



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GOP - 20
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

**GRUPO IX
GRUPO DE ESTUDO DE OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GOP**

**EXPERIÊNCIA DO ONS EM SIMULADORES DE TREINAMENTO NO CENTRO NACIONAL (CNOS) E NO
CENTRO REGIONAL SUL (COSR-S)**

Héctor Andrés R. Volskis *	Alexis Cabanas Esteves	João Lucio M. Fernandes	Marco Aurélio Quadros
ONS	ONS	ONS	ONS
Juliana M. T. Alves	Luiz Correa Lima	João José R. Oliveira	Luiz Antônio C. Pereira
CEPEL	CEPEL	CEPEL	CEPEL

RESUMO

A necessidade de treinamento para os operadores nas habilidades exigidas para se operar um sistema elétrico é a motivação para o uso de um Simulador de Treinamento. Este pode ser utilizado para treinamento dos operadores nas três condições de operação: Normal, em Emergência e Restaurativa. Durante condições normais será exercitada a operação de modo a garantir a melhor economia e manutenção da segurança. Durante uma condição de emergência, poderá ser simulada a sobrecarga em algum equipamento do sistema, tensão fora dos limites, frequência ou ECA fora dos patamares desejados, o operador exercitará as medidas necessárias no sentido de retornar o sistema às condições normais de operação. Durante uma condição restaurativa alguma carga não está sendo alimentada e o operador estará exercitando atuação no sentido de re-conectar todas as cargas e novamente retornar o sistema ao modo normal de operação.

Neste trabalho são apresentados os simuladores de treinamento de operadores do Centro Nacional de Operações do Sistema - CNOS e do Centro Regional de Operação Sul - COSR-S. Com relação ao CNOS são descritas as etapas envolvidas na customização e integração do OTS, simulador de treinamento desenvolvido pelo *Electric Power Research Institute* - EPRI, ao sistema de supervisão e controle do CNOS, sistema SAGE desenvolvido pelo CEPEL. São apresentadas as características do simulador, tipo de modelagem adotada para a rede e seus elementos, estágio atual do projeto e próximos passos. Também são abordados os desenvolvimentos de cenários, o detalhamento de modelagens e a identificação do tamanho da rede elétrica a ser representado e impactos em aplicativos de Análise de Redes. Durante a apresentação será realizada uma demonstração do simulador, utilizando para isto, um *snapshot* do Tempo Real do CNOS com toda a rede elétrica supervisionada (a rede atualmente gerada pelo Estimador de Estado gira em torno de 1300 barras). Para demonstrar toda a potencialidade da ferramenta, serão realizadas ações de abertura/fechamento de chaves/disjuntores, redespacho de geração e carga que ocasionem uma mudança drástica de ponto operativo, gerando com isto, a necessidade de atuação de operadores na rede para corrigir os problemas gerados. Com relação ao COSR-S, uma vez que o Sistema de Treinamento de Despachantes, denominado DTS, já está integrado ao SSC são apresentadas às características do mesmo, os procedimentos envolvidos para a operacionalização da funcionalidade e os resultados obtidos com os treinamentos já ministrados às equipes de tempo-real.

PALAVRAS-CHAVE

Simulador, Tempo-Real, Ferramentas, Treinamento, Controle.

1.0 - INTRODUÇÃO

O Operador Nacional do Sistema - ONS foi criado em 1998, com a finalidade de operar o Sistema Interligado Nacional (SIN) e administrar a rede básica de transmissão de energia em nosso país. A sua missão institucional é assegurar aos usuários do SIN a continuidade, a qualidade e a economicidade do suprimento de energia elétrica. Para isto, o ONS dispõe de quatro centros de supervisão e controle próprios que são compostos pelo Centro Nacional de Operação do Sistema Elétrico – CNOS, em Brasília, e pelos Centros de Operação Regional Sudeste, Sul, Norte e Nordeste, situados respectivamente no Rio de Janeiro, Florianópolis, Brasília e Recife.

