

IMPLEMENTAÇÃO DE UM MÓDULO DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA ACOPLADO A UM SOFTWARE SCADA

Clovis Simões e José Aurélio Porto
simoes@spinengenharia.com.br
Spin Engenharia de Automação Ltda.

Ariovaldo V. Garcia
ari@dsee.fee.unicamp.br
UNICAMP – Departamento de Sistemas de Energia Elétrica

Resumo

Este trabalho apresenta a integração entre um módulo de gerenciamento de energia (EMS) e o software SCADA ActionView, em uma arquitetura cliente x servidor, onde o SCADA serve dados de tempo real e o EMS dados estimados. O desenvolvimento, feito pela Spin Engenharia com participação da Unicamp, executa em dois ambiente, tempo real e estudos, sendo composto de cinco módulos principais: Configurador, Observador, Estimador de Estados, Fluxo de Potência e Análise de Contingências.

Palavras chaves: SCADA (Supervisory Control and Data Aquisition), Arquitetura Cliente x Servidor, EMS (Energy Management System), Estimador de Estados, Integridade Referencial, Fluxo de Potência, Análise de Contingências.

1. INTRODUÇÃO

A Spin, com o apoio da Unicamp, desenvolveu um módulo de gerenciamento de energia totalmente integrado ao software SCADA ActionView, sendo o primeiro software EMS / SCADA, padrão de mercado, com módulos de tempo real e estudos, desenvolvido no Brasil para um sistema de subtransmissão. O software, em sua primeira versão, encontra-se implantado em uma concessionária de distribuição, em Brasília.

Os aplicativos utilizados basearam-se em métodos e algoritmos desenvolvidos por A. Monticelli e A. Garcia, da Unicamp, que participaram como consultores no projeto.

Este trabalho está organizado da seguinte forma. Na seqüência apresenta-se a arquitetura do Centro de Operação de uma Concessionária onde se encontra implantado o módulo de EMS. No item três são apresentadas as tabelas do EMS integradas às tabelas do software SCADA. A integração em tempo real entre o módulo de EMS e o software SCADA é mostrada no item quatro e no item cinco são apresentadas as funções de estudos do EMS, com as rotinas de fluxo de potência e análise de contingências. O módulo de auditoria, um subproduto do desenvolvimento do EMS é apresentado no item seis e, finalmente, no item sete apresentam-se as conclusões.

2. ARQUITETURA DO SISTEMA DA CONCESSIONÁRIA

O COS da concessionária onde foi implantado a primeira versão do EMS / SCADA, mostrado na Fig. 1, contém os seguintes componentes:

- 2 Servidores de Banco de Dados de Tempo Real (BDTR) em configuração “hot-standby”;
- 1 Servidor de Comunicação (SCOM) interligado a 31 SE's, comunicando-se, ao todo, com 685 IED's (Intelligent Electronic Devices);
- 2 Cubos digitais de retroprojeção de imagens de vídeo com dimensão de 1000 x 750 mm
- 4 Estações clientes de IHM, com até quatro monitores de vídeo em cada estação, para a operação do sistema elétrico;
- Várias estações clientes de IHM, localizadas nas gerências da CEB, para simples visualização;
- 2 Estações clientes de IHM conectadas opcionalmente através de rede discada;

- 1 Módulo de EMS com os seguintes aplicativos: Configurador, Observador, Estimador, Fluxo de Potência e Módulo de Análise de Contingências;
- 1 Módulo DMS de terceiros, em plataforma UNIX, conectado em tempo real ao software SCADA, como um cliente normal, responsável pela supervisão e comando das chaves de poste e disjuntores de 13,8 KV;
- 1 Servidor de históricos baseado em Oracle 8i, que disponibiliza os dados através de consultas SQL feitas via rede corporativa;
- 1 Módulo de Desenvolvimento e Manutenção;
- 1 Módulo de Auditoria e Treinamento;
- 1 Módulo de Gestão da Qualidade da Rede Elétrica.

