



**CRITÉRIOS E METODOLOGIAS ESTABELECIDOS NO ÂMBITO DA FORÇA-TAREFA “COLAPSO DE TENSÃO” DO GTAD/SCEL/GCOI PARA ESTUDOS DE ESTABILIDADE DE TENSÃO NOS SISTEMAS INTERLIGADOS NORTE/NORDESTE, SUL/SUDESTE E NORTE/SUL BRASILEIROS**

**GRUPO IV**

**Análise e Técnica de Sistemas de Potência (GAT)**

Antonio Carlos Barbosa Martins (*) FURNAS Fábio dos S. Fonseca CESP	Hermínio José C.P.Pinto CEPEL Seiyiti Yagi EPTE	Nuno H. M. N. Brito ELETORNORTE Paulo Almeida ELETROBRÁS	Luiz Frederico Vasconcelos CHESF Rui Jovita ITAIPU	Vera Lúcia de Castro Soares ELETROSUL Luiz Cláudio A. Ferreira FURNAS	Luiza Maria S. Carijó FURNAS Ricardo Prada PUC-RJ
--	---	---	--	--	---

**RESUMO:**

A Força Tarefa “Colapso de Tensão” [1] foi criada em março de 1998 em reunião plenária do GTAD/SCEL/GCOI com os objetivos de criar metodologias e definir critérios para estudos de estabilidade de tensão, além de reavaliar os esquemas de corte de carga manuais e automáticos por sub-tensão nos sistemas interligados Sul/Sudeste e Norte/Nordeste brasileiros.

Diversas áreas dos Sistemas Interligados Sul/Sudeste, Norte/Nordeste e Norte/Sul foram estudadas, estabelecendo-se suas respectivas peculiaridades. Surgiram os primeiros esboços de metodologias para estudos de estabilidade de tensão, que foram sendo aperfeiçoados. A etapa seguinte consistiu na definição de critérios para estudos de estabilidade de tensão.

**PALAVRAS-CHAVE:** metodologia de estudos de estabilidade de tensão, critérios de planejamento para estudos de estabilidade de tensão; margem de carregamento; ferramentas estáticas; análise modal; ferramentas dinâmicas.

**1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO:**

A criação desta F-T foi uma das ações que se fizeram necessárias após as duas ocorrências de colapso de tensão na Área São Paulo em abril de 1997. Diversas providências foram tomadas desde então, no sentido de prevenir o Sistema de novas ocorrências similares. Algumas destas providências, tais como a retirada de reatores dos troncos de 440 kV da CESP, podem ser consideradas de forma definitiva. Outras providências, no entanto, foram tomadas de forma empírica, necessitando revisões para definir melhor seus limites. Pertencendo a este último grupo, os cortes de carga manuais e automáticos para evitar instabilidades de tensão nas Áreas Rio de Janeiro/Espírito Santo, São Paulo e cortes de carga

automáticos no Sul necessitam metodologias de estudo e critérios bem definidos para serem efetivos.

O estabelecimento de critérios de corte de carga em tempo real é tarefa árdua, sendo necessário levar em consideração muitos fatores. Podemos, no entanto, estabelecer critérios no âmbito do planejamento da operação levando-se em conta, por exemplo, o critério (n-1) do planejamento da expansão.

Este artigo tem como objetivo relatar a organização e a realização de Curso específico, informar os contactos com as Universidades para colaboração mútua nos estudos de estabilidade de tensão, relatar a metodologia geral para estudos de estabilidade de tensão aprovada no âmbito da Operação, além de propor critérios de planejamento para estudos de estabilidade de tensão.

**2. PREPARAÇÃO E EXECUÇÃO DE CURSO SOBRE ESTABILIDADE DE TENSÃO:**

Por sugestão da representação da ELETROSUL no GTAD e da coordenação da F-T foi montado um Curso no qual os especialistas esclareceram aos diversos grupos de trabalho do SCEL de que forma é possível melhorar as condições gerais de um caso base de fluxo de potência, e de que forma devem ser usadas as diversas ferramentas utilizadas para estudos de estabilidade de tensão. Ainda por sugestão do representante da Eletrosul, foi incluído neste curso um módulo teórico, com o objetivo de introduzir alguns conceitos básicos de estabilidade de tensão, aproveitando o escopo do curso. Foi, então, organizado um Curso sobre inadequações de representação da rede elétrica, com Introdução à Teoria de Estabilidade de Tensão, com a apresentação das ferramentas do CEPEL que foram desenvolvidas para estudos de estabilidade de tensão, e com o relato de aplicações práticas destas ferramentas em estudos de estabilidade

de tensão em diversas regiões do Sistema Elétrico brasileiro.