Nas últimas décadas a complexidade dos sistemas elétricos vem crescendo a uma velocidade muito grande, as exigências na segurança da operação estão aumentando, e como conseqüência, o trabalho para operar a rede elétrica está cada vez mais desafiador. Para atender a este aumento na complexidade na operação dos sistemas, estão sendo disponibilizados aos operadores sistemas SCADA e EMS, ferramentas sofisticadas para ajudá-los na tomada de decisões. O resultado disto é que o trabalho dos operadores em centros de controle se tornou mais complicado e as habilidades necessárias para se operar um sistema elétrico aumentaram.

A necessidade de treinamento para os operadores nas habilidades exigidas para se operar um sistema elétrico é a motivação para o uso de um Simulador de Treinamento. Este pode ser utilizado para treinamento dos operadores nas três condições de operação: Normal, em Emergência e Restaurativa. Durante condições normais será exercitada a operação de modo a garantir a melhor economia e manutenção da segurança. Durante uma condição de emergência, poderá ser simulada a sobrecarga em algum equipamento do sistema, tensão fora dos limites, frequência ou ECA fora dos patamares desejados, o operador exercitará as medidas necessárias no sentido de retornar o sistema às condições normais de operação. Durante uma condição restaurativa alguma carga não está sendo alimentada e o operador estará exercitando atuação no sentido de re-conectar todas as cargas e novamente retornar o sistema ao modo normal de operação.

2.0 - SISTEMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE (SSC) DO CNOS

No CNOS é utilizado o Sistema SAGE - Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia, na modalidade EMS (Energy Management System), desenvolvido e mantido pelo CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, numa arquitetura de rede distribuída, heterogênea, redundante e complexa, utilizando plataforma Risc (Digital Unix) e PC (Linux RedHat) e executando as funções: SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition System), Monitoração da Reserva, Variação automática de Limites Operativos por Patamar de Carga e Faixa Horária, funções de Análise de Redes – AR e Simulador. A análise das informações das funções AR possibilita o conhecimento da condição de operação atual do sistema e a decisão de efetuar medidas de controle adequadas. As funções que compõem o sistema de AR são: Configurador da Rede, Estimador de Estado, Análise de Contingências, Fluxo de Potência, Equivalente de Redes, Fluxo de Potência Continuado e Fluxo de Potência Ótimo. A rede elétrica atualmente modelada tem dimensão aproximada de 2000 nós elétricos, sendo 1300 destes estimados.

3.0 - SISTEMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE (SSC) DO COSR-S

No COSR-S é utilizado o Sistema EMP, na modalidade EMS, desenvolvido e mantido pela AREVA, numa arquitetura cliente-servidor, redundante e complexa, utilizando plataforma PC e executando as funções: SCADA, CAG, Variação automática de Limites Operativos por Patamar de Carga e Faixa Horária, AR e Simulador. As funções que compõem o sistema de AR são: Configurador da Rede, Estimador de Estado, Análise de Contingências, Fluxo de Potência, Fluxo de Potência Continuado, Controle Automático de Tensão e Fluxo de Potência Ótimo. A atual dimensão do Sistema Simulado no COSR-S encontra-se em 490 barras, englobando toda a rede básica da região Sul do Brasil e parte da região Sudeste.

4.0 - IMPLANTAÇÃO DE UM SIMULADOR DE TREINAMENTO NO CNOS

Em adição à importância identificada de se disponibilizar um ambiente de treinamento no CNOS, ao ONS interessava identificar tecnologias que permitissem agilizar a integração de aplicações de terceiros aos seus sistemas EMS, presentes no CNOS e nos centros regionais. Nessa linha o EPRI havia iniciado em meados da década de 90 o projeto CCAPI ("Control Center API"), o qual gerou a especificação de um modelo padrão de bases de dados EMS, denominado CIM ("Common Information Model") e de uma API padrão para acesso a esses dados [3]. Dando continuidade a IEC (International Electrotechnical Commission), padronizou essas definições a nível internacional (IEC, TC 57: IEC 61970).

