XXIV SNPTEE

SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E

TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

CB/GOP/05

GRUPO - IX

GRUPO DE ESTUDO DE OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS- GOP

FERRAMENTAS DE APOIO À RECOMPOSIÇÃO DE SUBESTAÇÕES DE TRANSMISSÃO NA CEEE-GT

Ricardo Lastra Olsen (*) **Vítor Donaduzzi**

CEEE-GT **CEEE-GT**

Ricardo Lastra Olsen (*) **Vítor Donaduzi**

CEEE-GT **CEEE-GT**

RESUMO

O presente trabalho aborda a implementação de ferramentas de apoio às tarefas dos operadores de telecomando relativas à recomposição fluente de subestações de transmissão. Um projeto de longo prazo foi estabelecido, com fases bem definidas, onde será gradualmente aumentado o grau de automatização. Na fase inicial foram desenvolvidas duas funcionalidades: a preparação semiautomatizada das subestações para a recomposição e uma tela dedicada que serve como guia para o operador executar, passo a passo, a recomposição fluente. Os automatismos foram desenvolvidos em linguagem LUA sobre a plataforma de código aberto OSHMI (*Open Substation HMI*).

PALAVRAS-CHAVE

Subestação Recomposição Automatismo Transmissão Operação Restauração

1.0 - INTRODUÇÃO

O processo de recomposição é uma das funções mais importantes, complexas e trabalhosas desempenhadas pelos operadores de telecomando de subestações de transmissão de energia, especialmente nas situações de *blackout* total e gestão de crises (1). O tempo de restauração tem impacto direto na qualidade dos serviços prestados, e elevada repercussão financeira.

O aumento da quantidade de subestações telecomandadas a partir dos centros de telecontrole tem causado grande preocupação em relação à capacidade de reação dos operadores para os casos de grandes ocorrências no sistema elétrico de potência.

Nestas situações, os operadores devem executar a uma quantidade muito elevada de comandos: primeiramente a preparação para a recomposição (desligamentos) e, posteriormente, a recomposição fluente (não coordenada pelo COS/ONS) propriamente dita. Estes procedimentos devem ser executados para cada uma das instalações que foram desenergizadas no blecaute. Há ainda a fase coordenada pelo COS/ONS, onde os operadores devem aguardar instruções para a continuação do processo.

Com o objetivo de reduzir o tempo da fase fluente da recomposição elaborou-se, no setor de Engenharia de Supervisão da CEEE-GT, um projeto que pretende, gradualmente, acrescentar automatismos e ferramentas para auxiliar os operadores do telecomando a completar as suas tarefas com maior eficiência e precisão.

Este trabalho foi desenvolvido para utilização no Centro de Operação de Instalações da CEEE-GT, Área de Transmissão. Este Centro já é responsável pelo telecomando de 18 subestações e absorverá gradualmente mais 21 que serão migradas dos atuais centros regionalizados, além de todos os novos empreendimentos.

(*) Av. Joaquim Porto Villanova, n° 201– sala 207 - Prédio F – CEP 91.410-400 – Porto Alegre, RS – Brasil.

Tel: (+55 51) 3382-2395 – E-mail: ricardolo@ceee.com.br

A plataforma de IHM utilizada neste Centro é a OSHMI – *Open Substation HMI*, software livre, conectada ao sistema SAGE através do protocolo ICCP. Esta plataforma possui uma interface baseada nos padrões HTML5/SVG, possuindo uma capacidade gráfica bastante poderosa e "scriptável" no lado do cliente (telas) por meio de linguagem Javascript. No lado do servidor, os *scripts* são feitos em linguagem Lua, uma linguagem especialmente desenvolvida para ser embutida em aplicações que nasceu dentro da PUC-Rio. Lua também é utilizada no sistema SAGE do CEPEL.

2.0 - PLANO DE LONGO PRAZO PARA A AUTOMATIZAÇÃO DAS RECOMPOSIÇÕES

Diversos graus de automatização podem ser empregados para auxiliar no processo de recomposição (2). O projeto foi dividido em etapas para facilitar o desenvolvimento e a implantação, colher gradualmente melhores resultados e permitir aos operadores, através de treinamentos e da prática, se habituarem e ganharem, aos poucos, maior confiança nos automatismos. As etapas são as seguintes:

1ª Fase:

- Disponibilização das Instruções de Operação (IO's) nas IHM's.
- Processo semiautomático (iniciado pelo operador) de preparação da recomposição.
- Telas de apoio à recomposição fluente para cada subestação.