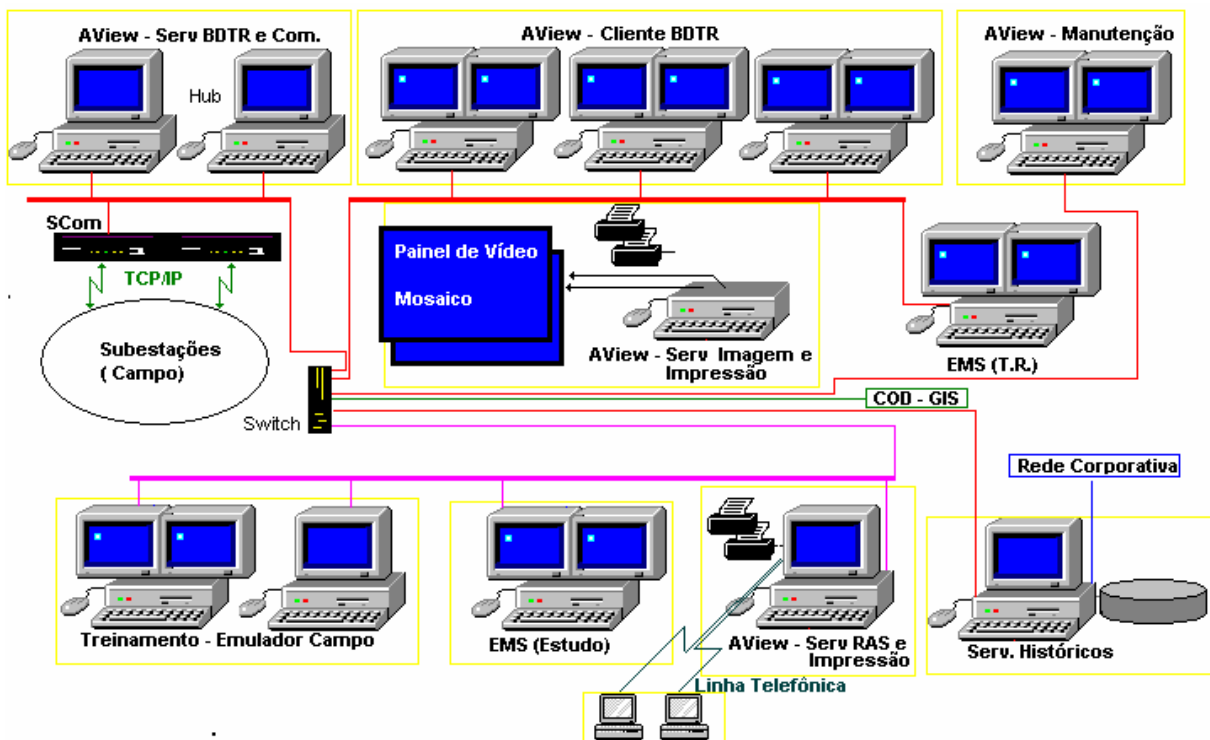


Figura 1 – Arquitetura do COS da Concessionária

3. TABELAS DE INTEGRAÇÃO DO EMS AO SOFTWARE SCADA

Para suportar os aplicativos de EMS foram incluídas no banco de dados de parâmetros, tabelas que contém os parâmetros elétricos dos diversos componentes da rede, mantidos com integridade referencial, junto às tabelas do software SCADA. Assim, equipamentos cujo estado muda a topologia da rede elétrica (ou seja, chaves e disjuntores) são definidos como entradas / saídas digitais no software SCADA e tem esse mesmo identificador colocado nas tabelas de EMS identificando trechos de rede entre dois equipamentos. As tabelas criadas para o EMS são: EmsCircuitos, EmsLinhas, EmsTrafos, EmsShunts, EmsBarramentos, EmsMedidas e EmsChaves. Elas foram especificadas pela Unicamp, contemplando os parâmetros elétricos necessários e suficientes para a utilização pelo módulo EMS.

A Spin, conforme mostra a Fig. 2, implementou essas tabelas na sua base de dados de parâmetros com integridade referencial e disponibilizou duas bibliotecas (AVEMS.DLL e AVRUN32.DLL) que, através de API's, implementam toda a troca de informações entre o Servidor EMS e o Servidor de BDTR.

Essa biblioteca tem o seguinte conteúdo:

- Rotinas da biblioteca AVEMS.DLL
 - C/C++: BOOL_stdcall AVEMSInitialize();
 - C/C++: BOOL_stdcall AVEMSFinalize();
 - C/C++: BOOL_stdcall AVEMSPegaDadosSEs(short shoSENum, strucSEDados* pSED);
 - C/C++: BOOL_stdcall AVEMSPegaCircuitos(short shoCircuitoNum, strucCircuitos* pCIRC);
 - C/C++: BOOL_stdcall AVEMSPegaParametros(short shoCircuitoNum, strucParametros* pPAR);
 - C/C++: BOOL_stdcall AVEMSPegaMedidas(short shoMedOrdem, strucMedidas* pMED);
 - C/C++: BOOL_stdcall AVEMSPegaChaves(short shoChaveNum, strucChaves* pCHV);
- Rotinas da biblioteca AVRUNT32.DLL
 - C/C++: short_stdcall GetEmsSample(strucNDM* ptrNDM, strucEmsValues* ptrHV);
 - C/C++: short_stdcall SetEmsEstimValues(strucEmsValues* ptrHV);

