



**XVI SNPTEE**  
Seminário Nacional de Produção e  
Transmissão de Energia Elétrica

GSC/021

21 a 26 de Outubro de 2001  
Campinas - São Paulo - Brasil

**GRUPO X**  
**SOBRETENSÕES, COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO E INTERFERÊNCIAS**

**ANÁLISE DE PROBLEMAS ASSOCIADOS AOS TRANSFORMADORES DE POTENCIAL CAPACITIVO 550KV  
DA USINA DE XINGÓ**

Fernando Rodrigues Alves\*  
CHESF

Humberto Maribondo de Moraes  
CHESF

José Rafael Daconti  
Consultor Independente

**RESUMO**

Este trabalho apresenta os resultados das investigações efetuadas no desempenho dos Transformadores de Potencial Capacitivo 500 kV (TPC 500 kV) e nas instalações da Usina de Xingó, bem como as recomendações finais para a solução dos problemas detectados.

**Palavras-chave:** Manobras, Sobretensões, Compatibilidade Eletromagnética, Transformador de Potencial Capacitivo, Chaves seccionadoras, Proteção.

**1.0 INTRODUÇÃO**

No período de 1994 a 1997 foram verificadas várias ocorrências de atuação indevida de esquemas de proteção e de danificação de Transformadores de Potencial Capacitivo de 500 kV (TPC) devidas a curtos-circuitos generalizados na parte indutiva destes equipamentos, com queima de componentes, desarme de unidades geradoras e linhas de transmissão de 500 kV ligadas a Usina de Xingó.

Essas ocorrências, com repercussões em todo o sistema interligado Norte-Nordeste, levantaram suspeitas sobre o desempenho dos TPCs 500kV por ocasião da manobra de chaves seccionadoras de abertura vertical 500 kV.

Inicialmente, foram detectados problemas de dimensionamento dos filtros RLC destinados à supressão de harmônicos, instalados internamente nos TPCs, tendo sido os mesmos redimensionados pelo fabricante e substituídos em todas as unidades fornecidas à CHESF. Além disto, análises dos TPCs em laboratório da CHESF detectaram falhas no projeto da isolação do circuito indutivo desses equipamentos,

tendo sido sugeridas várias ações de melhoria que foram também implementadas.

Após a substituição dos filtros, a CHESF realizou ensaios de manobra envolvendo três TPCs na subestação de Xingó, objetivando avaliar a eficácia dessa solução sugerida pelo fabricante para os problemas de danificação e de partidas inadequadas das proteções de sobretensão quando da manobra de chaves seccionadoras de 500 kV no pátio da subestação.

Ao contrário do que havia ocorrido em outras ocasiões, não se observou a partida das proteções de sobretensões, embora se tenha observado sobretensões de alta freqüência com amplitudes da ordem de 2,5 pu superpostas aos sinais de 60hz.

Mesmo após a substituição dos filtros antigos em todas as unidades e implementação das melhorias nos isolamentos internos, persistiram os problemas de mau desempenho desses equipamentos.

Dando prosseguimento às investigações, foram efetuadas medições, através de oscilógrafos com resposta até 100 kHz nos seguintes pontos da instalação:

- Lado de baixa tensão dos TPCs (115 V);
- Lado de baixa tensão dos transformadores elevadores da usina (18 kV).

Em ambos os casos, as medições indicaram oscilações de tensão em freqüências elevadas, existindo picos superiores a 2,00 pu em freqüências torno de 2 kHz e 11 kHz.

Foi observada uma correlação entre o tempo de arco na chave seccionadora e a presença dos transitórios.

Com o disjuntor de 500 kV aberto, os registros no lado de baixa tensão (18 kV) do transformador elevador, dentro da usina, próximo ao cubículo de surto, ainda indicaram a presença de transitórios.