2ª Fase:

- Processo automático de preparação da recomposição.

3ª Fase:

- Processo semiautomático de execução da recomposição fluente.

4ª Fase:

- Processo automático de execução da recomposição fluente.

3.0 - DISPONIBILIZAÇÃO DAS INSTRUÇÕES DE OPERAÇÃO (IO'S) NAS IHM'S

Esta funcionalidade foi implantada através da cópia dos documentos operativos, em especial as Instruções de Operação (3) (4) para as Interfaces Humano-Máquinas (IHM's) de operação em tempo real. Foi colocado um link na tela unifilar de operação da subestação que abre o documento em formato PDF. Adicionalmente, na tela dedicada à recomposição existe outro link para este documento, neste caso o PDF já é aberto diretamente na página adequada referente à parte que trata da recomposição fluente.

Estes documentos podem sofrer alteração a qualquer momento, desta forma, optou-se por deixar que os próprios operadores ou o pessoal de apoio à operação faça a atualização dos documentos, quando necessário.

A maneira ideal de atualização desta documentação seria através de um processo automático. Todavia devido ao momento pelo qual passa a CEEE-GT de troca do sistema corporativo, processo no qual se insere a atualização do sistema de gestão de documentos (DMS), optou-se por manter, por hora, a atualização manual.

Outra preocupação que deve ser levada em conta para a automatização da atualização das IO's é a questão de segurança cibernética, já que para que isto seja feito torna-se necessário interligar, de forma segura, as redes de operação em tempo real e corporativa. Como se sabe, estes pontos de interligação requerem, permanentemente, uma série de cuidados para prevenir e detectar possíveis invasões. Sendo assim, devem ser pesados meticulosamente os custos e riscos em relação aos benefícios da automatização da cópia dos documentos para que se tome uma decisão acertada sobre a questão.

Como a interface da OSHMI é feita em navegador *web* dedicado (com base no projeto Chromium), a integração dos documentos em formato PDF é bastante fácil, pois o visualizador já está embutido no próprio navegador, o que torna a solução mais transparente, leve e segura.

Um aspecto importante para o sucesso do projeto é a necessidade de uma boa coordenação com o setor de normatização, responsável pelas IO's, para que estas sejam feitas de uma forma bem estruturada e estável, para que não sofram alterações desnecessárias. Quaisquer atualizações referentes às recomposições nas IO's tornam indispensável a revisão dos automatismos implementados frente aos novos procedimentos.

4.0 - PROCESSO SEMIAUTOMÁTICO (INICIADO PELO OPERADOR) DE PREPARAÇÃO DA RECOMPOSIÇÃO.

O automatismo de preparação da recomposição total é um *script* que desliga todos os disjuntores da subestação quando da ocorrência de uma desenergização completa da subestação causada por um evento externo.

Esta funcionalidade somente é predisposta quando é detectada a condição sistêmica de desenergização completa da subestação, ou seja, enquanto não for detectada esta condição não é possível ao operador dar a partida no automatismo.

A detecção da condição de desenergização da subestação é feita pelo script em linguagem Lua, que executa junto ao servidor de dados de tempo real da IHM. É feita uma verificação a cada 4 segundos da condição, através do teste dos valores de fluxo nas linhas e tensões nas barras da subestação, adicionalmente é verificado o outro lado de algumas linhas de transmissão, testando a ausência de fluxo ativo e a tensão. Com esta verificação das condições, que inclui mais de uma subestação, evita-se que uma possível falha (que cause o zeramento de todas as medidas) no sistema de supervisão de uma única subestação predisponha o automatismo.

Outra condição que foi estabelecida para predispor os automatismos é a de que não haja na subestação nenhum módulo (*bay*) transferido, pois foi avaliado que esta situação indica uma condição de anormalidade na subestação podendo indicar a possível existência de trabalhos de manutenção no local.