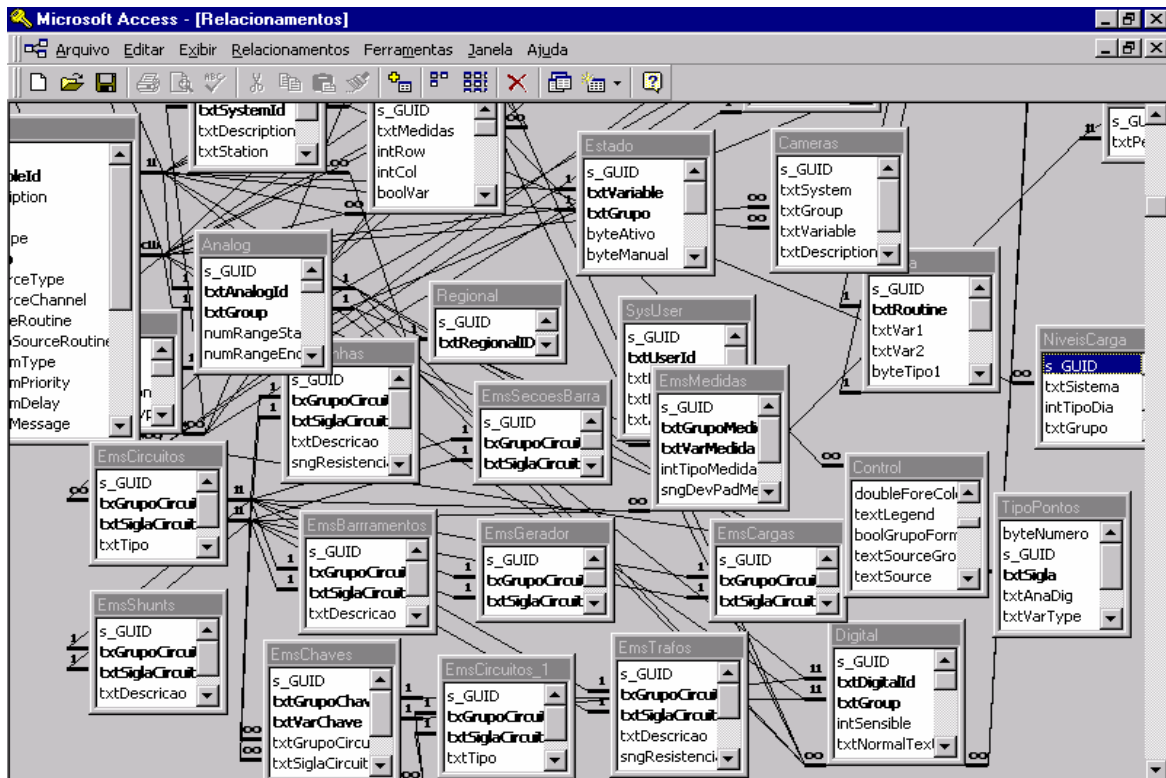


Figura 2 – Integridade Referencial entre tabelas do EMS e do SCADA

Os dados das tabelas de EMS são fornecidos pela concessionária de energia e sua depuração é feita através da execução do software SCADA integrado ao módulo de EMS. O programa de estimação de estados auxilia na identificação de incoerências da base de dados através do processamento de erros grosseiros de medidas (uma das atribuições do estimador de estado). Cada medida com erro grosseiro é marcada com um qualificador quando devolvida ao SCADA. Filtros são disponibilizados na tela de sumário de variáveis onde se pode fazer uma consulta do tipo “LISTE TODAS AS VARIÁVEIS ANALÓGICAS DO SISTEMA COM ATRIBUTO ERRO GROSSEIRO VERDADEIRO”. Ainda, nos diagramas das subestações, essas medidas aparecem em cor diferente das demais (aparecem com fundo amarelo).

4. INTEGRAÇÃO EM TEMPO REAL ENTRE SOFTWARE SCADA E EMS

4.1 Apresentação Geral

A integração entre o “Runtime” do software SCADA e o módulo de EMS tem as seguintes funcionalidades principais:

- (1) Junto com o “Runtime” do software SCADA é ativado o chamado “Módulo EMS de Tempo-Real” que compreende a seqüência CONFIGURADOR, OBSERVADOR e ESTIMADOR.
- (2) O software SCADA, em tempo real, faz a leitura do estado de chaves e disjuntores (dados digitais) e também de medidas analógicas da rede (tais como tensão, corrente, potência ativa/reactiva).
- (3) Se houve alteração de estado de chaves ou disjuntores, ou a cada vinte segundos, ou sob demanda do operador, é chamado o programa CONFIGURADOR que monta a topologia atual da rede, determinando em quantos nós elétricos a rede está formada e como eles estão interligados, e ainda aloca as medidas analógicas nas linhas/transformadores e barramentos.
- (4) Em seguida é acionado o OBSERVADOR que faz a análise de observabilidade determinando se o sistema é observável ou não e, se for o caso, em quantas ilhas observáveis o sistema está dividido. Uma ilha observável (IO) é definida como “um conjunto de nós elétricos para os quais o fluxo de corrente (ou MW) entre eles pode ser calculado”. O estado é estimado para essas IO's. O método utilizado para análise de observabilidade é conhecido como observabilidade numérica e utiliza as mesmas rotinas de fatoração matricial utilizadas pelo estimador de estado, garantindo assim a compatibilidade de resultados entre essas duas funções.
- (5) O Estimador de Estados recebe as medidas lidas em tempo real e obtém o estado mais provável das IO's. Nesse processo são utilizadas informações topológicas e também de qualidade de medidas que se traduzem em ponderações das medidas analógicas. No caso de existir redundância suficiente, erros de medidas podem ser detectados e medidas identificadas como portadoras de erros grosseiros. Essas medidas são eliminadas do conjunto inicial e o estado novamente estimado. No final do processo, são calculados os valores estimados para todas as medidas. Esses valores são mais confiáveis que os próprios valores medidos, quando todo o processo de depuração da base de dados é concluído.
Além desses valores, podem ser calculadas quaisquer outras grandezas de interesse, como perdas ativas e reativas em linhas e transformadores, por exemplo. São disponibilizados, também, eventos de interrupção ou restabelecimento de cargas devido a manobras a montante.
- (6) Os usuários, através de estações de trabalho do SCADA, nomeadas de servidoras de Interface Homem-Máquina (IHM), a qualquer instante, podem visualizar as medidas lidas ou estimadas, com apresentação de alarmes em função da qualidade da medida;

O Modulo de Tempo-Real, em resumo, funciona como um servidor de dados estimados do software SCADA.

4.2 Formas de Visualização dos Dados do EMS no software SCADA

Para que o software SCADA apresente informações do EMS, em tempo real, foram criadas novas funcionalidades que são disponibilizadas quando o software é ativado com a opção de EMS selecionada. Essas novas funcionalidades permitem:

- Que em qualquer tela de processo ou medida onde existe uma variável analógica, seja adicionado um botão de seleção que permita ao usuário visualizar ou medidas reais ou estimadas, existentes naquela tela;
- Que cada variável analógica receba dois atributos a mais, um que indica se o valor visualizado é real ou estimado e outro que informa a qualidade da medida real;
- Que aos objetos de visualização possam ser associadas rotinas que mostram os parâmetros elétricos do componente, conforme existente nas tabelas do EMS; e
- Que telas de tendência permitam apresentar tendências de variáveis reais ou estimadas;

Para distinguir medidas reais de estimadas, essas últimas são apresentadas em itálico. No caso de erro grosseiro da medida real, indicado pelo atributo de qualidade da medida, a mesma é apresentada com um fundo diferente do fundo da tela para indicar erro e também é disponibilizado um filtro, na tela de sumário de variáveis, que permite visualizar apenas variáveis com erros grosseiros.

A Fig. 3 mostra uma tela de processo com medidas analógicas onde, através do botão disponibilizado no lado direito da tela, selecionou-se a apresentação de medidas estimadas (ME), mostradas em itálico. Um clique nesse botão seleciona a apresentação dessa mesma tela com medidas reais (MR).