Em face da importância do assunto, devido à gravidade das conseqüências que poderiam advir de falha desses equipamentos e de uma atuação indevida de esquemas de proteção em Xingó, capaz de colocar em indisponibilidade uma potência da ordem de 3000 MW e de afetar todo o sistema interligado Norte-Nordeste, foi constituído um grupo de estudo, envolvendo especialistas das áreas de Engenharia e Operação da Empresa, para investigar o problema e propor soluções eficazes para saná-lo.

## 2.0 SISTEMA ESTUDADO

A Usina de Xingó, pertencente ao parque gerador da CHESF, localizada a jusante do complexo hidroelétrico de Paulo Afonso foi projetada para uma geração total de 3000 MW na sua primeira etapa com 6 máquinas de 500 MW cada e posteriormente mais 2000 MW gerados a partir da implantação de mais 4 unidades geradoras de mesma potência nesta Usina.

A usina de Xingó está conectada ao complexo de Paulo Afonso através de um link de 500 kV de 45 km de extensão. Dela derivam dois grandes troncos de transmissão de 500 kV, Xingó-Messias-Recife II, Xingó-Jardim-Camaçari que atendem a parte das cargas das áreas Leste e Sul da Chesf. Estas linhas de 500 kV propiciam o escoamento de sua potência para os grandes centros de demanda da região Nordeste.

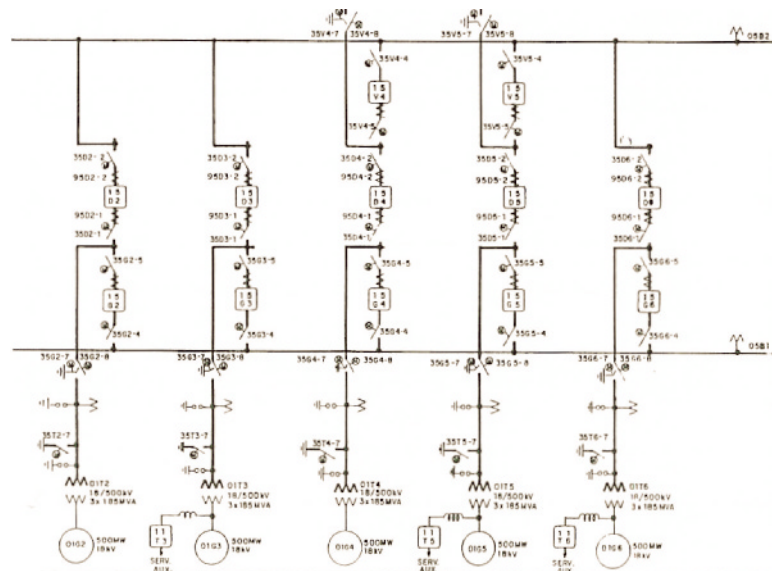


FIGURA 1 - DIAGRAMA UNIFILAR DA USINA E SE XINGÓ

## 3.0 ABORDAGEM DO PROBLEMA

De forma a estruturar um procedimento para investigar as causas dos problemas associados aos TPC 500 kV, foi elaborado um plano de ação conforme descrito a seguir:

- Efetuar levantamento das ocorrências, identificando os principais agentes causadores dos distúrbios, mediante análise de registros dessas ocorrências.
- Elaborar tabela estabelecendo uma correlação causa – efeito para as ocorrências a partir do seu levantamento.
- Coletar e tratar resultados de ensaios de manobras de seccionadoras realizados em outras subestações do sistema.
- Viabilizar a instalação de TPC 500 kV de outro fabricante na Usina de Xingó de forma a comparar o seu desempenho com o do TPC sob suspeição de apresentar mau desempenho
- Estabelecer e executar um programa de ensaios envolvendo os dois TPCs de diferentes fabricantes e as chaves seccionadoras de modo a monitorar a respostas dos equipamentos a manobras destas chaves.
- Intensificar contatos com os fabricantes da seccionadora e do TPC, objetivando obter soluções para os problemas operacionais e de projeto porventura detectados nestes equipamentos.

