub> dupla pressão, SF<sub>6</sub> pressão simples, vácuo.
- **Mecanismo de Acionamento:** mola, pneumático e hidráulico.
- **Classe de Tensão:**  $63\text{k} \leq V < 100\text{ kV}$ ,  $100\text{k} \leq V < 200\text{ kV}$ ,  $200\text{k} \leq V < 300\text{ kV}$ ,  $300\text{k} \leq V < 500\text{ kV}$ ,  $500\text{k} \leq V < 700\text{ kV}$ ,  $700\text{ kV} \leq V$ .

### 5.2.1. Disjuntores a Óleo

Nos disjuntores a óleo, os dispositivos de interrupção estão imersos no óleo isolante. A extinção do arco se dá através da geração de gases, principalmente hidrogênio, em virtude da decomposição das moléculas de óleo devida às altas temperaturas desenvolvidas na região do arco. O aumento da pressão interna nas câmaras de interrupção cria um fluxo de óleo que irá desionizar o dielétrico, refrigerar e alongar o arco. Os disjuntores a óleo são divididos em dois grupos, os GVO ( Disjuntores à Grande Volume de Óleo) e os PVO ( Disjuntores à Pequeno Volume de Óleo).

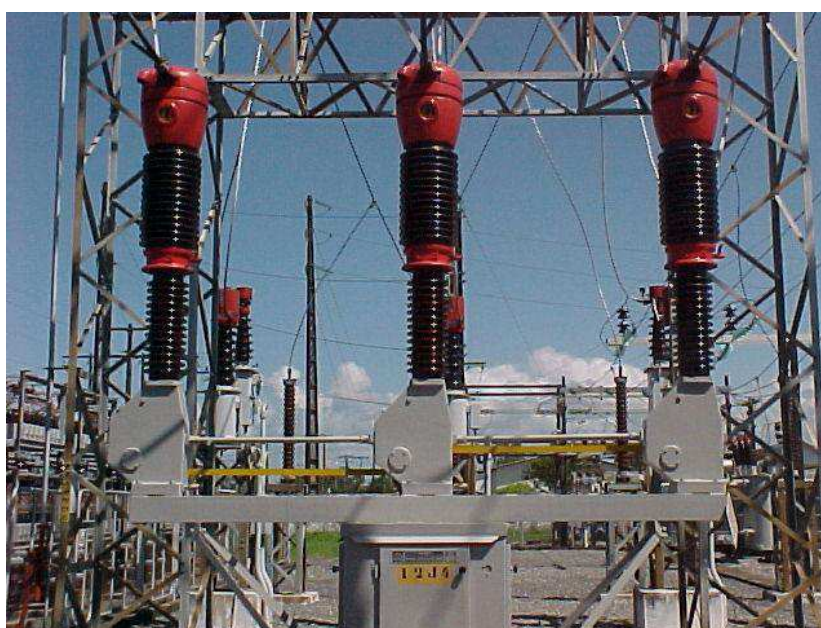
Os Disjuntores à Grande Volume de Óleo são equipamentos com alta capacidade de interrupção. Cada pólo é composto por um grande tanque de óleo isolante mantido ao potencial terra, duas buchas e o dispositivo de interrupção fica dentro do tanque, imerso no óleo (cerca de 9 mil litros por fase para disjuntores de 230 kV ). A Figura 10 ilustra bem a dimensão destes equipamentos.

De um modo geral, os GVO foram testados segundo normas não aceitas atualmente. Legislações e as práticas sociais atuais, principalmente relacionadas a proteção ao meio ambiente, segurança no trabalho e bem estar social, juntamente com o melhor conhecimento acerca dos riscos envolvidos e os possíveis danos no caso da ocorrência de um sinistro, tem provocado uma constante revisão na política de uso do disjuntor GVO, normalmente no sentido de reduzir os perigos, quando são exigidas proteções adicionais, tipo bacias de contenção, paredes corta fogo, etc, que em muitos casos pode elevar substancialmente os custos de manutenção.



**Figura 10:** Disjuntor à Grande Volume de Óleo.

Os Disjuntores à Pequeno Volume de Óleo (Figura 11) representam o desenvolvimento natural dos disjuntores GVO, na medida em que procurou-se projetar uma câmara de extinção com fluxo forçado de óleo sobre o arco aumentando-se a eficiência do processo de interrupção da corrente e diminuindo-se drasticamente o volume de óleo no disjuntor. Os PVO utilizam apenas cerca de 10% da quantidade de óleo utilizado nos tipos de grande volume.



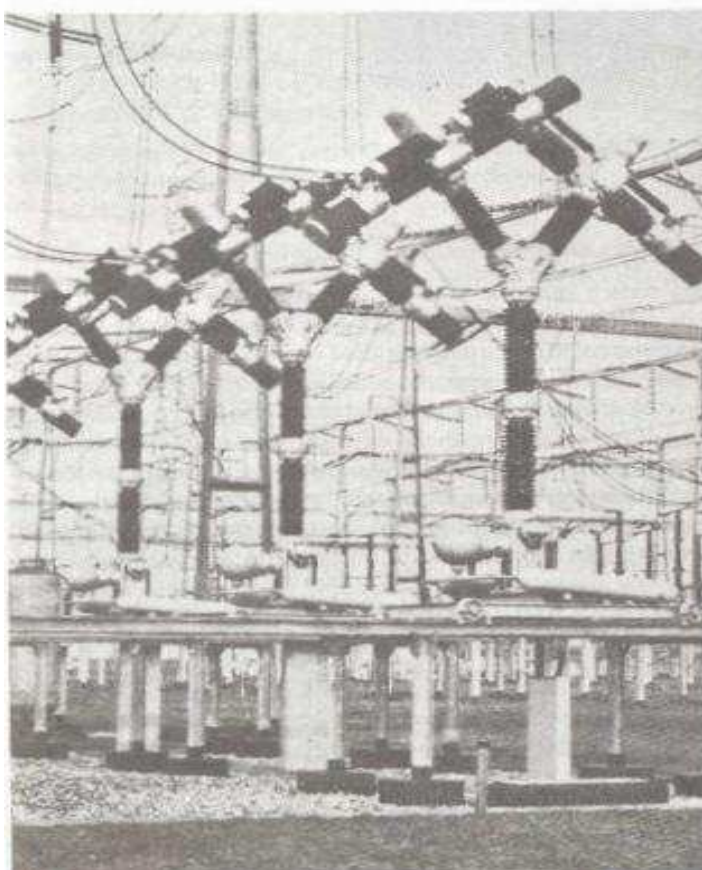
**Figura 11:** Disjuntor à Pequeno Volume de Óleo.



### 5.2.2. Disjuntores a Ar-Comprimido

Os disjuntores desta categoria são mais utilizados para tensões acima de 245 kV. Eles possuem um mecanismo eletropneumático que preenche duas funções, simultaneamente: proporcionar a operação mecânica do disjuntor através da abertura e fechamento dos contatos e efetuar a extinção do arco, fornecendo ar com baixa umidade na quantidade e pressão necessária. O princípio da extinção é simples e consiste na formação de um fluxo de ar sobre o arco, que pode ser unidirecional ou bidirecional. Este fluxo, comumente chamado de “sopro”, é provocado pela diferença de pressão entre os cilindros de ar-comprimido e o meio externo, resultando num jato de ar intenso que estende e resfria o arco ao passo que expulsa os vapores metálicos resultantes do desgaste dos contatos.