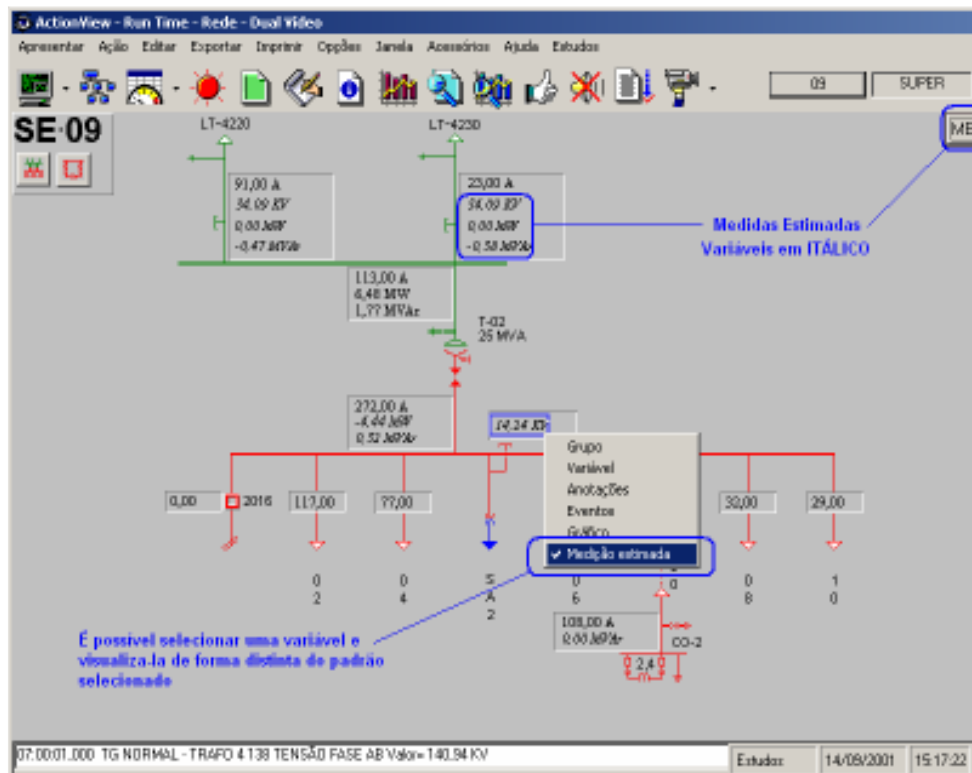


Figura 3 – Tela com Medidas Estimadas

A Fig. 4 mostra uma tela de processo com todos os componentes do EMS representados através de objetos de visualização, sendo também apresentada uma janela com os atributos de um componente barra de 138 kV. Esses componentes são:

- **Barramentos** representados através de objetos de visualização do tipo linha, colocados na vertical, com cores indicativas de nível de tensão;
- **Linhas** de transmissão ou de conexão entre barramentos, representados por objetos de visualização do tipo linha, com as seguintes simbologias de cores:
 - Cinza: indica linha não energizada;
 - Verde claro: indica linha energizada com carregamento dentro dos limites operacionais;
 - Magenta: Linha com seu limite operacional de potência excedido, piscando até ser pressionado reconhecimento.
- **Transformadores** representados por objetos de visualização do tipo digital com figuras representativas do objeto, apresentando as cores azul para o estado normal, cinza para o estado desenergizado e vermelho para o estado fora dos limites operacionais;

- Banco de Capacitores representados por objetos de visualização do tipo digital com figuras representativas do objeto, apresentando a mesma simbologia de cores dos transformadores;
- Geradores representados por objetos de visualização do tipo digital com figuras representativas do objeto, apresentando a mesma simbologia de cores dos transformadores;

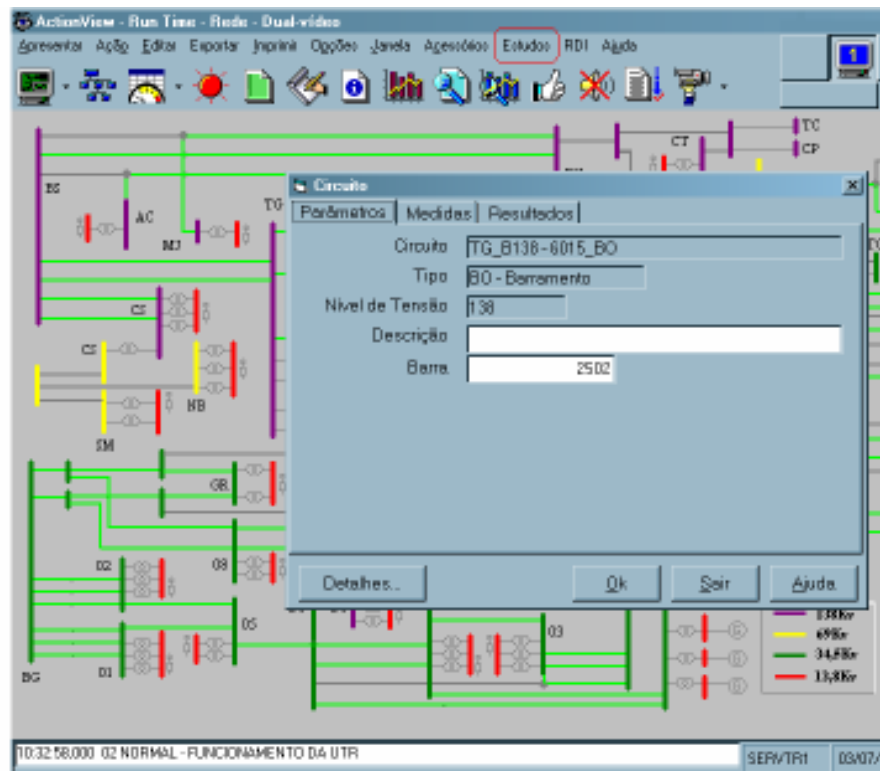


Figura 4 – Tela de processo com janela mostrando atributos de um componente

4.3 Janelas de Componentes

No ActionView, de forma geral, existe o conceito de rotinas associadas a objetos de visualização. Em tempo real, um duplo clique sobre o objeto ativa a rotina associada a ele. É dessa forma que são executados os comandos de equipamentos como disjuntores, seccionadores, etc. Seguindo essa mesma regra, foram criadas novas rotinas que quando ativadas apresentam três janelas de informação do componente associado:

- Parâmetros estáticos do Componente permitindo, inclusive, sua alteração em tempo real;
- Medidas atuais, reais e estimadas, de variáveis do componente;
- Ficha de resultados obtidos no cálculo do fluxo de potência do caso base e do caso em estudo. Essa janela é usada também para criar as contingências, contendo as seguintes informações:
 - botão de opção com resultado do fluxo de potência antes e após a contingência;
 - Opção de simulação que corresponde a retirar componente ou, no caso de barra, alterar MW ou MVAR da barra.
 - Botão para executar simulação de contingência já definida, conforme mostra janela apresentada na Figura 7.

5. MÓDULO DE ESTUDOS

Uma das principais funções do controle em tempo-real de sistemas de energia elétrica, consiste na possibilidade do usuário poder realizar estudos no sistema (simulações de possíveis cenários), utilizando a configuração e o estado atual do mesmo. Manobras como saída de linhas ou transformadores, transferência de carga de subestações ou de barramentos, desligamentos, inserção ou retirada de bancos de capacitores, são exemplos desses estudos. Para permitir esses estudos existe o Módulo de Estudos, cuja parte inicial é idêntica ao Módulo de Tempo-Real até a execução do Estimador. Além desses há ainda o módulo de Análise de Contingências, que permite a simulação das manobras acima conforme mostra a Figura 5.

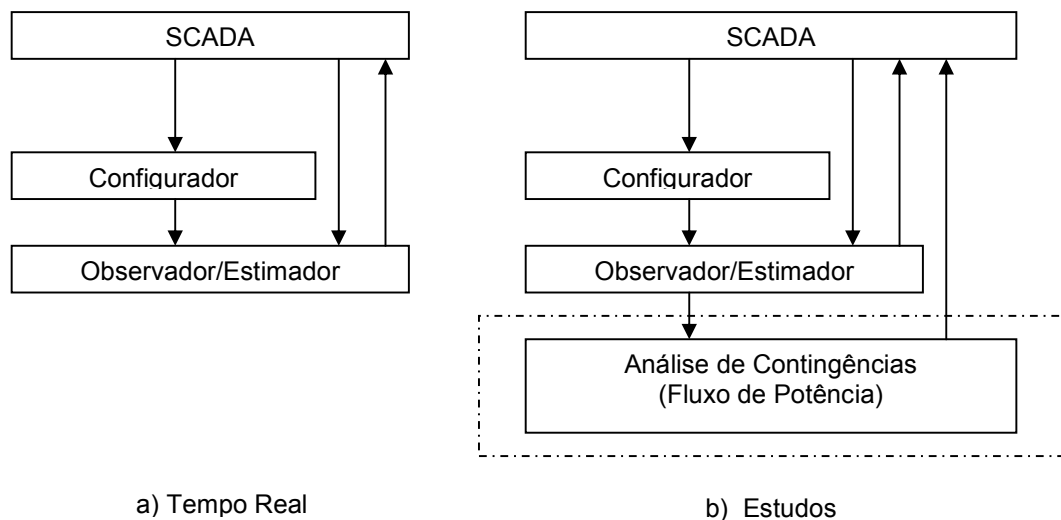


Figura 5 Módulo de Tempo-Real e Módulo de Estudos

Uma vez acionado o Módulo de Estudos (escolhido o Modo Estudos), executa-se uma seqüência Configurador, Observador e Estimador tendo como conjunto de medidas as atuais ou as correspondentes há um dia e horário escolhidos pelo usuário. A comunicação com o SCADA é encerrada e simulações, através do Fluxo de Potência, podem ser feitas sem interferir no sistema.

5.1 Definição da Configuração do Estudo e Execução do Fluxo de Potência

Qualquer console de IHM do software SCADA pode ser usado para realizar um estudo, bastando para isso selecionar a janela de estudos incluída no índice do SCADA, conforme mostrado na Figura 4, quando a opção EMS é verdadeira.

Essa janela, mostrada na Figura 6, permite que o usuário entre no modo de estudos, pressionando o respectivo botão.