### 3. CONTACTO COM AS UNIVERSIDADES:

O GCOI, fez um convite a várias Universidades brasileiras solicitando colaboração nos estudos de estabilidade de tensão junto aos grupos de trabalho do SCEL. Diversos sub-grupos do SCEL fizeram apresentações dos trabalhos desenvolvidos no âmbito do GCOI relativos a estudos de estabilidade de tensão aos representantes das Universidades. Foram abordados os diversos esquemas de corte de carga manuais e automáticos para evitar instabilidades de tensão nas áreas Rio de Janeiro/Espírito Santo, São Paulo e na região Sul; os programas desenvolvidos pelo CEPEL para estudos de estabilidade de tensão; as pesquisas e os estudos desenvolvidos no âmbito da F-T; e os pontos deficitários com que os grupos de trabalho têm que conviver atualmente, tais como os modelos de representação das cargas, os poucos dados disponíveis para a realização de estudos de otimização de fluxos de potência, etc.. Um dos principais pontos abordados foi o aspecto de levantamento do perfil da carga de forma mais precisa, uma vez que sua característica real não é conhecida em nenhuma das regiões brasileiras. As Universidades se mostraram interessadas no desenvolvimento de algoritmos para a identificação dos modelos de carga e na possibilidade de realizar as próprias medições para a posterior identificação do modelo dinâmico da carga medida.

### 4. FERRAMENTAS UTILIZADAS PELA F-T:

#### 4.1 Ferramentas Estáticas:

ANAREDE/CEPEL: Utilizado para a determinação das Curvas P x V e das Curvas V x Q.

NH2FPO/CEPEL: Utilizado para a determinação das Curvas P x V.

FLUPOT/CEPEL: Utilizado para a determinação de Máximos Carregamentos e de cortes mínimos manuais de carga na Área Rio de Janeiro/E. Santo.

Lflow/FURNAS: Utilizado para a determinação das Curvas P x V e das barras críticas fornecidas pelo Vetor Tangente.

ESTABTEN/PUC-RJ: Utilizado para determinação de Análises de Sensibilidade.

#### 4.2 Análise Modal:

VoltStab/PacDyn/CEPEL [13, 18, 19]: Utilizado para a análise modal do problema de fluxo de potência; também utilizado na identificação dos modos de colapso de tensão; na identificação das barras críticas (vetores de observabilidade) e dos pontos de reforço no sistema.

#### 4.3 Ferramentas Dinâmicas:

ANATEM: Para simulações de Médio Termo.

EUROSTAG: Para simulações de Longo Termo.

### 5. ESTABELECIMENTO DE METODOLOGIA PARA ESTUDOS DE ESTABILIDADE DE TENSÃO:

Os estudos de estabilidade de tensão se encontram, ainda, em fase de desenvolvimento em todo o mundo, não permitindo que se considere completa qualquer tipo de abordagem hoje utilizada. Desta forma, um estudo de estabilidade de tensão deve pautar por ser abrangente, no sentido de contemplar os seus diversos aspectos característicos.

Primeiramente, uma análise estática deve ser feita abordando pesquisas de margens de operação e análises de sensibilidade. A abordagem seguinte que se faz necessária é uma análise modal, para que se conheçam os autovalores críticos do sistema, determinando o comportamento de cada um, e realizando uma análise de sensibilidade. E, finalmente, deve ser empreendida uma análise dinâmica, com simulações no domínio do tempo, reproduzindo cronologicamente o fenômeno da instabilidade de tensão, e permitindo testar as soluções encontradas nas análises de sensibilidade estática e modal.

#### 5.1 Análise Estática:

##### 5.1.1 Levantamento de Curvas P x V:

Este tipo de curva permite definir margens de carregamento do sistema que está sendo abordado. No entanto, para que estas margens tenham consistência, é necessário realizar um estudo abrangente, incluindo diversas direções de crescimento de carga, com diferentes tomadas de carga para cada uma destas direções [14].