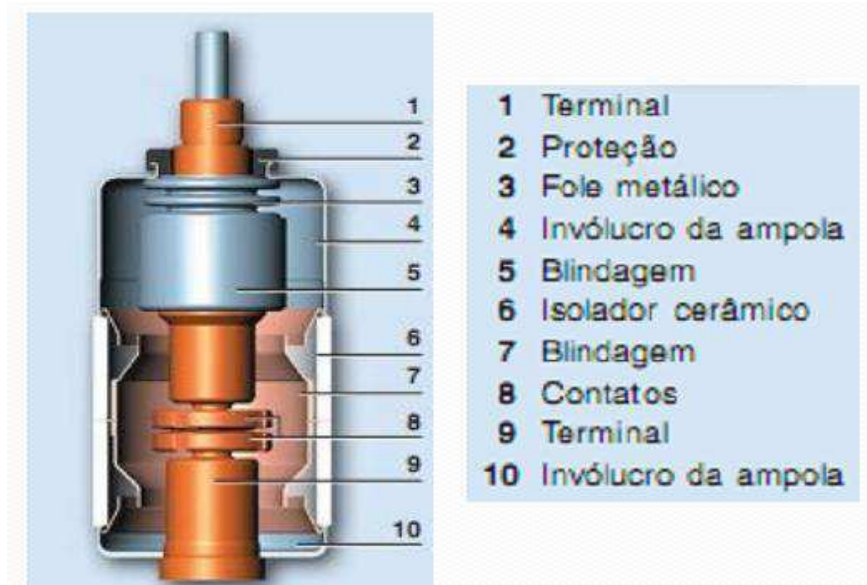
As vantagens deste tipo de disjuntor são a disponibilidade total do meio extintor, a possibilidade de se ajustar a capacidade de interrupção e propriedades de isolamento variando-se a pressão de operação e a facilidade de montagem. Porém, estes dispositivos necessitam de um sistema de geração de ar-comprimido, o que representa um alto custo, principalmente em pequenas instalações onde cada disjuntor tem que ter sua própria unidade geradora, bem como reservatórios de alta pressão. Fora isso, a distribuição de ar comprimido em alta pressão por toda a subestação, no caso de unidades centrais de geração, além de ter um alto custo, requer uma constante manutenção. Outro ponto negativo é que no caso de operação junto a áreas residenciais, onde existem limitações de nível de ruído, é obrigatório o uso de silenciadores para estes disjuntores. Um exemplo de disjuntor a ar-comprimido é apresentado na Figura 12.



**Figura 12:** Disjuntor a Ar-Comprimido.

### 5.2.3. Disjuntores a Vácuo

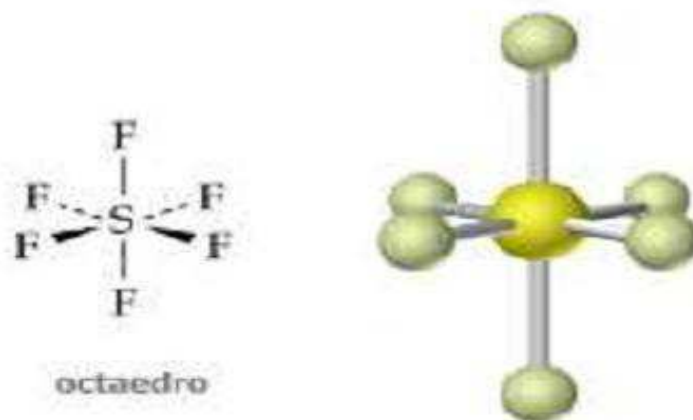
O uso de disjuntores com câmara de extinção a vácuo (Figura 13) é comumente utilizado para tensões até 69 kV. Para estes disjuntores o arco que se forma entre os contatos é bastante diferente dos arcos nos outros tipos de disjuntores, sendo basicamente mantido por íons de material metálico vaporizado proveniente dos contatos (cátodo). A intensidade da formação desses vapores metálicos é diretamente proporcional a intensidade da corrente, conseqüentemente, o plasma diminui quando esta corrente decresce e se aproxima do zero. Após a passagem da corrente pelo zero, o espaço entre os contatos é rapidamente desionizado pela condensação dos vapores metálicos sobre os eletrodos. A ausência de íons após a interrupção dá aos disjuntores a vácuo características quase ideais de suportabilidade dielétrica.



**Figura 13:** Modelo de um Disjuntor a Vácuo.

#### 5.2.4. Disjuntores a SF<sub>6</sub>

Os disjuntores a SF<sub>6</sub> (Hexaluoreto de Enxofre) utilizam este gás em suas câmaras para extinção de arco elétrico e auxiliar no isolamento. Isto porque o SF<sub>6</sub> é um gás que possui uma série de propriedades físicas e químicas que o torna um meio isolante e extintor, por excelência. Ele é incombustível, incolor, inodoro e devido à sua estrutura molecular bastante simétrica, apresentada na Figura 14, é extremamente estável e inerte até cerca de 5000°C, comportando-se, portanto, como um gás nobre. Isto significa que à temperatura ambiente ele não reage com outras substâncias.



**Figura 14:** Estrutura Atômica do SF<sub>6</sub>.

A distribuição do potencial interno e as propriedades de absorção de energia resultam da natureza altamente eletronegativa das moléculas de SF<sub>6</sub>. Elas atuam captando os elétrons livres, gerando assim íons negativos pesados que não se movem rapidamente, o que retarda o fenômeno de avalanche que inicia a disruptura, além de favorecer a extinção do arco elétrico.

Sob pressão atmosférica normal, o Hexafluoreto de Enxofre possui rigidez dielétrica 2,5 vezes maior que a do ar. Como normalmente é usado sob pressões 3 à 5 vezes maiores que a pressão atmosférica, sua rigidez passa a superar a rigidez do ar em até 10 vezes. Isso faz com que sua capacidade de extinguir arco seja muito maior que a do ar (cerca de 10 vezes), e muito mais rápida (algo em torno de 100 vezes) [12].

Durante a ocorrência de um arco elétrico, as moléculas de SF<sub>6</sub> se desagregam e os elementos recombina-se, em sua maior parte, durante o processo de resfriamento, seja pela extinção do arco, ou pela regeneração causada pela presença de cargas absorventes ativas no interior do disjuntor. Diversas reações químicas, associadas à volatilização dos materiais em contato com o arco elétrico, criam substâncias gasosas secundárias à base de flúor ou de enxofre, ou substâncias sólidas, na forma de fluoretos metálicos em pó; ou ainda, na presença de vestígios de água ou umidade, ácido fluorídrico ou dióxido de enxofre.

Na sua forma pura este gás não é venenoso e não acarreta perigo na sua inalação para misturas de até 20% de oxigênio e 80% de SF<sub>6</sub>. Para concentrações acima desta pode causar morte por asfixia. Outro fato que requer atenção, é o fato do Hexafluoreto de Enxofre ser seis vezes mais pesado que o ar, logo, caso ocorram vazamentos em ambientes fechados, a tendência natural é que o gás estabeleça-se no local, expulsando todo o oxigênio.

### 5.2.5. Disjuntores Areva GL 317 e GL 317D

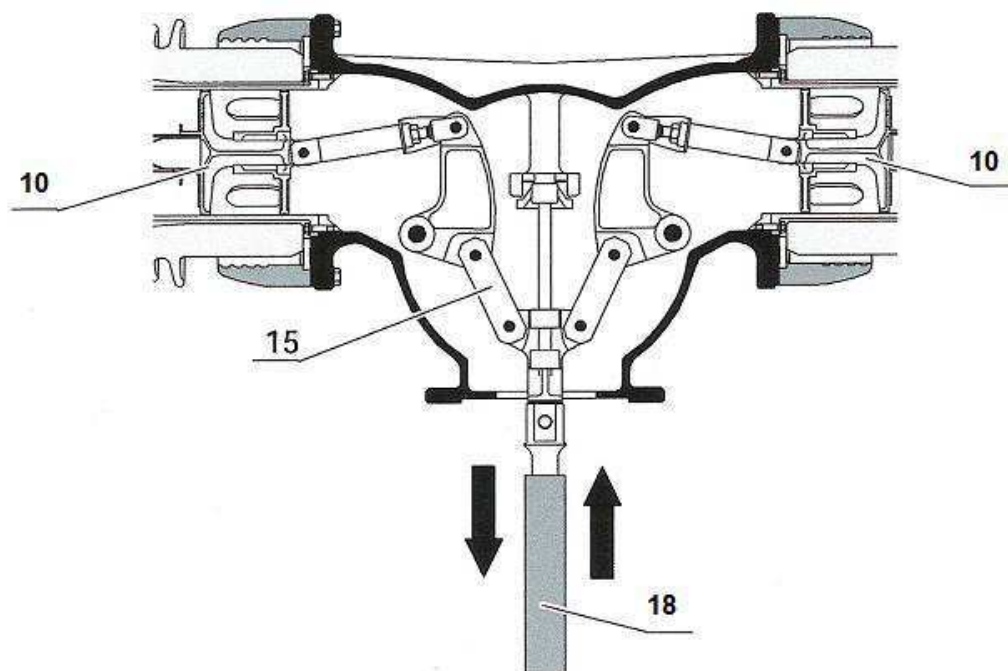
Os disjuntores Areva **GL 317 e GL 317D** (Figura 15) presentes na SE Miranda II são exemplos de disjuntores a SF<sub>6</sub>. Estes disjuntores são compostos por três pólos acionados individualmente por um comando à mola. Cada pólo é constituído de três componentes principais: câmaras de ruptura ou extinção (1), coluna-suporte (2), cárter do mecanismo (3).

