



**XV SNTPEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

**GSE/ 03**

**17 à 22 de outubro de 1999  
Foz do Iguaçu – Paraná - Brasil**

**GRUPO VIII  
GRUPO DE ESTUDOS DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS (GSE)**

**COMISSIONAMENTO DE BANCOS DE CAPACITORES SÉRIE CONVENCIONAIS E CONTROLADOS A TIRISTORES**

José Vicente de Carvalho Filho \*

José Joaquim do Souto Lopes

Delfim Eduardo Gomes

Euclides Duarte Fernandes

Saulo Salgado Wanderley

Ildebrando José Pereira Martins

**FURNAS**

**RESUMO**

A utilização de bancos de capacitores série convencionais e de um banco de capacitores série controlado a tiristores foi prevista para as subestações de Gurupi e de Serra da Mesa e seu comissionamento previsto para dezembro de 1998.

O informe descreve objetivamente as instalações e o funcionamento do conjunto de equipamentos dos bancos de capacitores série convencionais e controlados a tiristores, suas proteções, controles, seu funcionamento em condições de falha no sistema, comissionamento, procedimentos para energização, etc.

Os ensaios de comissionamento dos equipamentos e os procedimentos para energização dos bancos são descritos detalhadamente.

**PALAVRAS CHAVE**

Capacitores série, Tiristores, Comissionamento

**1.0 - INTRODUÇÃO**

A Subestação de Gurupi e a Usina de Serra da Mesa fazem parte do sistema de interligação norte-sul, através de linha de transmissão de 1017 Km em 550 kV.

Na subestação de Gurupi, foram instalados dois bancos de capacitores série convencionais. Cada banco possui três plataformas metálicas, uma por fase, sustentada por isoladores de porcelana tipo poste na vertical e na

diagonal por cadeia de isoladores poliméricos. Sobre as plataformas estão instalados os equipamentos do banco, com exceção do disjuntor de desvio.

Na subestação da Usina de Serra da Mesa foi instalado um banco de capacitores série controlado a tiristores para amortecimento de oscilações de potência por variação de impedância.

Esses bancos de capacitores série também aumentam as condições de estabilidade e capacidade de transmissão do sistema .

**2.0 - BANCOS DE CAPACITORES SÉRIE DA SE DE GURUPI**

**2.1 Principais características técnicas**

A Figura 1 mostra o diagrama unifilar do banco, incluindo os principais equipamentos.

**2.1.1 Bancos de capacitores**

As unidades capacitivas estão instaladas em cada fase em plataformas de aço ao potencial de 550 kV.

Cada fase possui 91 unidades capacitivas de potência nominal de 592 kVar cada uma, à tensão nominal de 5132 V, com fusíveis internos. A potência total do banco é de 161 MVar.

O arranjo em H é supervisionado pela proteção de desbalanço de corrente nos ramos.

Se 5 elementos em paralelo são desconectados por rompimento de fusíveis internos, haverá alarme e se 9 elementos forem desconectados, haverá desligamento do banco pela proteção de desbalanço de corrente.

**FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS SA**

Rua Real Grandeza 219 - Sala 707 Bloco A – Rio de Janeiro – RJ

CEP 22283-900 Fone 021 528 3046 Fax 021 528 5268

e-mail : victec@furnas.com.br

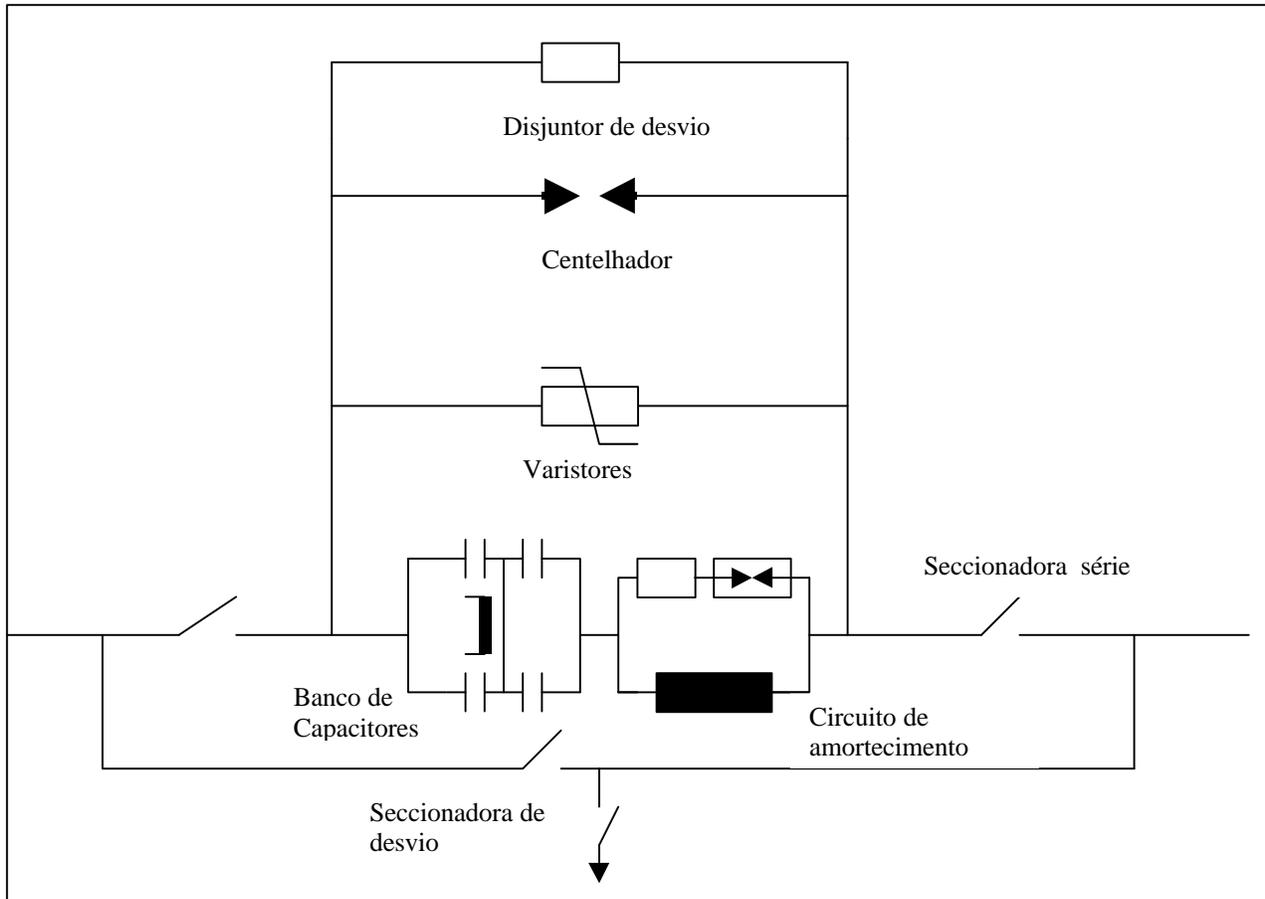


FIGURA 1  
Banco de Capacitores Série de 550 kV da SE de Gurupi

### 2.1.2 Varistores de óxido metálico (MOV) e centelhadores

A finalidade dos varistores é limitar a tensão nos capacitores a um valor seguro (2.8 pu). No caso da energia dissipada durante uma sobretensão ser superior a capacidade dos varistores, um sinal de disparo será enviado ao centelhador que curto-circuitará os varistores e o banco, protegendo os mesmos.

No caso de faltas externas ( faltas fora da seção da linha onde está instalado o banco de capacitores série ), os varistores manterão a tensão até o valor limite, até que os disjuntores da linha externa eliminem a falta.

No caso de faltas internas ( faltas dentro da mesma seção da linha onde o capacitor série está instalado ), o centelhador opera, curto-circuitando os varistores e o banco, protegendo-os. Simultaneamente, o disjuntor de desvio é fechado para extinguir o arco no centelhador.