Para facilitar o desenvolvimento e a manutenção dos *scripts* de automatismo, estes foram divididos em um para cada subestação. As condições de predisposição são estabelecidas na forma de listas de medições e de estados de chaves seccionadoras a serem testadas.

Quando é detectada a condição de predisposição do automatismo, é apresentado ao operador um botão, na cor vermelha, tanto na tela unifilar (ver Fig. 1), quanto na específica de recomposição da respectiva subestação (ver Fig.2), além de um alarme. Este botão, ao ser comandado, dá a partida no automatismo de preparação da recomposição, isto é, no processo automatizado de desligamento de disjuntores da subestação.

Na tela específica de recomposição da subestação é mostrada a lista das medições, com os respectivos valores de tempo real, consideradas para o teste da condição de predisposição do automatismo. Esta serve para que possa ser feita uma rápida verificação de alguma situação anormal, dando ao operador maior segurança para disparar o automatismo.

No *script* de automatismo de cada subestação, consta a lista de disjuntores na ordem desejada de desligamento. Os disjuntores interbarras e de transferência não são desligados, exceto os de baixa tensão (13,8kV e 23kV).

Ao configurar os *scripts* de automatismo é necessário apenas elaborar listas de pontos, não é preciso alterar nenhum algoritmo, estes já estão predefinidos e valem para todas as subestações.

Na tela de recomposição, é apresentada a lista de disjuntores que serão desligados pelo automatismo e, durante a execução do mesmo é mostrado um cursor que indica, a cada momento, o disjuntor que está sendo comandado. Esta parte da tela pode ser utilizada pelo operador também de forma manual, no caso do automatismo não estar habilitado, pois ajuda a identificação da ordem das manobras, acelerando as operações. Caso ocorra alguma falha na execução dos comandos, o operador pode tentar repetir os comandos de forma automática ou manual.

Como a sequência de comandos é extensa, sendo em alguns casos composta de mais de 30 operações, este automatismo torna a execução deste processo muito mais rápida do que na forma manual.

Após a execução dos desligamentos, fica disponível a tela de apoio à recomposição propriamente dita da subestação.

4.1 *Scritps* Lua para Execução dos Automatismos

Para a implementação dos automatismos foi utilizada a linguagem Lua, que é disponibilizada para processamento de informações em tempo real pela plataforma de IHM OSHMI. Lua é bastante adequada para este tipo de aplicação, por ser uma linguagem dinâmica, de sintaxe simples e, ao mesmo tempo, poderosa e que permite programar chamadas da linguagem C para Lua e de Lua para C de forma bastante eficaz. A IHM disponibiliza chamadas de API para a leitura e escrita de valores de tempo real, bem como para a execução e interceptação de comandos feitos pelo operador.

As lógicas de automatismos foram criadas através de máquinas de estado, uma para cada subestação, em *scripts* individualizados e independentes. Os testes de condições para predisposição são feitos através do processamento de listas, uma funcionalidade muito prática da linguagem Lua. O programador elabora as listas de variáveis que serão testadas para o teste das condições e o algoritmo não é alterado.

Todas as *tags* de pontos utilizadas nos automatismos são testadas pelo próprio *script* para verificar a existência das mesmas na base de dados. Caso seja verificada alguma inconsistência, o *script* não é inserido na lista de funções a serem processadas pelo sistema e um erro é registrado. Desta forma evita-se que erros de digitação nas *tags* possam causar erros no processamento dos automatismos.

A execução dos desligamentos de disjuntores e exclusão dos relés 90 dos transformadores é também feita através do processamento de listas.

Algumas condições para abortar o processo de automatismo em andamento são estabelecidas e testadas durante a execução do mesmo, como por exemplo, o retorno prematuro da tensão na subestação e o comando de abortar disparado pelo operador.

5.0 - TELAS DE APOIO À RECOMPOSIÇÃO FLUENTE PARA CADA SUBESTAÇÃO.

Cada tela específica de recomposição para cada subestação possui três áreas distintas:

- Área de identificação das condições de predisposição do automatismo;
- Área de processamento do automatismo de preparação para recomposição;
- Área de apoio à recomposição fluente.