Nesse sentido a escolha do simulador EPRI-OTS foi natural por ser este o único simulador para treinamento aderente ao modelo CIM.

O CEPEL foi contratado para realizar a transferência de tecnologia nessas duas áreas e disponibilizar um ambiente de treinamento ligado ao SAGE do CNOS.

Os trabalhos demandaram um esforço dividido em duas Fases: Integração e Consolidação.

Na Fase de Integração os trabalhos se voltaram para a metodologia de desenvolvimento, transferência de tecnologia CIM e OTS, design e desenvolvimento de uma arquitetura e de software de integração. A Fase de Consolidação, com base na solução já desenvolvida, buscou estruturar um ambiente de treinamento e a transferência de tecnologia focou na construção de cenários e uso final do ambiente, bem como de aspectos de fidelidade de simulação.

4.1 Metodologia de Desenvolvimento

No desenvolvimento da solução considerou-se como requisito importante à identificação de métodos ligados às Tecnologias de Informação como suporte às atividades de gerenciamento e desenvolvimento de software. Dentre esses, foi empregado o "Desenvolvimento Iterativo" por suas características especialmente adequadas ao projeto. No Desenvolvimento Iterativo, cada iteração corresponde a um ciclo completo de desenvolvimento do qual resulta uma versão do produto final. Cada versão corresponde a um subconjunto das funcionalidades previstas, que deve crescer incrementalmente para se tornar, após um certo número de iterações, no produto completo. [1].

Cada "Release" promoveu um incremento relativo de:

- Transferência de Tecnologia – de maneira a controlar o risco envolvido com as novas tecnologias e tecnologias não completamente maduras.
- Dimensão da rede modelada – partindo-se de um sistema de pequeno porte de demonstração, para um de médio porte e chegando-se eventualmente à rede completa do sistema elétrico supervisionado pelo CNOS.
- Complexidade do modelo de dados – estendendo cada vez mais o modelo EMS preexistente do sistema SAGE.
- Projeto e Implementação dos aplicativos de interface entre o SAGE e o OTS – com melhoria de funcionalidade e desempenho.

Esta estratégia se mostrou bastante adequada ao projeto, e sua adoção resultou em quatro principais "Releases": O Release 1 focou na transferência de tecnologia do modelo CIM permitindo que o SAGE se comunicasse com uma base de demonstração (29 subestações do OTS); O Release 2 – incorporou a exportação de dados de cadastro do SAGE de uma rede de demonstração do CEPEL, ainda sem alterações de modelos de equipamentos do SAGE. O Release 3 permitiu a carga de uma parte da rede supervisionada do ONS e incorporou alterações de modelos de equipamentos. O Release 4 empregou a rede completa supervisionada no CNOS, além de melhorias na modelagem, facilidades de manutenção e uso de telas e dados, e ainda modelos especiais, como relés, esquemas especiais de proteção, e SVC's.

4.2 Arquitetura da Integração

Para a concepção da arquitetura de solução, os seguintes requisitos serviram como base:

- Criar um ambiente de treinamento similar ao ambiente de operação, do ponto de vista de usuário final;
- Manter uma configuração única de base de dados e telas para operação e para simulação;
- Permitir uma fácil transferência de fotografias de tempo real para o simulador;
- Prover flexibilidade para a realização de treinamento à distância (ambiente do instrutor separado geograficamente do ambiente dos treinandos).

A Figura 01 apresenta a arquitetura geral do sistema, cujos principais componentes são:

- Base SAGE – base de dados distribuída do sistema em tempo-real.
- EPRI-API – biblioteca de rotinas com interface padronizada para acesso a uma base de dados com modelo CIM.

- Simulador OTS – Simulador para Treinamento de Operadores.
- Filtros – Aplicativos de integração entre o SAGE e a EPRI-API.