As câmaras de ruptura (duas por pólo) são revestidas em invólucro cerâmico e cada uma delas é equipada com um resistor (4) e um capacitor (5) de pré-inserção (**GL317D**) ou apenas um capacitor (**GL317**), um anel anti-corona (6) e um terminal de alta tensão (7). Elas são dispostas horizontalmente e fixadas, por sua base, ao cárter do mecanismo. Este cárter aloja o dispositivo biela-manivela (15) que transfere o movimento da haste de acoplamento (18) aos contatos móveis de ambas as câmaras (10), possibilitando a operação de abertura e fechamento do disjuntor. No cárter situa-se também o dispositivo de enchimento e supervisão do gás SF<sub>6</sub> (8).

A coluna-suporte (2) é constituída de três isoladores de cerâmica, assegurando a distância de isolamento à terra do disjuntor, e envolve a haste de manobra isolante, solidária aos contatos móveis das câmaras de ruptura. Nas Figuras 15 e 16 são apresentados as partes que compõem o pólo de um disjuntor e o mecanismo de acionamento dos contatos, respectivamente.



**Figura 15:** Disjuntor Areva GL 317D 500 kV.



**Figura 16:** Mecanismo de Acionamento dos Contatos. [10]

O disjuntor conta, também, com um Armário de Sincronismo comum aos três pólos, compondo um conjunto compacto. Este armário, que contém os relés necessários ao funcionamento do equipamento, os terminais de interligação entre pólos e dos clientes é apresentado na Figura 17.



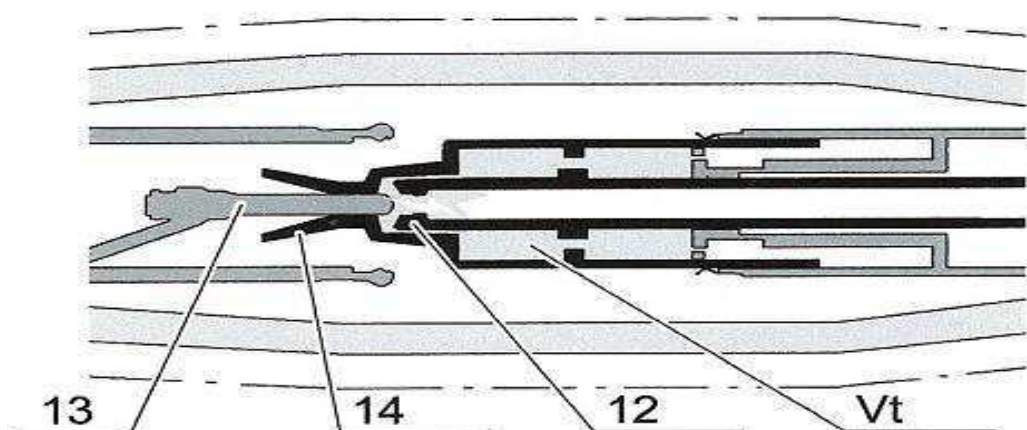
**Figura 17:** Armário de Sincronismo.

A diferença básica entre os dois disjuntores está na presença ou não do resistor de pré-inserção. Os equipamentos de modelo **GL 317D** da Figura 15 possuem este resistor, pois operam interrompendo e energizando as linhas de transmissão, logo estão sujeitos a níveis de corrente nominal e de curto-circuito e tensões de restabelecimento transitória (TRT) decorrentes de manobra muito maiores que os **GL 317**, que atuam apenas colocando e retirando de operação os transformadores de força da subestação e manobrando os barramentos que alimentam estes equipamentos.

A câmara de extinção de ambos os modelos são do tipo sopro térmico, utilizando a própria energia do arco, com um efeito auxiliar auto-pneumático. Isto é possível devido à presença de um volume de expansão térmica ( $V_t$ ) interno aos contatos móveis, preenchido por

SF<sub>6</sub> e lacrada pela haste do contato fixo (13) e pelo bocal isolante (14). Durante a operação de abertura a energia do arco-elétrico, que se forma logo que o contato móvel deixa os contatos principais (12), há uma elevação de temperatura em V<sub>t</sub>, e como este volume está vedado pelos contatos fixo e móvel há um aumento natural de pressão nesta região. Assim que a haste do contato fixo sai do bocal isolante, a sobrepressão térmica presente em V<sub>t</sub> é então liberada, provocando um sopro energético em direção ao arco imediatamente antes da passagem da corrente por zero, garantindo assim a extinção do arco.

Após a extinção do arco, as moléculas de SF<sub>6</sub> dissociadas recombina-se instantaneamente e os gases residuais da interrupção são absorvidos por um filtro de alumina, situado na base do pólo. Alguns compostos formados neste processo depositam-se, sob forma de pó, no interior da câmara, mas não prejudicam o desempenho do disjuntor. Na Figura 18 são apresentadas algumas partes que compõem a câmara de extinção do pólo de um disjuntor **GL 317**.



**Figura 18:** Câmara de Extinção de um Disjuntores GL 317. [10]

## 6. Superação de Disjuntores de Alta Tensão

A superação de disjuntores de alta tensão é um problema que afeta os sistemas de transmissão que crescem rapidamente. Os tipos de superação mais relevantes que devem ser levadas em conta para a especificação destes equipamentos são:



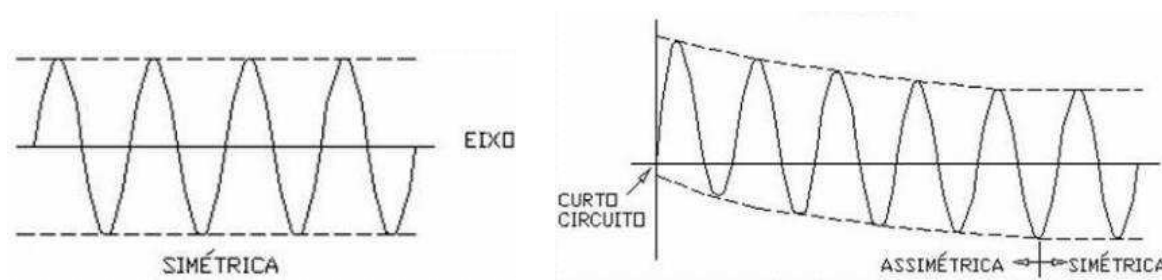
- Corrente de curto-circuito simétrica e assimétrica;
- Tensão de restabelecimento transitória (TRT);
- Corrente de carga.

Durante ocorrência de um defeito os disjuntores não atuam instantaneamente, isto é, passam alguns ciclos entre o instante em que ocorre o curto-circuito e a extinção completa do arco. Este tempo é composto basicamente por:

- tempo para que o relé detecte o defeito e feche os contatos;
- tempo para que haja o destravamento do mecanismo de acionamento, pela bobina de disparo;
- tempo para que ocorra a abertura dos contatos;
- tempo de extinção completa do arco.

Neste período a corrente de curto-circuito produz esforços mecânicos muito grandes nos disjuntores e a todo o circuito, instantaneamente, e são proporcionais ao quadrado da corrente.

As correntes de curto-circuito podem ser simétricas ou assimétricas. A Figura 19 ilustra estes dois tipos de correntes.