A área de apoio à recomposição fluente proporciona ao operador um guia, passo a passo, do que deve ser feito para recompor a subestação identificando automaticamente as condições necessárias para a conclusão de cada passo. Num mesmo local estão as instruções, na forma de texto (mesmo texto das IO's), os passos de execução, os objetos comandáveis (estado de disjuntor, seccionadora, tap, etc.) e os testes das condições que devem ser atendidas. Desta forma, ficou muito mais fácil para o operador executar o processo de recomposição fluente do que na condição anterior quando era necessário localizar e consultar a IO em papel e interpretar cada passo buscando os objetos a comandar na tela da IHM e verificando cada condição que deve ser atendida em diferentes posições da tela, sendo por vezes necessário buscar informações em diferentes telas do sistema.

Cada passo é colocado separadamente dentro de uma caixa com o número do passo destacado, ver. Fig. 3. À direita desta caixa ficam as instruções na forma de texto, compreendendo a sequência de operações e as respectivas condições. À esquerda, dentro da caixa ficam as marcas verdes de ok, mostradas em cima de um círculo, as quais identificam o atendimento das condições necessárias para dar prosseguimento ao processo; à direita aparecem os valores de estado e medidas e objetos comandáveis para executar as operações necessárias. Os objetos comandáveis são identificados por um pequeno círculo preenchido que fica junto ao número operacional do equipamento.

As condições de atendimento de cada operação são introduzidas na forma de *scripts* diretamente na tela.

Exemplo na linguagem *Javascript*:

Instrução *exec_on_update* (executa *script* a cada *update* dos valores) - testa se o valor da tensão da linha LAJ2-UPRE está entre 207 e 242 kV, se sim a condição está atendida e mostra o objeto "marca de ok":

```
thisobj.style.display =
```

```
( getValue("LAJ2UPRE1MVPP--AB") >= 207 && getValue("LAJ2UPRE1MVPP--AB") <= 242 ) ?
 "" :  "none";
```

A instrução está associada ao objeto "marca de ok" que é representado pela variável *thisobject*, o estilo *display* será *none* (o objeto não será mostrado) ou *string* vazia (o objeto será mostrado) de acordo com o valor da medida de tensão da linha.

De forma semelhante são testados os estados de disjuntor, posição de tap de transformador, presença de fluxo, etc. O tamanho e a complexidade das operações de *scripts* de telas não possui limitação arbitrária e o processamento é muito rápido. A forma de execução pode ser periódica com intervalo configurável, associada à atualização dos valores das medições, ou mesmo ligada aos eventos da interface de usuário, tais como clique do mouse, carregamento da página, tecla pressionada, etc. Diversos tipos de animações e efeitos também estão disponíveis (SVG/SMIL, CSS Animations, Web Animations).