Um estudo de cunho operativo deve considerar sempre presente os limites de geração de potência reativa das máquinas, CS's e CE's. Desta forma, o máximo carregamento encontrado pode, muitas vezes, ser limitado por uma ou mais máquinas importantes da área, não permitindo que o programa trace a curva P x V completa, não passando pela ponta do "nariz".

No entanto, para se conseguir uma visão mais global da investigação, é necessário levantar curvas P x V sem levar em consideração os limites de geração de potência reativa das máquinas, permitindo ao programa passar pela ponta do "nariz" e traçando a parte instável do ponto de vista de controle (parte "B") da curva. Neste caso, é necessário mapear os possíveis déficits de potência reativa do Sistema.

##### 5.1.2 Levantamento de Curvas V x Q:

Este tipo de curva estabelece duas margens, sendo uma de carregamento (em MW) e, outra, de capacidade máxima de carga reativa na barra.

O levantamento das curvas  $V \times Q$  deve ser feito para todas as principais barras da área em foco, e para cada crescimento de carga.

A margem de carregamento pode ser calculada através do levantamento de curvas  $V \times Q$  de uma barra importante da área em estudo para diversos carregamentos, e será a diferença entre o carregamento no qual o ponto de operação se encontra na ponta do “nariz” e o carregamento inicial, presumindo-se que no ponto inicial esteja operando no lado direito da curva. Caso contrário, este barramento não possui margem alguma de carregamento.

A capacidade máxima de carga reativa, para cada carregamento, é a diferença entre a ponta do “nariz” da curva e o ponto de operação. O ponto de operação é o ponto inicial do traçado da curva  $V \times Q$ .

### 5.1.3 Programas de Fluxo de Potência Ótimo:

Os programas de otimização aplicam-se de maneira especial em estudos de estabilidade de tensão. O número de funções objetivo específicas para este tipo de estudo é grande e se encontra disponível em mais de um programa comercial no Brasil [11, 12].

Algumas funções objetivo têm sido utilizadas em estudos recentes para determinação de cortes manuais de carga em regime permanente para evitar instabilidades de tensão sem, no entanto, ter havido consenso entre as empresas nos resultados encontrados. Uma das conclusões para este baixo desempenho reside no alto grau de sensibilidade dos programas de otimização, nos quais qualquer pequena modificação na massa de dados causa diferenças significativas nos resultados obtidos. Daí a necessidade de se montar uma base de dados abrangente para permitir confiabilidade nos resultados.

### 5.2 Análise Modal do Problema de Fluxo de Potência:

A análise modal se divide em várias etapas. Primeiramente é necessário fazer uma pesquisa na área de interesse para descobrir se há modos críticos e, caso existam, quais são.

Uma vez que esta é uma análise linear e, portanto, válida apenas no “em torno” do ponto analisado, deve-se proceder a análise modal nas situações mais críticas, isto é, nos pontos mais próximos de máximo carregamento.

Após a identificação dos modos críticos, deve-se proceder a uma análise de sensibilidade, com o objetivo de se estabelecer os barramentos mais críticos associados a este modos, e com a indicação de onde se é mais eficaz a instalação de equipamentos de controle de tensão e/ou equipamentos FACTS [6, 7, 8, 9].

As soluções aqui encontradas devem ser testadas no Sistema através de simulações em ferramentas não lineares de fluxo de potência e de análise dinâmica.

### 5.3 Análise Dinâmica:

As simulações no domínio do tempo são de grande utilidade pois reproduzem cronologicamente o fenômeno da instabilidade de tensão e permitem testar as soluções encontradas nas análises estática e modal [5, 10, 17].

Estas simulações podem ser de médio e de longo termo, o que compreende de um a dezenas de minutos, incluindo a representação dinâmica de LTC's de transformadores, o crescimento da carga de qualquer área e a tomada de carga pelas usinas que se deseja arbitrar.