### 2.1.3 Circuito de amortecimento

A finalidade do circuito de amortecimento é limitar e amortecer a corrente de descarga em um valor seguro para os equipamentos do banco. O circuito consiste de um reator de núcleo de ar em paralelo com um resistor linear em série com um centelhador. O centelhador de grafite introduzirá o resistor no circuito somente no caso de descarga do banco e durante o fechamento do disjuntor de desvio. Deste modo, as perdas do circuito durante operação normal do banco são baixas.

O circuito de amortecimento é conectado em série com o banco de capacitores. Deste modo a resistência no circuito é desprezível quando o disjuntor está fechado. Isto evita arco e danos nos contatos da seccionadora de desvio quando o capacitor série for desconectado da linha.

#### 2.1.4 Disjuntor de desvio

A finalidade do disjuntor de desvio é inserir ou desviar o banco de capacitores. Quando o centelhador opera, o arco é extinto pelo fechamento do disjuntor.

Este disjuntor é do tipo “puffer” a SF6 com nível de isolamento para terra de 550 kV.

#### 2.1.5 Sistema de transmissão de sinais, controle e proteção, unidades de terminais remotos

Sobre a plataforma estão instalados TCs que medem as diferentes correntes no nível de 550 kV da plataforma. As correntes no secundário dos TCs são transformadas em sinais infravermelhos na cabine eletrônica no nível da plataforma e enviadas ao nível de terra através das colunas de fibras óticas. No nível de terra, os sinais são enviados aos painéis de proteção e controle, na sala de controle, através dos cabos de fibras óticas. Na sala de controle os sinais são convertidos em sinais de tensão.

As principais proteções são:

- proteção de sobrecarga do banco de capacitores
- proteção de desbalanço do banco de capacitores
- proteção do centelhador
- varistores ( excesso de energia, corrente elevada, alta taxa de crescimento de energia )

A energia necessária aos equipamentos eletrônicos da plataforma é fornecida desde o nível de terra para a plataforma através do canal de fibras óticas usando lasers ao nível de terra.

#### 2.2 Planejamento, aquisição e comissionamento

O planejamento teve seu início com dois anos de antecedência, tendo sido realizadas viagens dos técnicos envolvidos a diversos fabricantes e instalações similares no exterior.

A partir da definição dos vencedores da concorrência para realização do empreendimento ( fornecimento, montagem e comissionamento ), em dezembro de 1997, foram realizadas reuniões para acompanhamento do programa e cronograma de fabricação, entrega, montagem e comissionamento dos equipamentos.

Os técnicos de Furnas participaram ativamente das discussões com os fabricantes sobre as premissas e parâmetros que envolveram os estudos para definição das características elétricas dos componentes principais, bem como da definição dos procedimentos de ensaios de tipo, de rotina e de comissionamento desses mesmos componentes e do capacitor série como um todo.

Foram realizadas as seguintes atividades:

- Acompanhamento da fabricação dos componentes principais através de inspeção direta ou contratada.
- Acompanhamento direto dos ensaios de tipo e protótipos em laboratórios no exterior, independentes ou próprios do fabricante.

-Análise da documentação requerida, como desenhos de equipamentos, proteção e controle, interface entre o capacitor série e o sistema de Furnas, manuais e relatório de ensaios e estudos.

Furnas solicitou aos fabricantes dos equipamentos que fosse elaborado um manual de instruções específico para o comissionamento incluindo valores de referência dos ensaios, além dos manuais de instrução de cada equipamento.

O comissionamento foi concluído em dezembro de 1998 e contou com a participação de técnicos do Departamento de Engenharia, Construção, Operação, Fabricantes e Empreiteiras.

Os bancos de capacitores foram energizados comercialmente em janeiro de 1999 .

#### 2.3 Procedimentos para inspeção, ensaios e comissionamento

Os procedimentos para cada equipamento, proteções e controles relacionados a seguir foram determinados de comum acordo entre Furnas e o Fabricante e constam do manual de instruções de comissionamento.

##### 2.3.1 Bancos de capacitores

Inspeção visual, medição de capacitância das unidades capacitivas, verificação da fiação e do torque das porcas dos conectores.