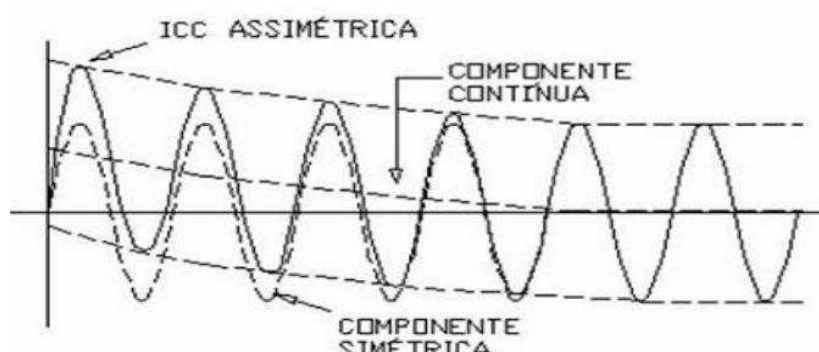


**Figura 19:** Modelo Corrente de Curto-Circuito Simétrica e Assimétrica.

Normalmente a corrente de curto-circuito é assimétrica nos primeiros ciclos, e depois torna-se simétrica. A máxima assimetria ocorre no instante do curto-circuito e gradualmente torna-se simétrica alguns ciclos depois e é determinada pela relação entre a reatância e a

resistência do sistema ( $X/R$ ), excluindo sempre as cargas, e pelo instante em que ocorre em relação a Onda de Tensão.

Pode-se representar uma corrente de curto-circuito assimétrica dividindo-a em duas componentes mais simples apresentadas na Figura 20, onde uma componente é representada por uma corrente de curto simétrica e a outra por um nível CC (corrente contínua) decrescente. Assim, tem-se que a soma das componentes a cada instante será igual à corrente assimétrica no mesmo instante.



**Figura 20:** Representação de uma Corrente de Curto-Circuito Assimétrica por duas componentes.

A componente contínua será dissipada através das resistências do circuito ( $R^2$ ). Em função disso, a velocidade com que a corrente assimétrica se tornará simétrica dependerá da relação  $X/R$  do sistema. Caso a resistência seja teoricamente zero, tem-se uma corrente assimétrica permanente. Caso a reatância seja zero, tem-se a corrente assimétrica tornando-se simétrica instantaneamente.

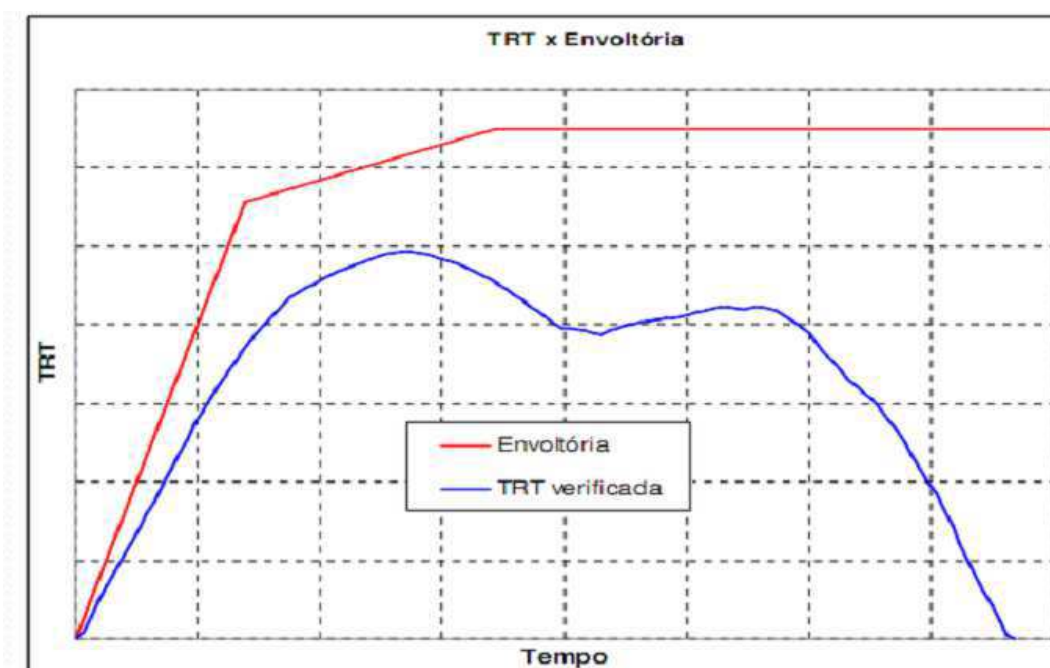
Para a especificação dos dispositivos de proteção, é preciso saber apenas o valor máximo da componente contínua, já que os disjuntores são dimensionados para a máxima corrente de curto-circuito que poderá ocorrer no sistema.

A Tensão de Restabelecimento Transitória (TRT) é a tensão que surge entre os terminais do primeiro pólo que interrompe a corrente no intervalo de tempo em que esta tensão apresenta uma característica transitória significativa (NBR-7118). Em outras palavras,

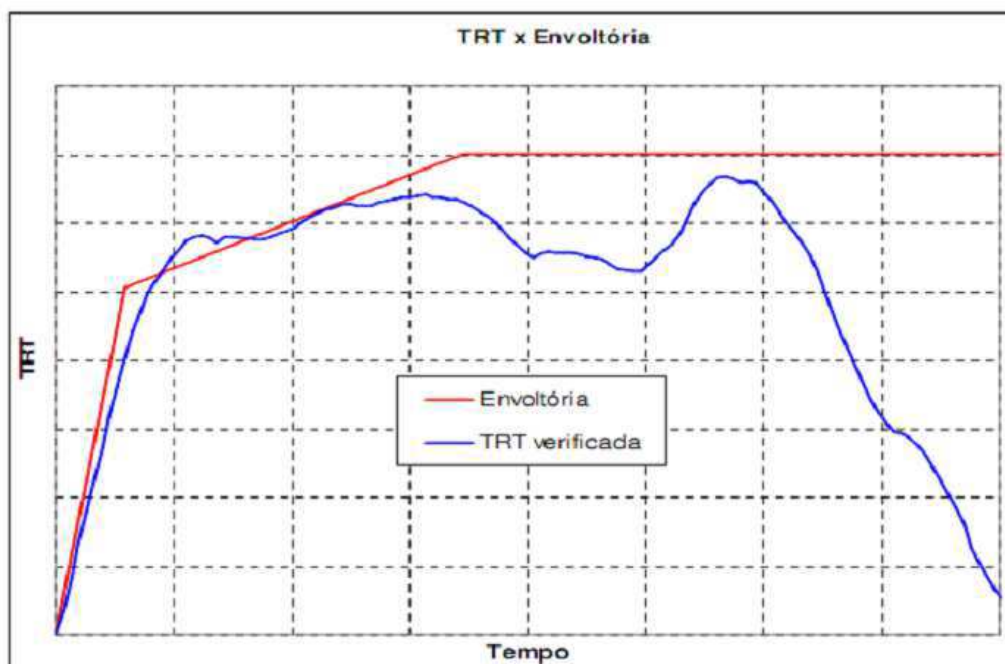
TRT é o termo utilizado para especificar a componente transitória da tensão que surge entre os terminais do disjuntor quando da abertura de sistemas sob carga, a vazio ou para supressão de curto-circuitos.

Um disjuntor pode ser considerado superado por pico ou por taxa de crescimento da TRT. Para verificar a superação por TRT, o procedimento mais adotado consiste em comparar em um mesmo gráfico o oscilograma da TRT propriamente dita com a envoltória prevista nas normas IEC 62271-100 e NBR 7118 ou especificada pelo fabricante. O equipamento é considerado superado por TRT quando o oscilograma ultrapassa a envoltória em algum ponto.

Nas normas citadas, a envoltória a dois parâmetros é utilizada para avaliar disjuntores de tensão nominal até 100 kV, ao passo que a envoltória a quatro parâmetros é aplicada aos disjuntores de tensão nominal superior a 100 kV. As envoltórias são obtidas de acordo com a tensão nominal do disjuntor, o tipo de falta, o fator de primeiro pólo e o fator de amplitude. Nas Figuras 21 e 22 são apresentados exemplos da aplicação deste método para um disjuntor de tensão nominal 550 kV.



**Figura 21:** Disjuntor não-superado por TRT.



**Figura 22:** Disjuntor superado por TRT.

As Tabelas 1 e 2 a seguir fornece os dados do disjuntor modelo **GL 317D** e características do gás **SF<sub>6</sub>**, respectivamente, segundo especificação do fabricante.