### 5.4 Dados Necessários:

#### 5.4.1 Preparação dos Dados Estáticos:

- Discriminação da parcela de carga industrial, por barramento, com o objetivo de melhor se proceder o crescimento de carga sem incorrer em erros grosseiros.
- Dados para programas de fluxos de potência ótimos:

1. Faixas de Tensão: montar quatro grupos: para cada patamar de carga; valores máximos admitidos; valores mínimos de tensão abaixo dos quais pode haver corte natural de carga; para geradores, CS's, CE's e barras controladas por LTC's.
2. Faixas de Tapes: montar quatro grupos: de transformadores com LTC, e operam em modo automático; de transformadores com LTC, e operam em modo manual; de transformadores que operam com tapes fixos; de transformadores defasadores.
3. Limites de Geração: montar quatro grupos: de potência ativa dos geradores; de potência reativa dos geradores, para geração de potência ativa máxima; de potência reativa dos CS's e CE's; limitadores de sobre e de sub-excitação das usinas e CS's.
4. Faixas de Elementos “Shunts”: chaveáveis a disjuntor; chaveáveis a “frio”.
5. Limites de MVA: valores máximos de MVA em LT's e transformadores, para regimes normal e de emergência.

- Discriminar, em cada barramento de carga, os montantes considerados de compensação reativa.

#### 5.4.2 Preparação dos Dados Dinâmicos:

- São necessários os dados usuais para estudos regulares de estabilidade eletromecânica, tais como: parâmetros de geradores e de seus controladores; dados dinâmicos do elo CCAT; etc..
- Dados dinâmicos de transformadores com comutação automática de tapes sob carga (LTC's),

conforme descrito a seguir: tape mínimo, em pu; tape máximo, em pu; número de intervalos de tapes; número da barra controlada; valor da banda morta para habilitação da atuação do controle, em pu; valor da banda morta para desabilitação da atuação do controle, em pu; tempo de ajuste do relé para atuação do controle de tape, em segundos; tempo de retardo referente ao mecanismo de mudança de tape, em segundos; tempo de bloqueio para novas alterações de tape, após atuação do mecanismo de mudança, em segundos; constante de tempo do transdutor de medição de tensão, em segundos; valor de tensão abaixo do qual o controle de tape é congelado, em pu.

### 5.5 Representação da Carga:

A princípio, deve-se manter a representação de carga adotada em estudos regulares de fluxo de potência.

Dentro das faixas de tensão operativas, a representação da carga como “potência constante” é válida, descrevendo com precisão o comportamento da carga. Conforme se aumenta a carga e se verifica que as tensões venham a cair, esta representação vai deixando de ser adequada. No caso de não se representar os transformadores da distribuição, deve-se estipular um valor mínimo de tensão, abaixo do qual considera-se esgotado os LTC's, passando-se a representar a carga com um modelo dependente da tensão.

#### 5.5.1 Fator de Potência Considerado Durante o Crescimento da Carga:

Na impossibilidade de se representar “motores de indução” no estudo, mas tendo-se noção do percentual deste tipo de carga ativa, deve-se estipular dois valores de tensão, a saber: a) valor abaixo do qual é necessário alterar o fator de potência a cada aumento da carga; b) valor abaixo do qual considera-se o motor “estolado” e, conseqüentemente, fora de operação.

Para os casos onde só se representam cargas passivas o fator de potência deve ser mantido constante durante o crescimento da carga.

### 5.6 Nível de Contingência:

Para que um estudo de estabilidade de tensão seja abrangente, é necessário cobrir as mais variadas condições operativas do Sistema Elétrico. Deve-se, portanto, realizar as análises estática, modal e dinâmica para as condições normais de operação em todos os patamares de carga, e para as condições de indisponibilidades de equipamentos, também em todos os patamares de carga.

Pode ser necessário cobrir cenários mais desfavoráveis que os considerados no planejamento (n-1), tais como: contingência simples com contingência prévia e reajuste posterior do Sistema (n-1-1); Contingência Dupla (n-2); Contingência Múltipla Provável.

Estas situações devem ser analisadas em estudos de planejamento da operação de forma a fornecer valores de margens e de limites operativos mais realistas para, dentre outros objetivos, dar subsídios à operação em tempo real.

Desta forma, o Nível Mínimo de Contingência deve ser estipulado, de acordo com as prioridades e necessidades de cada agente, ou de cada Área, para se realizar um estudo o mais abrangente possível de estabilidade de tensão.