##### 2.3.2 Centelhadores

###### 2.3.2.1 Eletrodo superior

Inspeção visual geral, verificação do ajuste do centelhador e verificação do torque das conexões.

###### 2.3.2.2 Eletrodo inferior

Verificação dos torques das conexões.

###### 2.3.2.3 Eletrodo auxiliar

Inspeção visual, verificação das conexões e dos ajustes do centelhador.

###### 2.3.2.4 Divisores de tensão capacitivos

Inspeção visual, medição de capacitância e verificação dos torques das porcas.

##### 2.3.3 Circuito de amortecimento

###### 2.3.3.1 Resistor de amortecimento

Inspeção visual e medição da resistência, e ajuste do seu centelhador.

###### 2.3.3.2 Reator de amortecimento

Inspeção visual, medição da indutância, e da resistência .

##### 2.3.4 Colunas sinalizadoras de fibras óticas

Inspeção visual e verificação da continuidade.

##### 2.3.5 Transformadores de corrente

Inspeção visual.

### 2.3.6 Varistores

Inspeção visual.

### 2.3.7 Disjuntor de desvio

Inspeção visual, medição dos tempos de operação e verificação funcional dos circuitos elétricos, hidráulicos e de supervisão de gás SF6.

### 2.3.8 Cabos

Inspeção visual.

### 2.3.9 Ensaios dos painéis de controle e proteção

#### 2.4 .Energização

- Energização para verificação dos sinais transmitidos para a plataforma
- Energização com baixa corrente de linha
- Energização com corrente nominal
- Energização com sobrecarga de 150%

## 3.0 - BANCO DE CAPACITORES SÉRIE CONTROLADO A TIRISTORES DA USINA DE SERRA DA MESA

### 3.1 Principais características técnicas

A instalação consiste de um banco de capacitores série convencional com varistores e um reator controlado a tiristores em paralelo. Ver Figura 2.

Através do disparo das válvulas de tiristores a impedância capacitiva do sistema pode ser aumentada , por exemplo para amortecer oscilações de potência.

Conectado em série com esses equipamentos está o circuito de amortecimento de desvio.

O centelhador acionado por circuito de disparo é muito mais rápido permitindo deste modo uma aplicação econômica dos varistores.

O banco de capacitores possui impedância nominal de  $13.27 \Omega$  por fase . Esta impedância é aumentada em regime permanente para  $15.92 \Omega$  pela operação do reator controlado a tiristores, resultando numa potência reativa trifásica de 107.5 Mvar com a corrente nominal de 1500 A . O controle do TCSC pode aumentar a impedância até um fator máximo de 3 para amortecer oscilações de potência principalmente com baixas correntes.

#### 3.1.2 Banco de capacitores

É composto de 252 unidades capacitivas de 512 kVar cada uma, com elos fusíveis internos e proteção para desbalanço de corrente.

#### 3.1.3 Válvula de tiristores

Consiste de dois módulos ligados em série de 13 níveis de tiristores, ligados em antiparalelo.

### 3.1.4 Circuito de refrigeração das válvulas

Utiliza água desionizada , com baixa condutividade.

A transferência de potencial entre estruturas pode causar descargas parciais, e circulação de correntes eletrolíticas.

Para evitar esse problema são instalados eletrodos distribuídos ao longo do circuito de água.

Os demais equipamentos instalados na plataforma são similares aos dos bancos de capacitores série convencionais.

### 3.2 Planejamento , aquisição e comissionamento

Foram realizados em conjunto com os bancos de capacitores série convencionais desenvolvendo-se as mesmas atividades mencionadas no ítem 2.2.

### 3.3 Procedimentos para inspeção, ensaios, e comissionamento

#### 3.3.1 Válvulas de tiristores

Inspeção visual, verificação de torques das conexões e outras verificações de acordo com o manual de instruções do fabricante.

#### 3.3.2 Sistema de refrigeração

São realizadas as seguintes verificações:

Inspeção visual

Qualidade da água antes do enchimento ( ph  $7 \pm 0,25$  )

Operação manual por cerca de 8 horas com ligação em by-pass ( sem resfriar as válvulas ) para limpeza das tubulações.