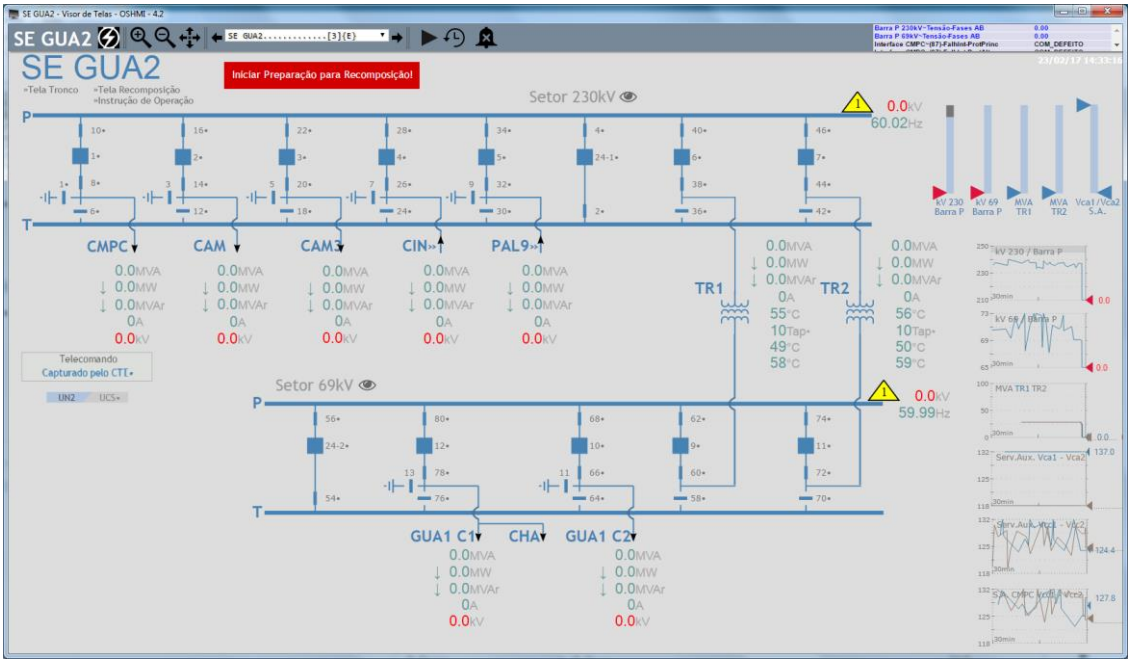

FIGURA 1 – Tela de unifilar de telecomando da SE Guaíba 2
Simulação de desenergização da subestação.

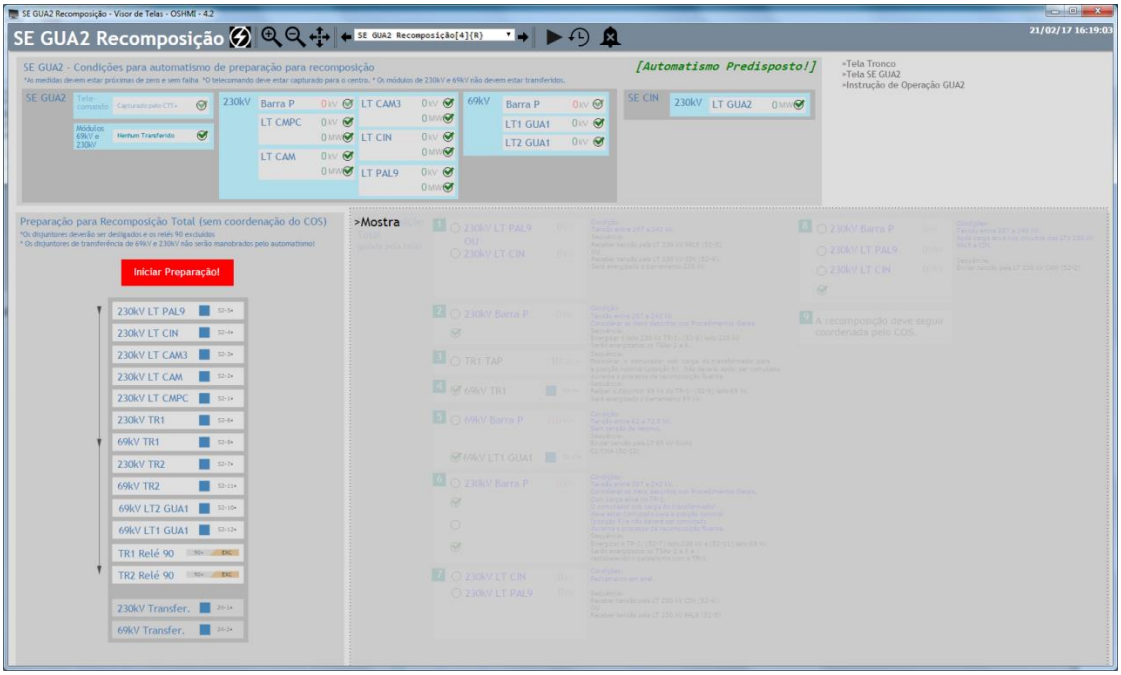

FIGURA 2 – Tela de apoio à recomposição fluente da SE Guaíba 2.
Simulação de desenergização, com automatismo predisposto.