### 5.7 Estabelecimento da Margem:

O estabelecimento da margem mínima requerida pelo Sistema é função do nível de segurança que se quer trabalhar, e depende das posições consensadas entre as empresas.

#### 5.7.1 Margem em MW:

A margem pode ser um valor fixo para qualquer condição. Neste caso este valor deve ser atualizado sempre que houver expansão do Sistema, ou indisponibilidades por longos períodos de tempo.

A margem pode ser um valor percentual da carga de uma área ou do fluxo para uma determinada região.

#### 5.7.2 Margem em Mvar:

A margem medida em uma curva  $V \times Q$  pode ser a medida entre a ponta do “nariz” e o eixo  $V$ . A margem pode, ainda, ser a medida até um determinado nível de tensão.

A reserva de potência reativa efetiva de unidade(s) geradora(s) representativa(s) também pode ser um parâmetro a ser utilizado.

#### 5.7.3 Dependência do Nível de Contingência:

A margem irá sempre depender do nível de contingência arbitrado: Simples; Dupla; Múltipla Provável.

## 6. PROPOSTA DE CRITÉRIOS PARA ESTUDOS DE ESTABILIDADE DE TENSÃO NO ÂMBITO DO PLANEJAMENTO ELÉTRICO DA OPERAÇÃO:

A proposta de critérios para estudos de estabilidade de tensão no âmbito do planejamento elétrico da operação aqui apresentada está sendo discutida na Força-Tarefa e foi inserida nos Procedimentos e Critérios da Rede Básica do ONS (Operador Nacional do Sistema) para discussão entre os agentes do Sistema Elétrico[2].

- Metodologias P-V e V-Q devem ser usadas para identificação das margens;
- Cada agente deve planejar e operar seu Sistema mantendo os níveis mínimos de margem especificados na Tabela 1. As incertezas nos dados, no desempenho dos equipamentos e nas condições do Sistema devem ser consideradas antes de se aplicar a Tabela 1.

- Os critérios de estabilidade de tensão devem ser aplicados tanto internamente a um sistema quanto com relação ao impacto que um Sistema possa causar a outro. As margens na Tabela 1 não precisam ser atendidas se: (i) a área local é radial ou é um sistema local; (ii) a contingência considerada não causa colapso de tensão ao sistema além da área local.
- Modelos de carga apropriados são fundamentais para a análise de estabilidade de tensão. Se estes modelos ainda não estão disponíveis, testes de carga devem ser feitos. O uso de programas de síntese de carga devem ser utilizados para determinar os modelos de carga usando resultados de leituras de grandezas elétricas. Até se disponibilizar modelos de carga apropriados, as cargas podem ser modeladas como descritos no item 5 acima.

**TABELA 1: CRITÉRIOS PARA ESTABELECIMENTO DE MARGEM EM ESTUDOS DE ESTABILIDADE DE TENSÃO**

Nível de Desempenho	Distúrbio (1) Iniciado por: - Com falta ou sem falta; - Distúrbio em CCAT	Margem em MW (Método P x V) (2) (3) (4)	Margem em Mvar (Método V x Q) (3) (4)
A	Qualquer elemento	$\geq 5\%$	Cenário do pior caso (5)
B	Quaisquer combinações de dois elementos	$\geq 2.5\%$	50% da Margem requerida no nível A
C	Quaisquer combinações de três ou mais elementos	$> 0\%$	$> 0\%$

### 6.1 Notas para a Tabela 1:

- (1) A margem para as condições de caso base (n) precisam ser maiores que a margem para o desempenho de Nível A;
- (2) O ponto de máxima operação no eixo P precisa ter uma margem em MW igual ou maior que os valores nesta Tabela, sendo medida da ponta do nariz da curva P x V para cada Nível de Desempenho;
- (3) As técnicas de análise pós-transitória devem ser utilizadas na aplicação dos critérios;
- (4) Cada agente do sistema deve considerar, como lhe convier, as incertezas do item 6.2 abaixo para determinar a margem requerida por seu sistema;
- (5) A barra com mais deficiência de potência reativa precisa ter uma margem adequada de potência reativa para a pior contingência simples de modo a satisfazer uma das seguintes condições, a que for pior: (i) 5% de aumento além da máxima carga prevista; (ii) 5% de aumento além do máximo intercâmbio permitido.