**Tabela 1:** Dados de Desempenho do Disjuntor GL 317D. [10]

Designação		GL 317D		
Norma		CEI	ANSI	
$U_r$	Tensão nominal (valor eficaz)	550		
$I_r$	Corrente nominal em serviço contínuo	2000 - 4000		
$f_r$	Frequência nominal	60	60	
$I_p$	Valor de crista da corrente suportável nominal	100 - 138	100 - 130	
$I_k$	Corrente suportável nominal de curta duração	50		
	Nível de isolamento nominal (ao nível do mar)			
$U_d$	Tensão suportável à frequência nominal (valor eficaz a seco)			
	- fase à terra e entre fases - através dos contactos abertos	kV kV	650 720	860
$U_p$	Tensão suportável nominal de impulso de atmosférico (valor de crista)			
	- fase à terra e entre fases - através dos contactos abertos	kV kV	1550 1550 (+205)	1800
$I_{sc}$	Corrente de interrupção simétrica nominal	40 - 50		
	Corrente de estabelecimento nominal (valor de crista)	kA	100 - 125	100 - 130
	Tempo total de interrupção	ms	40 ±2	
	Sequência nominal de operação		CO - 15s - CO ou O - 0.3s - CO - 3min - CO	
	Resistência dos contactos principais (contactos novos)	μΩ	câmara sem terminais A.T. ≤ 96	

**Tabela 2:** Características do Gás SF<sub>6</sub>. [10]

Temperatura mínima admissível até		- 30°C (- 22°F)	- 25°C (- 13°F)
$P_{re}$	<b>Pressão absoluta a 20°C (68°F)</b>		
	Pressão absoluta de enchimento para o isolamento	0.75 MPa (108.8 p.s.i.)	0.85 MPa (123.3 p.s.i.)
$P_{re}$	<b>Pressão eficaz a 20°C (68°F) e 101.3kPa (14,7 p.s.i.)</b>		
	Pressão eficaz nominal de enchimento para o isolamento $^{+0.01}$ $^{-0}$	0.65 MPa (94.3 p.s.i.)	0.75 MPa (108.8 p.s.i.)
$P_{ae}$	Pressão eficaz de alarme para o isolamento $^{+0.02}$ $^{-0}$	0.54 MPa ( $P_{me} + 0.03$ MPa) (78.3 p.s.i.)	0.64 MPa ( $P_{me} + 0.03$ MPa) (92.8 p.s.i.)
$P_{me}$	Pressão eficaz mínima para o isolamento $^{+0.02}$ $^{-0}$	0.51 MPa (74 p.s.i.)	0.61 MPa (88.5 p.s.i.)
<b>Massa de SF<sub>6</sub> para um disjuntor tripolar</b>		40,9 kg	47,1 kg
<b>Densidade do gás SF<sub>6</sub></b>			
	$P_{re}$	49.59 kg/m <sup>3</sup>	57.04 kg/m <sup>3</sup>
	$P_{ae}$	41.66 kg/m <sup>3</sup>	48.86 kg/m <sup>3</sup>
	$P_{me}$	39.55 kg/m <sup>3</sup>	46.68 kg/m <sup>3</sup>

## 7. Procedimentos de Montagem do Disjuntor GL 317D

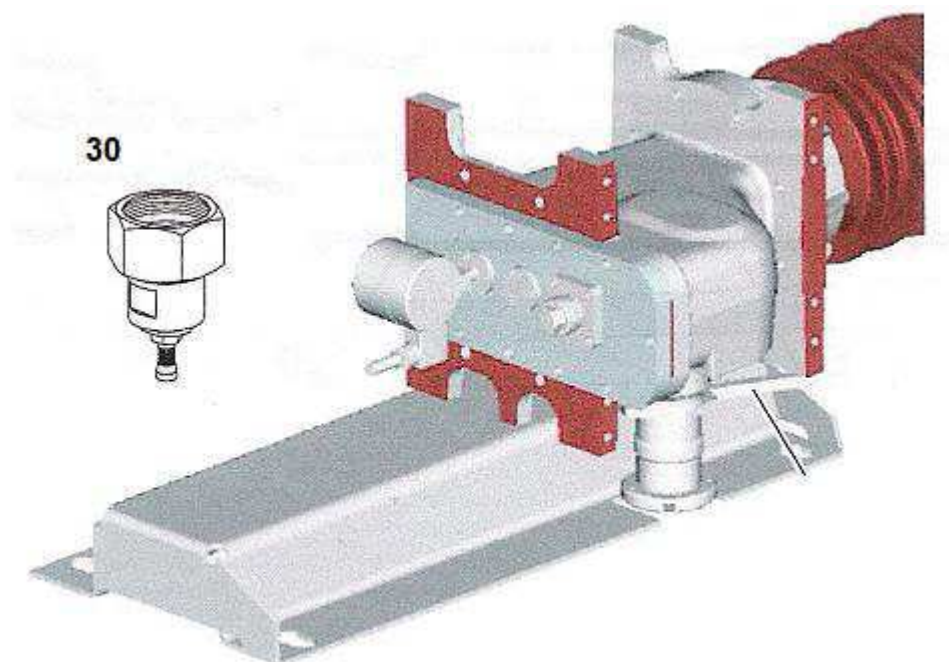
A montagem dos pólos desta série de disjuntores é bastante simples quando comparada às outras existentes no mercado. As partes que compõem cada pólo do equipamento são embaladas separadamente, e dispostas em suas caixas de forma a facilitar o processo de montagem.

Antes de iniciar a montagem deve-se abrir as caixas que contém as colunas-suporte e as câmaras de extinção e verificar a presença de pressão positiva nos seus interiores. Estes equipamentos vêm pressurizados com Gás Nitrogênio (N<sub>2</sub>) de fábrica à uma pequena pressão de transporte. Esta pressurização evita que o ar atmosférico penetre nestas partes, carregando consigo umidade para dentro do equipamento, comprometendo assim a capacidade de interrupção do dispositivo. Nas câmaras esta verificação é feita retirando-se a tampa de vedação e pressionando brevemente a válvula indicada na Figura 23, provocando escape do gás.



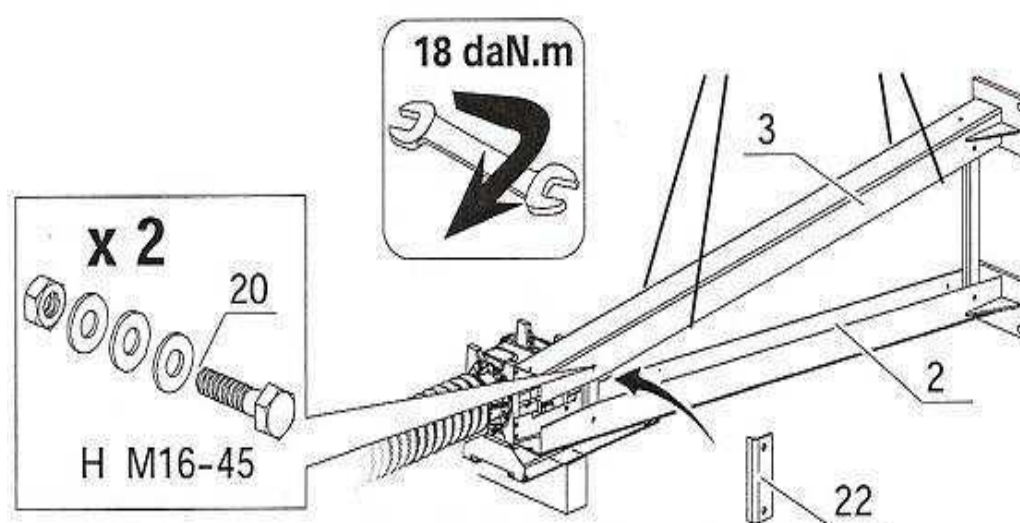
**Figura 23:** Válvula de escape.

Para verificação da pressão na coluna suporte, deve-se primeiro conectar o dispositivo de enchimento do cárter situado na base da coluna-suporte e pressionar a válvula para verificar se há escape de  $N_2$ . Na Figura 24 são apresentados o cárter da coluna e o dispositivo de enchimento.