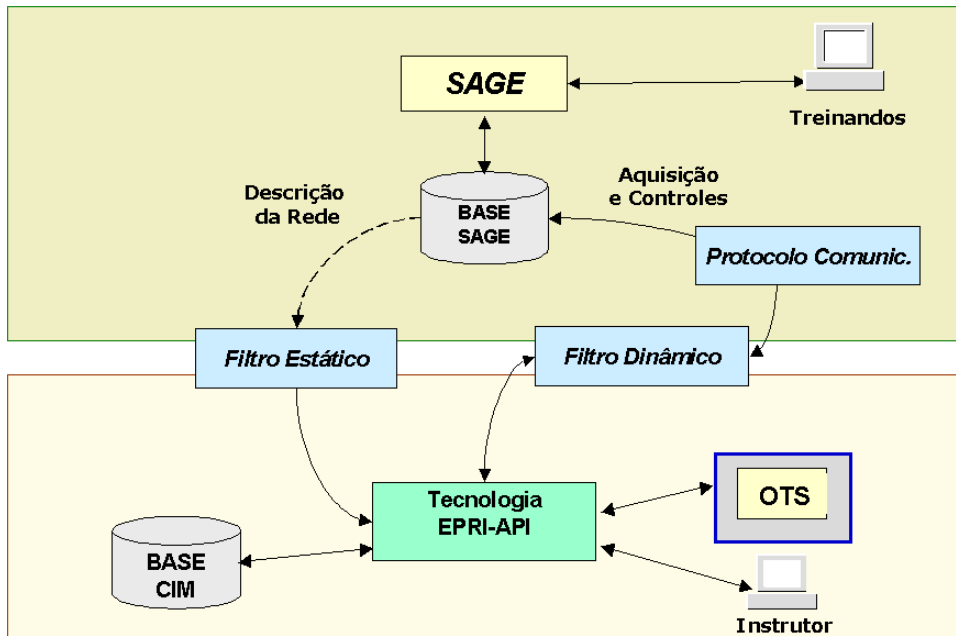


FIGURA 01

Dois aplicativos principais foram desenvolvidos para a integração: o Filtro Estático e o Filtro Dinâmico.

O Filtro Estático realiza a transferência dos dados cadastrais da base do sistema SAGE-EMS para a base de dados CIM do Simulador. Ele permite compatibilizar a base de dados do CNOS com a base de dados utilizada para treinamento ou simulação, sempre que for desejado, de maneira automática. Desse modo qualquer manutenção de dados é feita somente sobre a base de produção (no caso do ONS, sobre a Base Técnica, da qual é derivada a base do CNOS). O Filtro Estático somente é executado quando se deseja compatibilizar essas bases ou ainda na fase de preparação de casos bases para cenários de simulação ou treinamento.

O Filtro Dinâmico é responsável pela comunicação entre o SAGE utilizado em treinamento e o simulador, sendo portanto executado sempre que há uma sessão de simulação ou treinamento. Do ponto de vista do SAGE é apenas mais um protocolo de comunicação, realizando a aquisição periódica de valores do Scada e o envio de controles supervisórios para o simulador. Foi utilizado o protocolo ADS (interno do SAGE), podendo-se prever o uso futuro do protocolo ICCP. Este módulo faz uso da tecnologia CIM e correspondente API para acesso à base CIM de simulação, para obtenção de valores e envio de comandos para o simulador.

4.3 Modelagem

Além da transferência de tecnologia, design e desenvolvimento de arquitetura e de software de integração, a fase de integração teve um foco bastante forte em modelagem.

As atividades foram divididas em:

- Definição do Nível de Detalhamento dos Modelos do OTS. Correspondeu a um estudo dos diferentes modelos de elementos do sistema de potência, empregados pelo OTS. Para cada modelo foi observado o nível de detalhamento a ser empregado em função tanto de sua influência no resultado final das simulações quanto da disponibilidade real de informações sobre os parâmetros demandados por estes modelos.