### 6.2 Considerações de Incertezas para Estabelecimento de Critérios de Estabilidade de Tensão:

A Tabela 1 especifica as mínimas margens requeridas para cada agente do Sistema. Antes de aplicar a Tabela 1, o agente deve considerar, como lhe convier, as seguintes incertezas: a) Cargas ativa e reativa maiores que a prevista; b) Aproximações em estudos de planejamento da expansão e da operação; c) Saídas de equipamentos não estudadas; d) Saídas de equipamentos não rotineiramente estudadas nos Sistemas vizinhos; e) Saída de geradores após grandes distúrbios; f) Saída de LT's de mais baixas tensões após grandes distúrbios; g) Variações nos despachos de Sistemas vizinhos; h) Grandes e variados intercâmbios de potência reativa com Sistemas vizinhos; i) Restrições de potência reativa nos geradores de Sistemas vizinhos maiores que o planejado; j) Variações nas características da carga, especialmente nos fatores de potência da carga; k) Risco do próximo evento acontecer durante o período de 30 minutos de ajuste do Sistema pós-distúrbio; l) Não ser capaz de reajustar o Sistema adequadamente para trazê-lo a um estado seguro; m) Aumento nos maiores fluxos após as maiores contingências, devido a muitos fatores, tais como o corte de carga natural por subtensão; n) Reservas de potência reativa em tempo real que não estão disponíveis; o) Limitadores de excitação respondendo prematuramente; p) Possível falha de esquemas automáticos de emergência; q) Saídas prematuras de recursos do Sistema; r) Limites de potência reativa mais restritivos que o planejado nos geradores internos.

### 7. APLICAÇÃO PRÁTICA DA METODOLOGIA:

Um estudo realizado pela ITAIPU Binacional baseado em [1] e em [8] permitiu o aumento da geração da UHE Itaipu 60 Hz em relação ao que era praticado anteriormente (4300 MW), em condições específicas de rede alterada no tronco em 765 kV. A operação deste tronco com a ausência de um transformador de Ivaiporã, ou com ausência total desta transformação, requer o cálculo dos limites de geração de Itaipu 60 Hz considerando-se a ocorrência da pior contingência simples. Pelas curvas P x V em T.Preto 765 kV as soluções passam a pertencer à região invertida a partir da geração em Itaipu 60 Hz de 5340 MW. A potência reativa gerada é de 1970 Mvar, equivalendo a uma corrente de excitação de 3350<sup>a</sup>. O limite de estabilidade de tensão é atingido, portanto, antes do esgotamento da capacidade de geração de potência reativa em Itaipu, o que provoca a atuação dos limitadores de sobre-excitação. Para tensão em Tijuco Preto 765 kV superior a 0,91 pu o ponto de solução pertence ao lado estável da curva. Pela curva P x V

verifica-se que para garantir que esta tensão fique sempre acima de 0,91 pu a geração de Itaipu deve ser limitada a 5100 MW. O resultado da simulação completa no domínio do tempo da perda do transformador mostra que o sistema suporta a contingência apresentando bom desempenho.

### 8. CONCLUSÕES:

O desenvolvimento recente de ferramentas específicas para estudos de estabilidade de tensão tornou possível se estabelecer estudos regulares de estabilidade de tensão no âmbito do planejamento da operação. Para se alcançar tal objetivo são necessárias três condições: 1) Que se conheça cada ferramenta, como usá-las, e que tipo de resultado se obtém de cada uma; 2) Que se estabeleça uma Metodologia geral para estudos de estabilidade de tensão, como a que está proposta no Relatório Intermediário da F-T e transcrita neste artigo; 3) Que se estabeleçam Critérios gerais e específicos para estudos de estabilidade de tensão no âmbito do planejamento elétrico da operação, que utilizem a metodologia consensada. Neste artigo são propostos Critérios para estudos de estabilidade de tensão no âmbito do planejamento elétrico da operação. Estes critérios estão sendo discutidos na F-T. O estabelecimento de critérios no âmbito do planejamento elétrico da operação, acompanhando os critérios estabelecidos no planejamento da expansão, vem ao encontro de um sistema mais seguro, contribuindo para a desativação de esquemas de controle em emergência que evitam instabilidades de tensão e, conseqüentemente, colapsos de tensão no Sistema Interligado S/SE/CO/N/NE brasileiro.