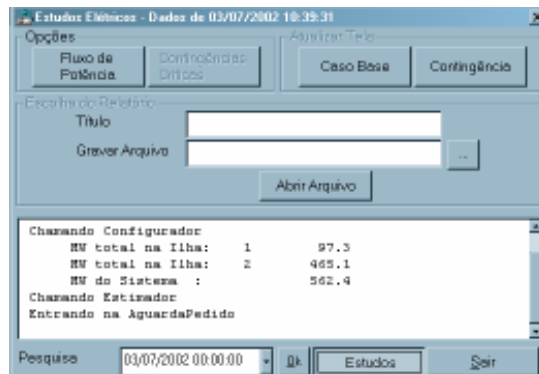


Figura 6 – Janela de Estudos

Selecionando-se o modo de estudos em um dado console de operação, automaticamente, cessa a conexão com o SCADA de tempo real. A partir desse instante o usuário pode fazer um estudo da situação presente ou de uma situação passada. No segundo caso, deve ser selecionada a data e a hora da situação passada na mesma janela e pressionado o botão de OK, fazendo que o sistema retorne a essa data, carregando todos os estados e medidas a partir da base de dados histórica. Uma vez definida a configuração do estudo, a seqüência Configurador/Observador/Estimador é executada e a partir daí o usuário passa a ter o controle da execução. Ele pode executar um Fluxo de Potência, monitorar dados, verificar carregamento de dispositivos, simular contingências, alterar cargas etc. São gerados relatórios em arquivos tipo texto ou HTML, com os resultados por barra e por ramo (linhas e transformadores). Uma lista das dez piores contingências, obtidas por métodos aproximados, também está disponível. O usuário pode simular qualquer contingência (dessa lista ou não). Contingências que causam ilhamentos, no caso do sistema em questão à parte ilhada fica “às escuras”, podem ser simuladas sem problema.

5.2 Módulo de Análise de Contingências

Como dito acima, após a execução do fluxo de potência para o cenário em estudo, o usuário pode simular contingências através das janelas de resultado dos componentes. É permitido ao usuário a simulação de contingências múltiplas. Ele define várias contingências, sem entretanto submetê-las ao módulo. Após definir a última contingência, pressiona-se o botão de simular, ativando o módulo de análise de contingências que executará e, ao final, chamará o módulo de monitoração do SCADA que provocará a visualização dos eventos e alarmes associados às contingências.

As janelas de resultados de cada componente apresentam os valores calculados pelo programa de fluxo de potência antes e depois da contingência. Na janela de seleção do modo estudo é possível retornar ao caso base e fazer um novo estudo.

A Figura 7 mostra uma tela do sistema após a simulação de uma contingência múltipla onde duas linhas de conexão entre barramentos tiveram seus limites excedidos, tendo suas cores passado para magenta. Na figura mostra-se, também, a janela de resultados de uma dessas linhas, com os valores de potência acima dos 17 MW definidos como limite operacional.