Verificação dos filtros

Ligação das válvulas de tiristores e enchimento das tubulações

Operação das bombas por 24 horas para remoção de ar

Teste sob pressão para verificar vazamentos nas tubulações

Verificação da vazão do sistema de resfriamento de cada válvula de tiristores

Verificação da condutividade da água de refrigeração

#### 3.3.3 Outros equipamentos

Os demais equipamentos tais como unidades capacitivas, reatores, varistores, TCs , fibras óticas são ensaiados da mesma forma que nos bancos de capacitores série convencionais.

### 3.4 Energização

#### 3.4.1 Energização da plataforma

Antes da energização, todos os cuidados de segurança devem ser aplicados.

A plataforma deve ser energizada de  $\frac{1}{2}$  a 2 horas. O teste verificará a capacidade de isolamento dos equipamentos no nível da plataforma e a terra. Durante a energização

todos os sinais relevantes para a proteção, são verificados e registrados.

### 3.4.2 Inserção do banco de capacitores

O banco de capacitores deve ser colocado manualmente em serviço e operar durante 1 a 3 horas. Durante o teste todos os sinais importantes devem ser verificados e

### 4.1. Vazamento de óleo em unidades capacitivas com fusíveis internos

O problema ocorreu na solda do topo, da base das buchas, da caixa e do bujão de enchimento em quatro unidades capacitivas na SE de Gurupi e está sendo analisado em conjunto com o fabricante.