- Extensão dos Modelos de Dados para OTS. A partir do mapeamento entre os modelos de equipamentos entre SAGE e OTS, foram definidos e implementados alterações e acréscimos nos modelos de dados existentes das bases do SAGE para atender às necessidades de modelagem do OTS.

Em adição aos aspectos de modelagem foram incorporadas facilidades às Funções de Análise de Redes do SAGE para melhorar a integração com o simulador, tais como a geração pelo Estimador de Estados de arquivos com fotografias do tempo-real, em formato próprio do OTS.

4.4 Fase de Consolidação

Concluída a integração do simulador com o sistema SAGE, os trabalhos focaram em tornar plenamente operacional e utilizável o sistema, podendo-se destacar como principais atividades:

- Definição da rede elétrica final a ser representada no OTS, de forma a que os resultados das simulações reflitam, com a fidelidade requerida para os tipos de treinamento a serem empregados, o comportamento real do sistema.
- Alterações no software de Análise de Redes do SAGE, para permitir o tratamento de partes não supervisionadas da rede.
- Estruturação de um ambiente de treinamento de operadores para atendimento às necessidades da empresa. Incluiu o projeto e instalação de uma sala de treinamento e disponibilização dos recursos necessários.
- Treinamento de uma equipe de instrutores da empresa em estratégias de treinamento com o uso do simulador. Incluiu a transferência de tecnologia na identificação e construção de cenários de treinamento, uso e domínio das funcionalidades para se criar e administrar cenários de treinamento e sua aplicação prática.

5.0 - OPERACIONALIZAÇÃO DO SIMULADOR DE TREINAMENTO NO COSR-S

5.1 Estrutura do Sistema de Simulação

O sistema DTS é basicamente composto do mesmo conjunto de aplicações constituintes de um sistema EMS tradicional (figura 02), com a diferença basicamente definida no sistema gerador de informações, o qual se constitui em um fluxo de potência continuado associado a uma simulação dinâmica simplificada (definição da frequência do sistema frente as variações de carga e geração).

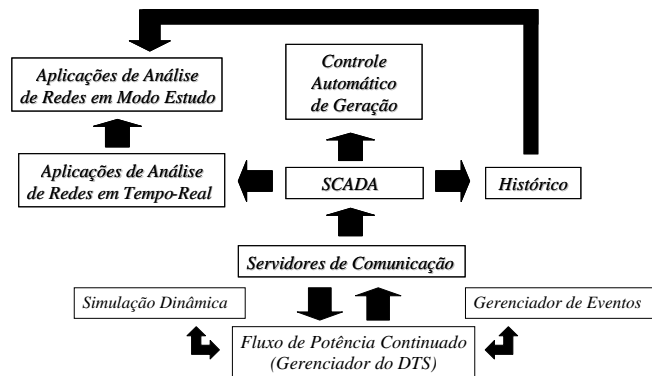


FIGURA 02

Dentro do sistema DTS existe um sistema gerenciador denominado de DTSPSM, o qual é responsável pelo gerenciamento das três principais macro-funções, ou seja, a simulação dinâmica, o fluxo de potência continuado e os eventos e proteções do sistema.

5.2 Principais Funções Presentes no DTS

Uma das principais característica do sistema DTS é sua flexibilidade para a definição de diversos tipos de eventos que possam ser representados para a execução dos cenários de treinamento. Um mesmo conjunto de eventos pode ainda ser classificado utilizando-se três diferentes tipos de cenários: determinístico (data e hora definida para início do evento), condicional (associados a uma condição previamente definida) e probabilístico (associado a uma

probabilidade estatística de ocorrência). Neste caso também existe a opção de associar diversos tipos de eventos de forma a modelar esquemas complexos do sistema elétrico (exemplo: ECE ou ECS).