O contacto do GCOI com as Universidades se mostrou bastante promissor. As propostas recebidas são bem embasadas e de cunho eminentemente prático.

O Curso ministrado pela F-T obteve ótimos resultados, conseguindo um número significativo de participantes, logrando êxito nas metas pretendidas.

### 9. REFERÊNCIAS:

- (1) Relatório Intermediário da Força-Tarefa Colapso de Tensão do GTAD/SCEL/GCOI
- (2) Voltage Stability Tutorial IEEE Power Engineering Society 1998 Summer Meeting - San Diego, CA - July 13, 1998
- (3) Survey of the Voltage Collapse Phenomenon, NERC, 1991
- (4) C.W. Taylor, "Power System Voltage Stability", McGraw-Hill, 1994
- (5) Phraba Kundur, Power System Stability and Control, McGraw Hill, 1994
- (6) A.C.B. Martins, L.R.A. Correia, A. V.Gomes e H.J.C.P. Pinto, "Estudos e Ferramentas de Estabilidade de Tensão Utilizados no Âmbito do Planejamento da Operação Elétrica do Sistema Interligado", XIII SNPTEE, Outubro 1995.
- (7) A.C.B. Martins, A.V.Gomes, H.J.C.P. Pinto, C.E.V.Pontes e A.Y.Takahata, "Investigações e Propostas de Solução Para o Fenômeno do Colapso de Tensão na Área Rio de Janeiro/Espírito Santo", V SEPOPE, Maio 1996.
- (8) A.C.B. Martins, Luiza M. S. Carijó, H.J.C.P. Pinto, A. Melo, R. D. Rangel, C. H. C. Guimarães, A. Y. Takahata, " Avaliação de Soluções para o Fenômeno da Instabilidade de Tensão no Sistema Interligado Sul/Sudeste Brasileiro ", VI SEPOPE, Maio 1998.
- (9) B. Gao, G.K. Morison and P. Kundur, "Voltage Stability Evaluation Using Modal Analysis", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 7, No. 4, pp. 1529-1542, November 1992.
- (10) CIGRÉ Task Force 38-02-10, "Modeling of Voltage Collapse Including Dynamic Phenomena", CIGRÉ Brochure, No. 75, 1993 (summary in *Electra*, No. 147, pp. 71-77, April 1993).
- (11) S. Granville, J. C. O. Mello, A. C. G. Melo, "Application of Interior Point Method to Power Flow Unsolvability", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 11, No. 2, May 1996.
- (12) S. Granville, "Optimal Reactive Dispatch Through Internal Point Method", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 9, pages 136-146, Feb 1994.
- (13) H.J.C.P. Pinto, N. Martins, X. Vieira Fo., A. Bianco, P. Gomes and M.G. Santos, "Modal Analysis for Voltage Stability Applications at Base Case and Point of Collapse", *Proceedings of Bulk Power Systems Voltage Phenomena III: Voltage Stability Security and Control*, pp. 215-228, Davos, Switzerland, Aug. 1994
- (14) C.A. Cañizares, F.L. Alvarado, "Computational Experience with the Point of Collapse Method on Very Large AC/DC Systems", in (9), pp. 103-111.
- (15) C.W. Taylor, B.L. Silverstein, "Reliability Criteria for Voltage Stability", *Proceedings of IV SEPOPE*, Foz do Iguaçu, Brazil, May 1994.
- (16) P. Kundur, B. Gao, "Practical Considerations in Voltage Stability Assessment", *Proceedings of IV SEPOPE*, Foz do Iguaçu, Brazil, May 1994.
- (17) G.K. Morison, B. Gao, P. Kundur, "Voltage Stability Analysis Using Static and Dynamic Approaches", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 8, Nº. 3, August 1993, pp. 1159-1171.
- (18) N. Martins, "The Dominant Pole Spectrum Eigensolver", 1996 IEEE/PES Winter Meeting, paper 96 WM 274-1 PWRB, Baltimore, MD, January 1996
- (19) N. Martins, L.T.G. Lima and H.J.C.P. Pinto, "Computing Dominant Poles of Power System Transfer Functions", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 11, No. 1, February 1996