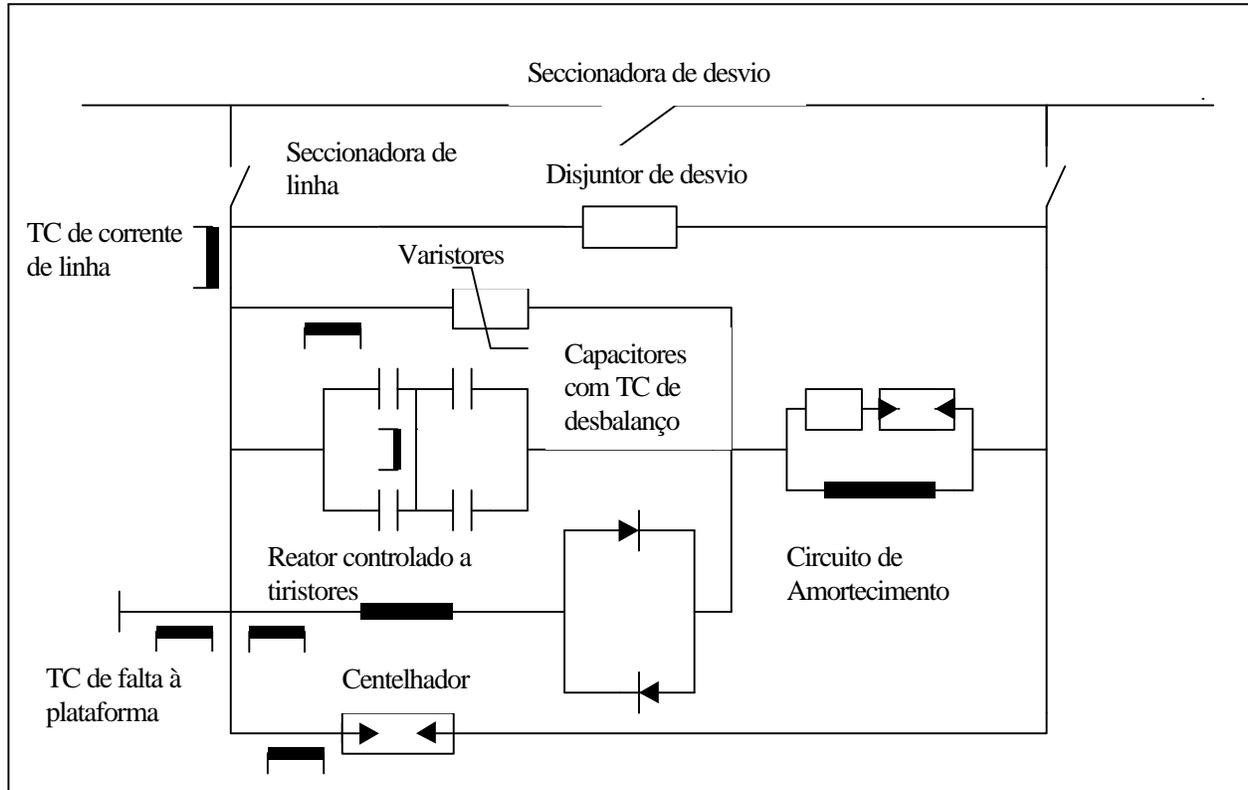


FIGURA 2

Banco de Capacitores Série de 550 kV Controlados a Tiristores da SE da Usina de Serra da Mesa

registrados. A corrente de linha deve ser na faixa de 200-600 A.

### 3.4.3 Verificações após energização

Ensaio de controle de impedância  
 Ensaio de controle de corrente  
 Ensaio de controle do reator controlado a tiristores  
 Ensaio de aquecimento  
 Operação no modo de impedância em diversas condições  
 Medições de campo elétrico  
 Medições de harmônicos

## 4.0 - PRINCIPAIS PROBLEMAS

### 4.2 Derretimento da resina dos reatores do circuito de amortecimento

Os reatores do circuito de amortecimento dos bancos de capacitores série da SE de Gurupi estão apresentando derretimento da resina protetora. O assunto está sendo estudado em conjunto com o fabricante, tendo sido retirada uma amostra do material e enviada à fábrica para análise.

### 4.3. Falha interna em unidades capacitivas com fusíveis internos

Dois unidades capacitivas, do banco de capacitores controlado a tiristores da Usina de Serra da Mesa,

apresentaram falha interna sendo uma com explosão e outra com variação da capacitância. Essas unidades foram enviadas à fábrica para investigação da causa da falha.

## 5.0 – CONCLUSÕES

Um conjunto mínimo de ensaios, resultante de acordo entre Fornecedor e Comprador, deve ser realizado no campo, para verificar a real situação em que equipamentos, sistema e subsistemas vão entrar em operação. Destaque deve ser dado à verificação das funções de proteção e controle, com testes simulados, do comportamento do conjunto com sistema de termovisão, durante o ensaio de aquecimento, da comunicação entre a sala de controle remoto e o Capacitor Série, da efetividade do sistema de resfriamento e do comportamento do Capacitor Série, controlado ou não, quanto aos objetivos de seu emprego, através de faltas aplicadas ao Sistema, na medida em que seja possível realizá-las. Após os testes, e antes da entrada em operação, itens como Varistores de ZnO, Circuito de Amortecimento e Transformadores para Instrumentos devem sofrer, no mínimo, inspeção visual. Todos os resultados de teste obtidos devem ser documentados para orientação de trabalhos de manutenção posteriores.

Valores limites criteriosos de Compatibilidade Eletromagnética, Harmônicos e Campo Elétrico devem ser especificados com base em Normas Técnicas, praxes operacionais da Concessionária e informações do Fornecedor, e verificados após o comissionamento e antes da entrada em operação.

Não conformidades técnicas de quaisquer naturezas deverão ser analisadas e removidas pelo Fornecedor, no que diz respeito ao equipamento fornecido.

## 6.0 - BIBLIOGRAFIA

6.1 - Instruction Manual IV K/HVFLAPI  
Nokian Capacitors

6.2 - Commissioning and Site Test Instruction Manual IV Series Capacitor Bank C8 Gurupi Substation

6.3 - Furnas Centrais Elétricas contrato 12332 Document Number 73 – T01 – 001:  
Capacitores Série Controlados a Tiristor na SE Serra da Mesa – System Design

6.4 - Furnas Centrais Elétricas contrato 12332 Document Number 97 - F04 – 002:  
Capacitores Série Controlados a Tiristor na SE Serra da Mesa – Comissioning Program