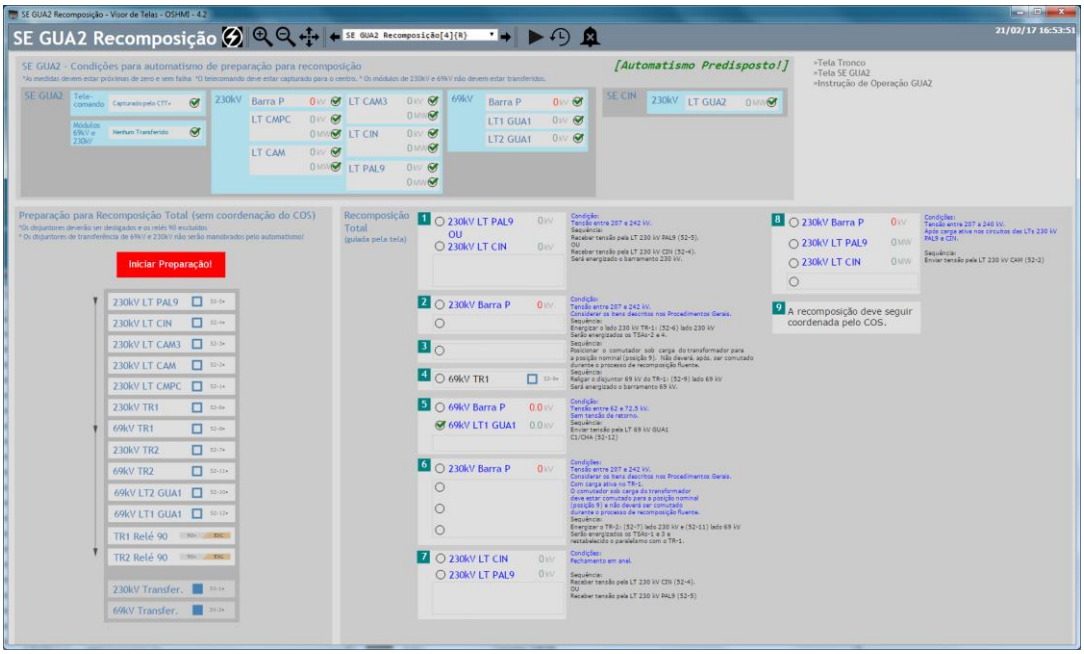

FIGURA 3 – Tela de apoio à recomposição fluente SE Guaíba2.
Preparação para a recomposição concluída: disjuntores desligados.

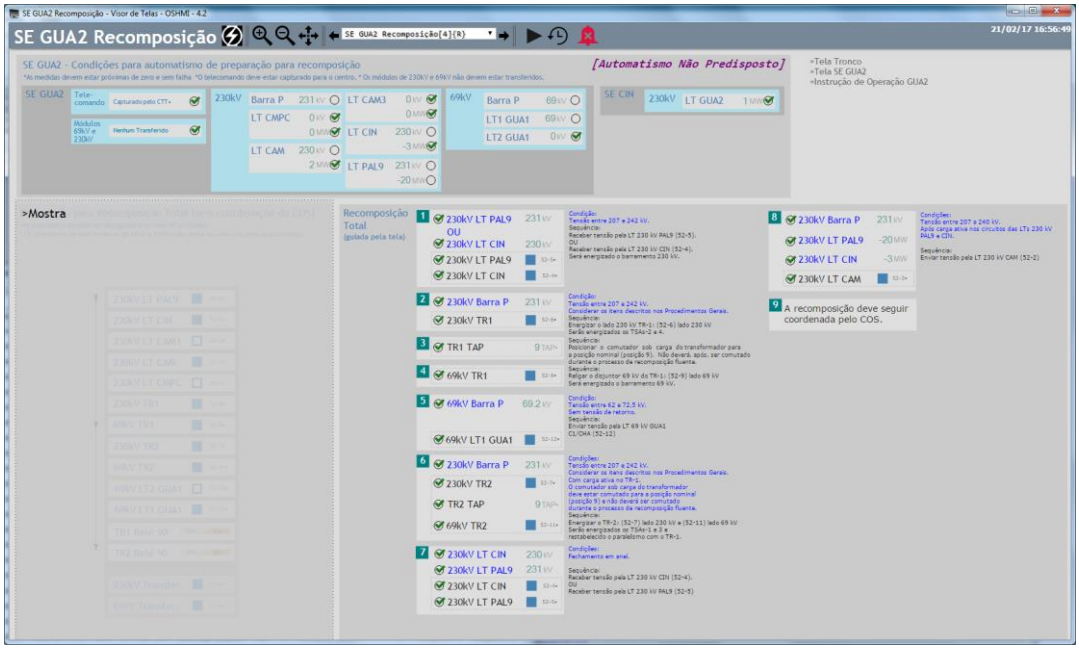

FIGURA 4 – Tela de apoio à recomposição fluente SE Guaíba2.