**Figura 24:** Cárter da coluna suporte e dispositivo de enchimento. [10]

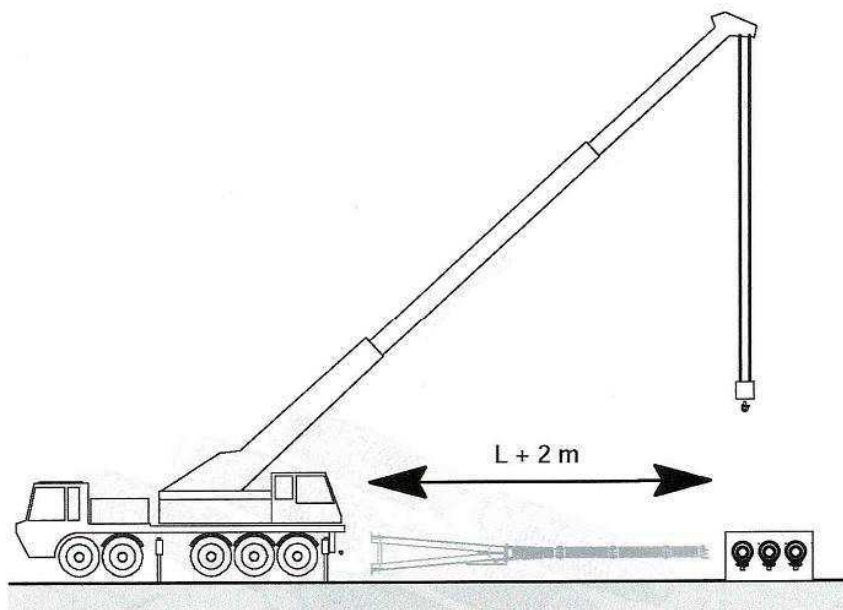
Verificada a existência de pressão positiva, retira-se primeiro a coluna suporte da caixa com o auxílio de um guindaste, colocando-a no solo sobre a própria tampa do equipamento, apoiando o suporte do armário de comando em uma cunha de madeira de tal maneira que facilite o encaixe dos pés da coluna. Para a conexão dos pés (2) e reforços (22) são necessários parafusos M16-45, arruelas e porcas. Os parafusos devem ser torqueados por um torquímetro com um torque de aperto igual a 18 daN.m. O esquema de montagem dos pés da estrutura do disjuntor é apresentado na Figura 25.



**Figura 25:** Esquema de montagem dos pés das estruturas dos disjuntores. [10]

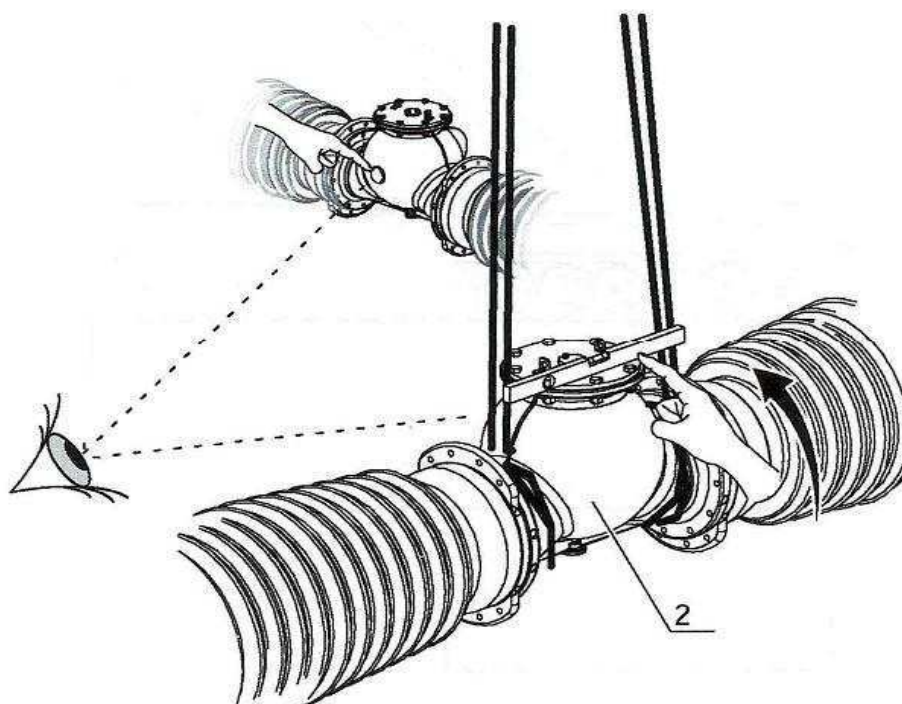
Para o acoplamento entre câmara e coluna deve-se inicialmente verificar a correspondência da identificação das câmaras de extinção com a coluna-suporte. Em seguida, deve-se conectar os capacitores de pré- inserção.

Para facilitar o içamento dos pólos e trabalhar com total segurança, é indispensável que as caixas sejam posicionadas corretamente em relação ao dispositivo de içamento (guindaste), ou seja, a caixa de câmaras deve estar posicionada de modo que o eixo das câmaras esteja perpendicular ao plano de elevação e a distância entre a caixa e o dispositivo de içamento seja superior ao comprimento da coluna, equipada com a estrutura, “L” + 2m, como é apresentado na Figura 26.



**Figura 26:** Disposição da caixa de câmaras no campo. [10]

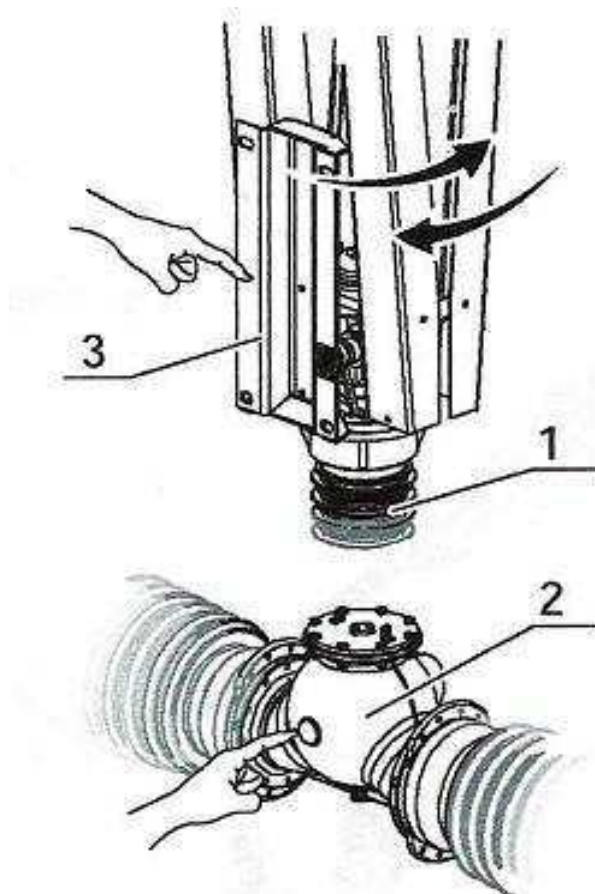
Depois de posicionar a caixa corretamente, deve-se girar, com o auxílio de um guindaste, a câmara a ser acoplada em  $180^\circ$ , de modo que a saliência do cárter, apresentada na Figura 27, fique situada do lado do dispositivo de içamento.



**Figura 27:** Posicionamento da câmara de extinção. [10]



Agora, novamente com o auxílio do guindaste, deve-se içar a coluna suporte e posicioná-la de cabeça para baixo, perpendicularmente a câmara, de modo que o suporte do comando fique do mesmo lado da saliência do cárter, conforme apresenta na Figura 28.