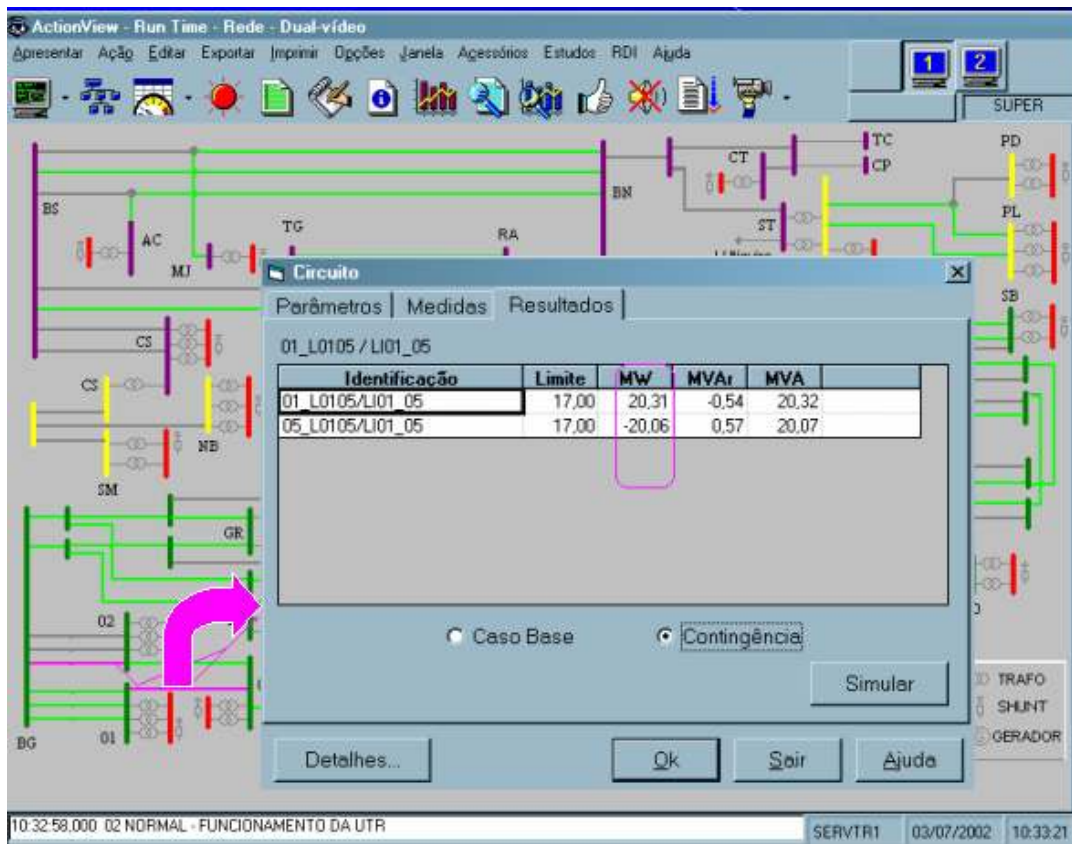


Figura 7 – Após simulação duas linhas excederão o limite

5.3 Encerrando o Estudo

Após o estudo, o usuário “libera” o respectivo botão, fazendo com que o console em questão se conecte ao SCADA em tempo real, retornando a situação de ser um console normal de operação do sistema. Deve-se observar que o perfil do usuário de cada console define as funções que o mesmo pode executar.

6. MÓDULO DE AUDITORIA

Como subproduto do EMS, foi desenvolvido o módulo de auditoria do software SCADA que tem as seguintes funcionalidades:

- Retornar o sistema a uma situação passada (data / hora);
- Definir a velocidade de “play back”;
- Fazer um “play back” de todos os eventos, alarmes e medidas, na velocidade definida, como se os eventos estivessem ocorrendo em tempo real.

Essa ferramenta permite que se faça auditoria dos procedimentos executados em situação de falha, bem como se treine operadores em situações reais, vivenciadas.

7. CONCLUSÕES

Com a desregulamentação do setor elétrico as concessionárias de transmissão e distribuição de energia devem ter um conhecimento profundo de seu sistema e ter ferramentas ágeis para o estudo de manobras ou contingências seja do lado da carga, seja do lado do fornecimento. Todas

as concessionárias devem ter um software de EMS com estimação de estados, garantindo suas medições e análise de contingências. A maioria das empresas, entretanto, possui ainda modelos "off-line" baseados em dados históricos calculados. Nesse caso, é impossível a um técnico fazer um estudo de contingência ou avaliar as conseqüências de manobras, em menos de algumas horas, necessárias para que o mesmo prepare e alimente seu modelo com dados. Mais que isso, o software permite o retorno a qualquer data passada, criando o ambiente o mais adequado possível para o estudo.

O estimador de estados, alimentado em tempo real, é importante ferramenta de validação dos estados de equipamentos e medidas elétricas adquiridos do campo, possibilitando a correta tomada de decisões em situações de contingência.

Os algoritmos utilizados na implantação aqui descrita estão em sintonia com o que há de mais avançado e são utilizados por grandes empresas internacionais. Além do fato de o software ter sido escrito pelos próprios autores dos métodos e processos divulgados nas melhores revistas de circulação internacional da área. Deve-se ressaltar que o Prof. Monticelli, até seu falecimento, em agosto de 2001, acompanhou toda a implantação das funções avançadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. Monticelli, "Electric Power System State Estimation" (invited paper) Proceedings of the IEEE Vol 88 (2) pp. 262, February 2000(2000).

A. Monticelli; A.V. Garcia; I. Slutsker; " Handling discardable measurements in power system state estimation", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 7, n.3, 1333-1340, (1992).

A. Monticelli; A.V. Garcia; " Modeling zero impedance branches in power system state estimation ", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 6, n.4, 1557-1566, (1991).

A. Monticelli; A.V. Garcia; " Fast decoupled state estimators ", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 5, n.2, 556-564, (1990).

A. Monticelli; A.V. Garcia; " Reliable bad data processing for real time state estimation " , IEEE Transactions on Power Apparatus and System, vol. 102, n.5, pp. 1126-1139, (1983).

REFERÊNCIAS DE APLICAÇÕES PRÁTICAS

Centrais Elétricas de Brasília – CEB, sistema implementado entre 1990 e 1991 estando hoje totalmente operacional.

DADOS DOS AUTORES

Clóvis Simões
Spin Engenharia de Automação Ltda.
SCLN 212 Bloco D Sala 101
70864-540 - Brasília - DF
Telefone: (61) 340-8486
E-mail: simoes@spinengenharia.com.br

Ariovaldo V.Garcia
UNICAMP/Departamento de Sistemas de Energia Elétrica
Caixa Postal 6101
13081-970 Campinas, SP
Telefone: (19) 37883729/37883715
E-mail: ari@dsee.fee.unicamp.br