- Efetuar análise da compatibilidade eletromagnética nas instalações 500 kV da Usina de Xingó.

#### 4.0 ANÁLISES EFETUADAS

##### 4.1 Levantamento das ocorrências e correlação dos eventos

Foi efetuado um levantamento de todas as ocorrências envolvendo os TPCs 500 kV e efetuada uma correlação entre essas ocorrências e as condições do sistema durante as mesmas. A tabela 1 apresenta os resultados desta análise.

As operações indevidas no sistema, envolveram sinistro dos TPCs, saída de linhas de transmissão 500 kV e desligamento de geradores com conseqüente perda de geração, com prejuízos consideráveis para o sistema.

TABELA 1 - CORRELAÇÃO ENTRE AS CAUSAS DAS FALHAS E AS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO SISTEMA

Diagnóstico Causas	Total de Falhas	Condição Norma de Operação	Operação Secionadora	Energização de Linha	Causa Não Identificada
Falha de Isolamento do TPC	11(1)	5	4(3)		2
Filtro de TPC inadequado	5(2)		5(4)		
IEM(5)	5		2	1	2

- 1 – Quatro TPCs equipados com filtros novos
- 2 – Todas com filtro antigo.
- 3 – Uma operação com chave semi-pantográfica
- 4 – Duas operações com chave semi-pantográfica
- 5 – Incompatibilidade Eletromagnética

Observa-se nesta tabela que as principais ocorrências de defeito foram causadas por falha de isolamento dos TPCs.

Em adição, a presença de transitórios no lado de baixa tensão indica problemas relacionados à Compatibilidade Eletromagnética (EMC).

##### 4.2 Coleta de ensaios efetuados em outras subestações do sistema

Não foi possível executar esta tarefa em função de limitações de sistema.

##### 4.3 Comparação de desempenho de TPC de outro fabricante com o TPC com falha de desempenho

Foi instalado um TPC de outro fabricante e submetido às mesmas condições de operação do TPC sob suspeição. Os ensaios consistiram em manobras de

seccionadores de 500 kV e medição da tensão no secundário de ambos os TPCs de forma a detectar alguma anormalidade na reposta desses equipamentos. Os ensaios indicaram desempenho similar dos dois equipamentos com relação as sobretensões transferidas para o seu secundário por ocasião das manobras nas chaves seccionadoras. Preliminarmente, em função dos resultados obtidos, formulou-se a hipótese de que a principal diferença entre os dois equipamentos estava relacionada à menor suportabilidade dielétrica do isolamento do secundário do TPC que havia apresentado várias falhas e que o mesmo deveria ter seu projeto revisado.

##### 4.4 Contatos com os fabricantes da chave seccionadora e do TPC

Com relação às chaves seccionadoras de abertura vertical de 500 kV, foi mantido contato com o fabricante para que o mesmo procedesse uma análise da sua operação e desempenho tendo o mesmo enumerado uma série de ensaios que deveriam ser efetuados de forma a verificar a ocorrência de alguma anormalidade na sua operação.

Foram efetuadas duas manobras de abertura e duas de fechamento nas seccionadoras 35G1-4, ligada diretamente ao barramento de saída nº 05B1, 35G1-5, ligada diretamente ao barramento do gerador, 35D1-1, também ligada ao barramento do gerador e finalmente na 35D2-1 ligada diretamente ao barramento de saída nº 05B2 posicionadas conforme figura 1.

Todas as operações foram efetuadas com o gerador excitado e com 550 kV aplicados ao seccionador. As correntes existentes no barramento, de origem capacitiva e resistiva, não foram medidas. Todos os disjuntores associados aos seccionadores estavam abertos. Os arcos observados durante as manobras não foram de intensidade elevada.

Os tempos de arco medidos no fechamento e na abertura das seccionadoras ficaram entre quatro e oito segundos.