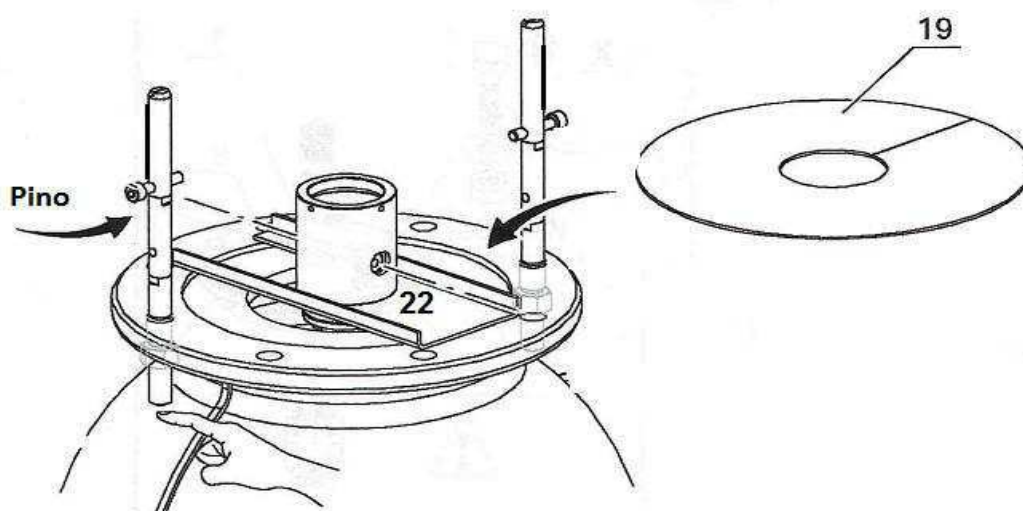
**Figura 28:** Posicionamento das coluna e câmara para acoplamento. [10]

O próximo passo é pressionar a válvula situada na câmara para que o gás Nitrogênio escape, deixando a pressão dentro da câmara igual à ambiente. Depois, retira-se a tampa da câmara, revelando assim o cilindro responsável pelo acoplamento da haste de comando presente no interior da coluna-suporte ao eixo do mecanismo de operação dos contatos, apresentado na Figura 29. Após a retirada da tampa têm-se 40 minutos para completar o acoplamento e este tempo deve ser cronometrado. Passado este tempo, pode ocorrer entrada de ar e, conseqüentemente, umidade no interior do equipamento.



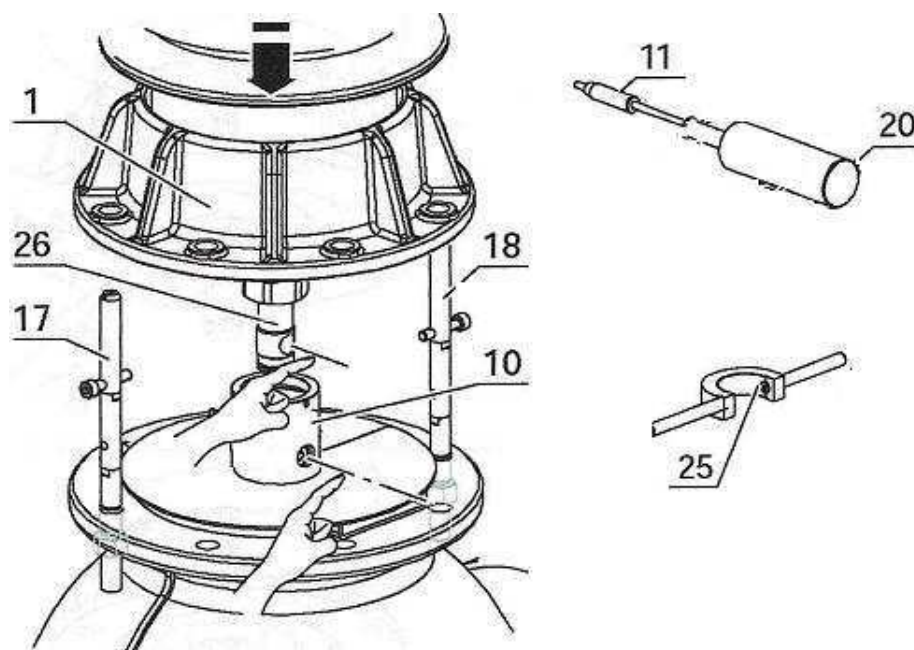
**Figura 29:** Cárter do mecanismo sem a tampa.

O acoplamento é realizado com o auxílio de algumas ferramentas especiais fornecidas pela Areva. Primeiramente, insere-se um limitador (22) para impedir que o cilindro de acoplamento do eixo retorne para dentro do cárter durante a montagem. Em seguida, colocam-se os pinos de centragem que servirá como guia para um correto acoplamento e um disco de proteção para evitar que entre algum objeto no interior do cárter. O esquema é apresentado na Figura 30.



**Figura 30:** Instalação dos pinos de centragem. [10]

Com a coluna-suporte devidamente posicionada, os pinos de centragem e o limitador já instalados, deve-se colocar o anel equalizador em volta do cárter antes de acoplar a coluna à câmara, pois por se tratar de uma peça fechada, não haveria como fixá-la ao disjuntor após a conexão câmara-coluna. Em seguida deve-se retirar a tampa de proteção da coluna e liberar a haste de acoplamento. Para fazer a conexão entre o cilindro do eixo de operação do mecanismo de operação dos contatos (10) e a haste da coluna-suporte (26) deve-se, com auxílio do guindaste, descer aos poucos a coluna procurando encaixar os pinos de centragem (17 e 18) nas flanges (1) da coluna até que o furo das duas peças coincidam, permitindo a colocação do pino de acoplamento (11) que está montado numa ferramenta especial (20) fornecida junto com o equipamento. Após o encaixe, deve-se retirar a ferramenta especial, o limitador e o disco de proteção e apertar o cilindro até o final com a ferramenta de aperto (25). As ferramentas e a disposição das peças são apresentadas na Figura 31.



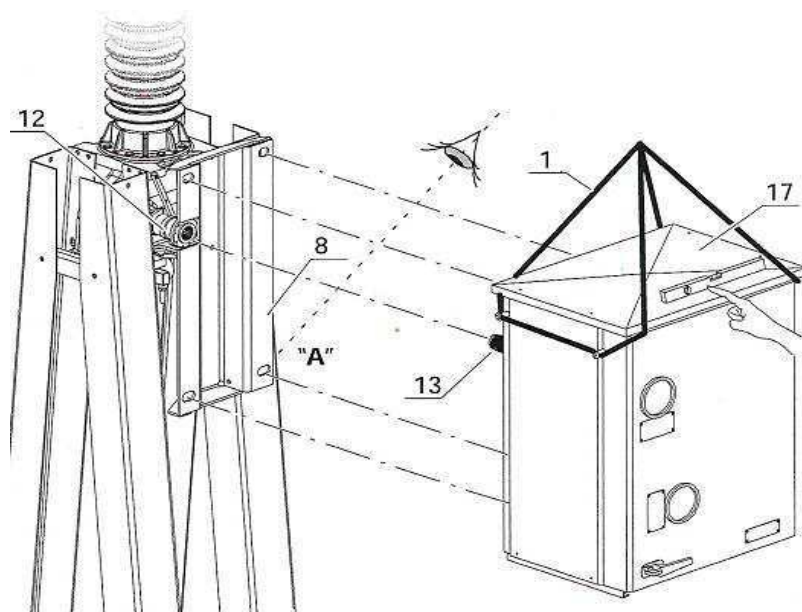
**Figura 31:** Acoplamento entre eixo de acionamento dos contatos e a haste. [10]

Para concluir o acoplamento baixa-se a coluna, com auxílio do guindaste, sobre o cárter das câmaras, posiciona-se devidamente o anel anti-corona, e conecta-se o conjunto utilizando-se parafusos M16-20 com arruelas e porcas correspondentes. O aperto final das

porcas deve ser feito com um torquímetro, regulado para um torque de aperto igual à 13,5 daN.m.

Concluído o acoplamento, deve-se parar o cronômetro e anotar o tempo decorrido na montagem. Em seguida deve-se conectar os anéis anti-corona nas extremidades das câmaras (presentes somente no modelo **GL 317**) e os terminais de alta-tensão, sempre lembrando de apertar as porcas com o torque recomendado. Neste caso o torque de aperto será de 5 daN.m.

Concluída a montagem em solo, deve-se içar o pólo, com o auxílio de um guindaste e movê-lo até a base onde ele deve ser fixado. Depois, com o auxílio de um guindaste ou caminhão munck, instala-se o armário de comando do pólo (17). Para tal é necessário acoplar o eixo de operação do mecanismo (12) ao eixo de operação do pólo (13) e fixar o armário na estrutura. Quando o eixo do mecanismo é rotacionado pela ação das molas de acionamento do disjuntor, presentes no armário de comando, o eixo de comando do pólo também é rotacionado, movimentando assim a haste de acoplamento. O movimento da haste é transferido, então, aos contatos móveis através do dispositivo biela-manivela (Figura 12). Na Figura 32 é apresentada o esquema de acoplamento do armário.