Recomposição concluída: todos os passos em “OK” .

6.0 - TESTES, SIMULAÇÕES E TREINAMENTO.

A dificuldade de executar um teste com o sistema real é muito grande, pois para isto é necessário simular valores analógicos nos sistemas de várias subestações, bem como desconectar e observar os comandos de disjuntor na saída das UTR’s ou relés de proteção. A quantidade de medidas e estados envolvida é muito grande.

Desta forma optou-se por fazer testes com sistemas totalmente simulados. Dois tipos de simulação são utilizados, cada um com objetivos distintos:

- Simulação com *script* na IHM OSHMI;
- Simulação envolvendo a comunicação dos sistemas de IHM, concentrador SAGE e simulador de UTR.

O primeiro tipo envolve apenas a IHM de operação, ver Fig. 5, este é utilizado para testar de forma simulada toda a cadeia de ocorrências e sequência de operações automáticas e também para verificar a correção da tela de recomposição. Esta simulação também é bastante adequada para proceder a validação por parte da Operação das telas e automatismo bem como para auxiliar no treinamento dos operadores. As reações do sistema aos comandos do operador são previstas e programadas no *script* de simulação. Dificilmente se consegue prever todas as situações e simular com grande exatidão as medidas e o comportamento do sistema, especialmente para subestações muito complexas. Todavia é possível simular a sequência completa de manobras e o comportamento das principais medidas envolvidas nos testes das condições de execução de cada passo da recomposição.

A área de operação é responsável pelo treinamento dos operadores. Para isto utiliza a IHM no modo simulação com os *scritps* de automatismo e os de simulação elaborados pelo setor de Engenharia de Supervisão.

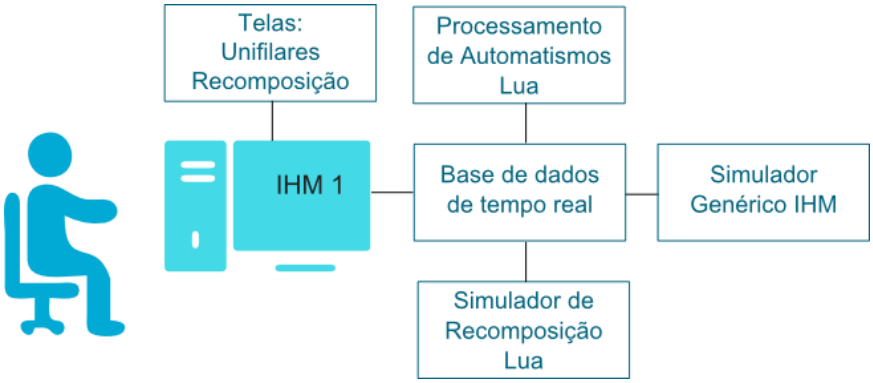

FIGURA 5 – Simulação somente na IHM.

O segundo tipo de simulação envolve a cadeia completa de comunicação dos sistemas, ver Fig. 6. Neste caso, o objetivo é testar o comportamento e desempenho do sistema como um todo durante a simulação. Apenas as UTR's são simuladas, o restante do sistema se comporta de forma real. A configuração completa do sistema com dualidade de IHM e concentrador é testada. Cada passo é simulado através da entrada manual de valores e resposta aos comandos no simulador de remotas. Este teste é lento e trabalhoso, mas é necessário para garantir o correto funcionamento dos algoritmos e o relacionamento entre os sistemas envolvidos (UTR's / Concentradores / IHM's). Por este motivo, este teste não é adequado para o treinamento de operadores.