Além dos eventos, outro item importante a ser cadastrado no sistema DTS são as proteções básicas presentes no sistema. As proteções disponibilizadas no sistema DTS são caracterizadas por proteção de sobrecorrente (com característica direcional temporizada de tempo-inverso), proteção de sub e sobrefrequência, proteção de sub e sobretensão e proteção geral de subfrequência (similar ao ERAC).

5.3 Definição de Cenário e Estrutura de Treinamento

De forma a incluir maior realismo ao treinamento é efetuada a transferência do resultado do estimador de estado em tempo-real para o fluxo de potência continuado do DTS. Também são transferidos todos os dados programados em tempo-real (programação do CAG e de carga do sistema em tempo-real). Com esta transferência realizada, a simulação do DTS será idêntica ao verificado ponto operativo real do sistema.

Outra vantagem do uso desta técnica é relacionada à possibilidade do uso dos documentos utilizados pela Sala de Controle, tais como o Programa Diário de Produção (PDP) e de Intervenções (PDI), sendo estes documentos conservados de forma a serem utilizados durante as sessões de treinamento. Associados a estes são ainda disponibilizados os principais registros da operação (RDO).

Em termos de estrutura de equipes para o treinamento, o COSR-S envolve um turno completo de operadores na definição do cenário e avaliação das atuações de possíveis esquemas ou proteções. Cabe a esta equipe testar o cenário desenhado e avaliar o conjunto da resposta do sistema DTS. Conjuntamente com a equipe de operadores, conta-se ainda com a participação de engenheiros do tempo-real e pós-operação durante o treinamento.

Na figura 03 pode-se observar a estrutura física atualmente disponibilizada para a execução do treinamento.

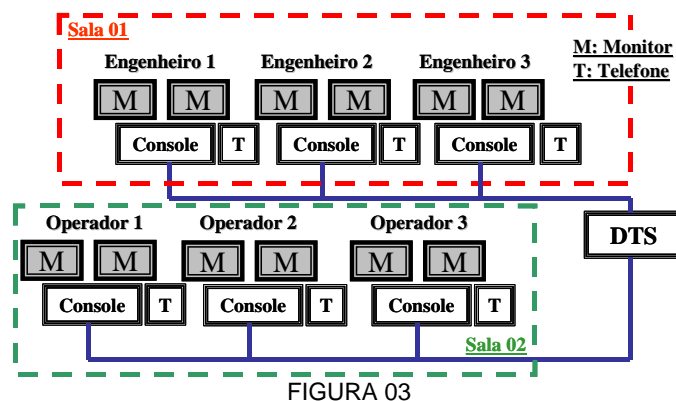


FIGURA 03

5.4 Sistema de Avaliação de Treinamento

Para a avaliação dos treinamentos são realizados os seguintes procedimentos:

- Todas as ações executadas durante o treinamento são registradas;
- Todos os problemas encontrados pelas equipes (em termos do DTS, execução de ações ou respostas do sistema) são registrados;
- Todas as informações são compiladas em um relatório e repassadas às equipes para análise;
- Realiza-se reunião geral, com todos os participantes do treinamento, para a discussão dos assuntos abordados no relatório e constatações finais do treinamento (conclusões e comentários);

Com esta estrutura de avaliação é possível convergir os entendimentos dos operadores e engenheiros para as melhores ações a serem adotadas no caso de uma ocorrência similar em tempo-real, bem como são avaliadas novas possibilidades de ações operativas ou mudanças em Instruções de Operação.

5.5 Exemplo de Treinamento Realizado

Como exemplo de um dos treinamentos realizados, toma-se à quarta etapa de treinamentos do ano de 2004, onde foi utilizada uma cópia (snapshot) da operação em tempo-real, referente ao dia 04/10/04, às 14h02min22seg, sendo todas as características deste momento transferidas para o sistema DTS.

Cenário: Desarme geral da SE Campos Novos, devido à atuação a falha do disjuntor 525kV DJ1052.