**Figura 32:** Acoplamento do Armário de Comando. [10]

Na Figura 33 é apresentado um disjuntor **GL 317** completo, com seu armário e os condutores conectados.



**Figura 33:** Disjuntor Areva GL 317.

Por fim, abastece-se o disjuntor com Hexafluoreto de Enxofre a 7,5 bar de pressão aproximadamente. O abastecimento é feito conectando-se um cilindro deste gás sob alta pressão ao dispositivo de enchimento situado no cárter da coluna (Figura 24).

## **8. Testes Pré-Comissionamento Elétrico dos Disjuntores Areva GL 317**

Antes de colocar em operação qualquer equipamento, as empresas que os adquirem enviam profissionais capacitados para comissioná-los, ou seja, elaborar testes para assegurar que eles estão perfeito em estado após o transporte, montagem e conexão junto aos sistemas de potência, controle e proteção da subestação, e com a ELETRONORTE não é diferente. Por isso, os supervisores da Areva, após a montagem dos equipamentos, realizam alguns pré-testes antes de liberarem os equipamentos para comissionamento.

No que diz respeito aos disjuntores, concluída sua montagem, o primeiro teste a ser realizado, ainda durante o enchimento com SF<sub>6</sub>, tem o intuito de verificar a existência de vazamentos de gás nos pólos, o que pode ocasionar a explosão do equipamento caso o abastecimento do gás não seja interrompido.

Outro teste bastante importante é os teste de simultaneidade dos pólos. Este teste pretende verificar se os contatos fecham ou abrem simultaneamente quando o disjuntor recebe o comando de fechamento ou abertura.

Teoricamente, quando se comanda a abertura de um disjuntor, os pólos deveriam abrir sempre ao mesmo tempo. Porém, na prática, há uma margem de tolerância que prevê uma ligeira discrepância nos tempos de abertura e fechamento dos pólos de um disjuntor. O teste procura então detectar se esta discrepância está dentro dos valores especificados para as condições de trabalho do disjuntor.

A falta de simultaneidade pode provocar problemas em termos operacionais do sistema tal como a manutenção de apenas duas fases por um determinado tempo devido a um atraso da abertura da terceira.

O teste é feito mediante o monitoramento das operações de fechamento e/ou abertura dos disjuntores, que é realizado por um oscilógrafo ou registrador de eventos. Este instrumento detecta o momento exato que a bobina de comando situada no armário de sincronismo é excitada, tomando-o como tempo inicial para as medidas, e, a partir daí, mede quanto tempo leva para que os contatos satisfaçam as condições de aberto ou fechado.

Concluídos os testes, devem ser comparados os tempos de abertura e fechamento dos três pólos do disjuntor para que se possa verificar a simultaneidade ou não dos pólos durante a operação do equipamento.

Na Tabela 3 são apresentadas as medidas realizadas em campo dos tempos de fechamento dos contatos dos pólos de um dos disjuntores GL317 da SE Miranda II 500/230 kV.

**Tabela 3:** Tempo de Fechamento dos contatos de um Disjuntor GL 317.

<b>FASE</b>	<b>CONTATO PRINCIPAL 1</b>	<b>CONTATO PRINCIPAL 2</b>	<b>CONTATO AUXILIAR 1</b>	<b>CONTATO AUXILIAR 2</b>
<b>A</b>	104,0 ms	104,5 ms	114,4 ms	91 ms
<b>B</b>	105,6 ms	105,5 ms	116,3 ms	90,1 ms
<b>C</b>	105,9 ms	105,9 ms	116,7 ms	95,3 ms

Na Tabela 1 os contatos principais 1 e 2 referem-se aos contatos de cada câmara de um pólo. Os contatos auxiliares 1 e 2 informam, respectivamente, se o disjuntor está fechado ou aberto.

Analisando o resultado obtido para a operação de fechamento, pode-se verificar que a discrepância entre os tempos de fechamento dos pólos não ultrapassou 1,9 ms e que a diferença entre os tempos de fechamento dos contatos principais dos pólos não superou 0,5 ms, logo, do ponto de vista do fechamento, os pólos deste disjuntor encontram-se em sincronismo.

## 9. Conclusão

Ao longo de todo o curso de Engenharia Elétrica vários conceitos e teorias nos são apresentados, mas poucas são as oportunidades, no período que estamos inseridos na universidade, de aplicar os conhecimentos adquiridos na prática.

A obrigatoriedade do estágio ao final do curso vem de certa forma a suprir esta deficiência, ao passo que abre nossos olhos para o que acontece fora do ambiente acadêmico ainda enquanto estudantes, pois o estagiário para todos os efeitos ainda é um estudante. Isto é bastante importante, porque a partir do momento que recebemos nossos Certificados de Conclusão de Curso e nos intitulamos Engenheiros Eletricistas, estamos assumindo uma enorme responsabilidade e o tão concorrido mercado de trabalho passará a exigir uma postura diferente de quando éramos só estagiários, tempo no qual eram permitidas certas perguntas, algumas até descabidas, e até mesmo erros.

Diante deste panorama, estagiar durante a construção de uma subestação de 500 kV é uma oportunidade única para um estudante de Engenharia Elétrica, já que na região Nordeste do Brasil esta é a maior classe de tensão empregada na transmissão de energia elétrica.

Participar de empreendimento deste porte é uma chance de participar de diversas atividades, como: análise de projetos, montagem eletromecânica, testes em equipamentos de alta tensão, execução da malha de aterramento, instalação do SPDA e dos sistemas de proteção e controle da subestação, montagem dos barramentos e torres de transmissão, lançamento de cabos, serviços de terraplanagem e topografia, construção de bases e fundações para estruturas e equipamentos, execução de edificações, instalações de pórticos, sistemas anti-incêndio e outras diversas atividades, adquirindo também conhecimentos na área de engenharia civil.

Além disto, sabemos que uma obra de grande porte necessita de altos investimentos e de uma grande quantidade de pessoas envolvidas. Cabe ao engenheiro, então, gerenciar os



recursos disponíveis com habilidade para a conclusão do empreendimento dentro do prazo estabelecido, com qualidade e o mínimo de desperdícios. Neste contexto, a relação com as pessoas deve ser bastante valorizada, afinal de contas um corpo de engenheiros não realiza uma obra sem a presença de uma equipe de técnicos, encarregados, pedreiros, marceneiros, ajudantes, entre outros.

## REFERÊNCIAS

- [1] Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - ELETROBRÁS Ministério de Minas e Energia; **MME subsídios para adequação de critérios de medição e pagamento de serviços de construção de subestações aos critérios ambientais**. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS, Junho de 2000.
- [2] COSTA, E. G. **Projeto de Subestação: Fundamentos – s.d.**
- [3] KINDERMANN, G. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. Porto Alegre: DC Luzzato, 1ª edição, 1999.
- [4] **NBR 09523** - Subestação de Distribuição. ABNT, 1995.
- [5] D'AJUZ, A. Equipamentos Elétricos especificação e aplicação em subestações de alta tensão. Furnas, 1985.
- [6] MAMEDE FILHO, J. Manual de Equipamentos Elétricos. Volume1, 2 s.d., Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos Editora: 1994.
- [7] Estudo do Autotransformador. Disponível em: < <http://meusite.mackenzie.com.br/dilburt/autotrafos.pdf> >. Acessado em: 15 de julho de 2010.
- [8] CARDOSO, JR. E. Sistema de Monitoramento para Disjuntores de alta tensão, s.d.
- [9] Tipos e Aplicações dos Transformadores. Disponível em: < [http://www.ufrgs.br/eng04030/aulas/teoria/cap\\_13/tiaptran.htm](http://www.ufrgs.br/eng04030/aulas/teoria/cap_13/tiaptran.htm) >. Acessado em 01 de agosto de 2010.
- [10] Areva Transmissão e Distribuição. Manual de Instruções – Disjuntor a SF<sub>6</sub> GL 317 com comandos a mola FK3-4/FK3-5, agosto de 2005.
- [11] Relé detector de gás tipo Buchholz para transformadores. < <http://www.indubras.com.br/portugues/produto09.htm> >. Acessado em 22 de julho de 2010.
- [12] CORREIA, V. T e MORALLES, W. Gás SF<sub>6</sub> – Aplicação em barramentos e disjuntores – s.d.