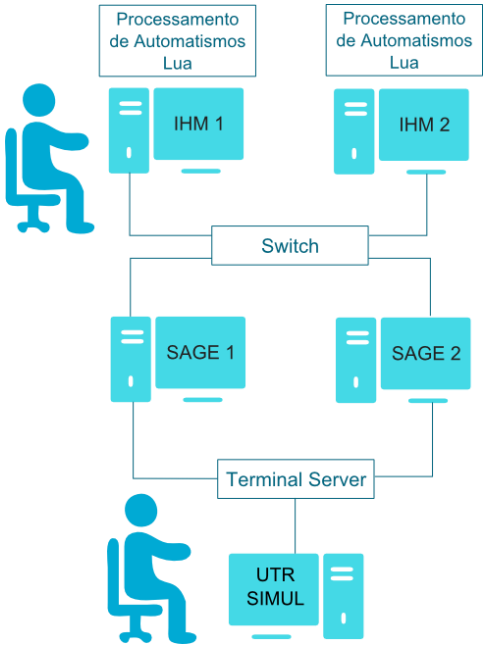

FIGURA 6 – Simulação dos diversos sistemas envolvidos.

7.0 - CONCLUSÕES

O sistema foi testado e simulado para quatro subestações. As simulações e treinamentos dos operadores demonstram que serão obtidos significativos ganhos em velocidade e precisão na execução das operações de recomposição. Isto somente é alcançável graças ao emprego de automatismos e pela forma como são apresentadas as informações aos operadores: todas em contexto e em uma única tela dedicada para a execução de uma tarefa específica, no caso a recomposição. Desta forma, alivia-se a carga cognitiva do operador, atualmente sobrecarregada durante este tipo de ocorrência, pela necessidade de consultar para executar esta tarefa,

documentação em papel, o que envolve encontrar o documento e depois localizar dentro do mesmo a parte que importa. É preciso percorrer ainda os passos de recomposição alternando do papel para as diversas telas na IHM de operação. Todo este processo é oneroso para a memória de trabalho do operador, causando lentidão e possíveis erros nas suas ações.

O sistema será implantado gradualmente, introduzindo as funcionalidades para uma subestação de cada vez. Somente após a ocorrência de uma desenergização de alguma subestação que estiver com o processo semiautomatizado disponível, teremos a comprovação prática das melhorias alcançadas.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) Committee on Enhancing the Robustness and Resilience of Future Electrical Transmission and Distribution in the United States to Terrorist Attack - National Research Council of the National Academies - Terrorism and the Electric Power Delivery System.

(2) WEIKERT, Jim - Improve Outage Handling and Protection - Four Ways Automation Can Improve How You Do Things Today, 2014 – Em: < http://www.powersystem.org/docs/publications/improveoutage_1404wp_web.pdf > (acesso em 23 fev 2017).

(3) CEEE-GT - Departamento de Operação do Sistema - AT/ DI - Instruções de Operação das Subestações de Transmissão.

(4) ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico - Manual de Procedimentos da Operação - Módulo 10 – Submódulo 10.21 - Instrução de Operação Específica do ONS - PROCEDIMENTOS SISTÊMICOS PARA A OPERAÇÃO DAS SE's DA CEEE-GT.

9.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Ricardo Lastra Olsen, MEng.

Nascimento: Porto Alegre – RS, 1965.

Graduação em Engenharia Elétrica – UFRGS – Porto Alegre, 1990.

Mestrado em Instrumentação Eletroeletrônica – UFRGS – Porto Alegre, 1992.

Trabalha na CEEE-GT, na área de Engenharia de Supervisão desde 1998.

Áreas de atuação: Sistemas SCADA/EMS, Gráficos de Alto Desempenho, Automatismos em Centros de Controle, Interfaces IHM para controle local e remoto de subestações, Consciência Situacional, sistemas SCADA na nuvem, historiadores de dados, visualização de informações, integração de dados de supervisão aos sistemas corporativos, sistema para gestão das configurações de sistemas SCADA/EMS.

Vítor Donaduzzi, Eng.

Nascimento: Santa Maria – RS, 1984.

Graduação em Engenharia Elétrica – PUCRS – Porto Alegre, 2013.

Trabalha na CEEE-GT, na área de Engenharia de Supervisão desde 2006.

Atualmente é o coordenador da Engenharia de Supervisão da CEEE-GT, responsável pelos centros de operação e telecontrole.

Áreas de atuação: Sistemas SCADA/EMS, Interfaces IHM para controle local e remoto de subestações, Segurança Cibernética, historiadores de dados, aplicações web, sistemas de treinamentos para operadores.