Em contatos mantidos com o fabricante do TPC, este assegurou que após a troca dos filtros e implementação das melhorias no isolamento do secundário do equipamento, não via como poderia ocorrer mal funcionamento do mesmo. Segundo o fabricante, a suportabilidade dielétrica do equipamento estava devidamente dimensionada para suportar os surtos de alta frequência advindos de manobras no sistema e no pátio da subestação da Usina. Ademais, reforçou que o neutro do secundário do TPC deveria ser aterrado em apenas um ponto sendo este localizado na cabana de relés.

##### 4.4 Análise de compatibilidade eletromagnética da Usina de Xingó

A CHESF solicitou ao CEPEL, efetuar uma avaliação das instalações da Usina de Xingó e identificar condições favoráveis a possíveis interferências

eletromagnéticas nos sistemas de proteção. A partir de uma análise detalhada das instalações foi possível observar que:

- O secundário do TPC estava aterrado apenas na casa de comando. Este aterramento ocasiona diferenças de potencial com relação ao primário (enrolamento de média tensão), que é aterrado localmente. Estas diferenças de potencial têm como fonte as correntes de frequência elevada, originadas quando das manobras das chaves seccionadoras. A prática europeia recomenda o aterramento local do secundário de forma a evitar estas sobretensões. No entanto, isto pode permitir a transferência de potenciais perigosos para operadores na casa de relés. Originalmente, o fabricante recomendou que a aterramento do TPC fosse efetuado através de dupla blindagem, sendo a interna aterrada em apenas um ponto e a externa em ambas as extremidades (3). Contatos mantidos posteriormente com o mesmo, este reforçou que o aterramento do secundário deveria ser mantido em apenas um ponto remoto, isto é, na cabana de relés e que o isolamento do secundário do TPC fora projetado para suportar essas sobretensões. Desta feita, a recomendação de dupla blindagem não foi citada.
- Foram verificados todos os aterramentos dos TPCs e sua adequação às recomendações do fabricante.
- Foi observado que as blindagens dos cabos de ligação entre TPCs e casa de comando não estavam aterradas em ambas extremidades. Estas condições poderiam representar uma condição favorável para o aparecimento de interferências em equipamentos eletrônicos sensíveis, recomendado-se o aterramento das blindagens dos TPCs e TCs que estivessem suspensos nas casas de relés.
- As canaletas contendo as cablagens do pátio para as casas de relés deverão ter o aterramento reforçado através da colocação de mais um cabo de terra de forma a melhorar a função de blindagem contra acoplamentos eletromagnéticos. Durante a inspeção foi observado que só existe um cabo, ao longo da canaleta.
- O aterramento na casa de relés poderá ser reforçado com uma malha de terra constituída por cabos de aterramento entre os vários bastidores.
- Foi observada a falta de continuidade elétrica entre as diversas bandejas (transportadores de cabos), instalados no interior da usina. Isto permitia a travessia dos cabos sem a devida blindagem eletromagnética. Assim, foi recomendada a interligação das bandejas metálicas e a instalação dos cabos de aterramento ao longo dessas bandejas.

incompatibilidade eletromagnética detectados em equipamentos eletrônicos a partir de manobra de seccionadoras.

## 5.0 CONCLUSÕES

Através das investigações efetuadas foi possível concluir que:

- A instalação dos novos filtros supressores de harmônicos sugeridos pelo fabricante nos TPC, não evitaram completamente que alguns casos de atuação indevida de esquemas de proteção ainda viessem a ocorrer. Estas atuações indevidas de esquemas de proteção só deixaram de ocorrer a partir do momento em que a CHESF decidiu que as manobras de chaves seccionadoras só deveriam ser realizadas com as máquinas da UHE Xingó desexcitadas.

- Embora os ensaios de laboratório realizados pela CHESF indicassem a possibilidade de existir falha no projeto de isolamento interno do TPC o fabricante deste equipamento considerou que as falhas detectadas poderiam estar sendo causadas por aterramento indevido dos equipamentos. Desta forma, recomendou que o neutro do enrolamento primário do TPC fosse aterrado na base do equipamento e que o neutro do enrolamento secundário fosse aterrado em apenas um ponto, sendo este ponto localizado no painel da cabana de relés. Embora esta prática difira da prática europeia, é esta a prática recomendada pelo fabricante e pela qual afirma se responsabilizar.