Seqüência dos Acontecimentos:

TABELA 01

Tempo	COS	Descrição
14:02:22	Sistema	Início do Cenário
14:05:00	COT-Esul	Devolução da Barra B 525 kV da SE CNO (Intervenção Programada 08:00 às 14:00)
14:10:00	Sistema	Desarme Geral da SE CNO
14:11:00	COT-Esul	Informa que houve falha no DJ1052 → Proteções: 50BF, 62BF e 86BFA. Na linha 525 kV ARE-CNO ocorreu à atuação da proteção 50GH/L e 21G fase A nos extremos (tempo bom c/ ventos fortes) Nas SE Blumenau, Machadinho e Caxias abertura do circuito CNO por recepção transferência de disparo e transformadores da SE CNO 1, 2, 3, 4, 5 (esquema especial).
14:20:00	COT-Esul	Polícia Rodoviária Federal informa que próximo da localidade de Horizonte, junto à rodovia foi observado um cabo rompido.

Na tabela 02 pode-se observar o tempo médio das principais ações adotadas por cada turno participantes do treinamento. Destaca-se nestes resultados os seguintes pontos:

- As principais ações adotadas foram idênticas entre os turnos;
- Os horários das tomadas de ações estão muito próximos, ficando distantes não mais de 5 minutos entre diferentes turnos;
- O tempo de recomposição total da subestação de Campos Novos somente foi diferente em apenas um dos turnos, o que mostra excelente uniformidade das ações adotadas.

TABELA 02

Ação	Amarelo	Azul	Verde	Vermelho
Elevar geração de UQQX	14:15	14:13	14:12	14:16
Elevar tensão no 525kV	14:15	14:11	14:14	14:15
Transformadores de Xanxerê fora de sobrecarga	14:19	14:21	14:19	14:22
Barra B 525kV de CNO energizada	14:26	14:21	14:21	14:20
Transformador 525/230kV de CNO ligado	14:36	14:32	14:32	14:28
SE CNO totalmente restabelecida	14:39	14:39	14:39	14:35

Após reunião realizada foram concluídos dois pontos importantes:

- O tempo de recomposição foi considerado muito bom, visto as dificuldades envolvidas nas tensões pré-energização das linhas envolvidas no cenário de eventos utilizado;
- Foi evidenciada uma nova alternativa de recomposição da subestação de Campo Novos, a qual foi emitida às áreas de normatização e planejamento da operação, de forma a analisar sua possibilidade de normatização.

6.0 - CONCLUSÃO

Os simuladores são ferramentas valiosas que permitem o treinamento dos operadores de centro de controle nas habilidades exigidas para se operar um sistema elétrico. São valiosos também como ferramentas para a avaliação de novos produtos de apoio à tomada de decisão em sala de controle, a partir de situações normais de operação ("snapshots" do Tempo Real) ou condições extremas impossíveis de serem vivenciadas diretamente no SSC.

Com a implantação e utilização do sistema DTS no COSR-S já é possível analisar as diversas ações de suas equipes de operação frente a perturbações do sistema, treinando-as nos processos de recomposição, e analisando conjuntamente as ações ótimas a serem executadas em ocorrências reais. Este processo continuado de treinamento permite uma evolução acelerada do nível de conhecimento e maturidade das equipes de operação do COSR-S.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Lima L., Oliveira A., Pereira, L, Azevedo G., Ghelman, Cardoso A., Azevedo P., - "Information Sharing in Power System Control Centers" - The First EPRI Latin American Conference and Exhibition, November 28-30, 2001, Rio de Janeiro, Brazil
- (2) Quadros M, Lima I., Botelho M., - "Treinamento de Operadores com Uso do Sistema de Treinamento de Despacho DTS" – VIII EDAO, Março 6-10, 2005, Pernambuco, Brasil
- (3) D.Becker, - "The Benefits of Integrating Information Systems Across the Energy Enterprise" – EPRI Technical Report, February 2000.