- A CHESF deveria verificar os aterramentos de todos os TPC visando adequá-los à recomendação do fabricante.

Além disso, ensaios elétricos realizados nas chaves seccionadoras de abertura vertical instaladas em Xingó não indicaram qualquer anormalidade no desempenho das mesmas, o qual apresenta-se similar ao desempenho de outras destas chaves instaladas em algumas empresas de eletricidade brasileiras.

Julgou-se necessário que a CHESF fizesse um monitoramento sistemático do estado do óleo isolante dos TPCs através de análises cromatográficas.

Finalmente, dentre as diversas recomendações apresentadas no Relatório CEPEL (4), cumpre destacar aquela que indicou a necessidade de se aterrar todas as blindagens de cabos de sinais em ambas as suas extremidades. Assim sendo, a CHESF verificou o aterramento das blindagens de todos os cabos de sinais da SE Xingó visando adequá-los à recomendação supramencionada.

Depois de implementadas essas melhorias não foram mais observadas falhas dos TPCs ou atuação indevida dos esquemas de proteção dos equipamentos ligados à usina e à subestação Xingó 500 kV .

## 6.0 REFERÊNCIAS

- (1) ALVES, F.R. Análise dos Problemas Associados aos TPCs da Usina e Subestação de Xingó 500 kV– RT-08-06-12/98, 1998.
- (2) ALVES, F.R. et ali. Atas de Reunião Surtos de Manobra no Sistema Primário e na Usina de Xingó, 1997.
- (3) MORAES, H.M, et ali. Sobretensões em TPC Durante Manobra de Chave Secionadora. XV SNPTEE 1999. Brasil
- (4) SAAD, J. Recomendações de Instalação Para a Compatibilidade Eletromagnética dos Equipamentos de Controle e Proteção da Usina Hidroelétrica e Subestação Xingó. Relatório Técnico-CEPEL.1997.

## 7.0 DADOS BIOGRÁFICOS

1. Fernando Rodrigues Alves  
Natural de Campina Grande – PB (1951). Graduado em Engenharia Elétrica (UFPB – 1978). Pós-graduado em Engenharia Elétrica (EFEI– 1983). Trabalha na CHESF, na área de Estudos do Sistema de Transmissão desde 1978, com experiência nas áreas de sobretensões, coordenação de isolamento e especificação de equipamentos de alta e extra alta tensão. Gerente da Divisão de Estudos e Tecnologia de Alta Tensão - DEAT de 1993 a 1999. Gerente da Divisão de Estudos de Planejamento da Expansão da Transmissão - DEPT de 1999 até a data atual. Menção Honrosa no XV SNPTEE de 1999 por trabalho apresentado no grupo X - GSI.
2. Humberto Maribondo de Moraes  
Natural de Campina Grande – PB (1955). Graduado em Engenharia Elétrica (UFPB – 1978). Mestre em Engenharia Elétrica (UFPB – 1987). Pós –graduado em engenharia da Qualidade (UFPE – 1992).  
Trabalha na CHESF, com passagem pelas áreas de equipamentos e ensaios desde 1978. Atualmente é Engenheiro da Divisão de Equipamentos de Subestação.
3. José Rafael Daconti  
Natural de Recife-PE (1954). Graduado em Engenharia Elétrica (UPE-1977). Mestre em Engenharia Elétrica (EFEI-1986). Pós-Graduado em Sistemas de Potência e Qualidade de Energia Elétrica (Cornell University-1997). Trabalhou no Departamento de Estudos do Sistema de Transmissão da CHESF no período 1978-1998. Foi Coordenador do Comitê de Estudos 36 (Compatibilidade Eletromagnética) do CIGRÉ-Brasil no período 1992-2000.