

Smart Action – Determinação Inteligente de Ações para Recomposição da Rede de Transmissão de Energia

Antônio Sérgio de Araújo*

José Martins dos Santos
Amorim

Fructuoso Gusmão

COMPANHIA HIDRO ELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO – CHESF

Jacques P. Sauvé

Jorge C. A. Figueiredo

Eloi Rocha Neto

Pedro S. Nicoletti

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG

Resumo - Este trabalho descreve as características de um Sistema Inteligente de Apoio à Recomposição para apoiar os operadores dos Centros de Operação do Sistema (COS) da CHESF durante a recomposição do sistema elétrico de potência após a ocorrência de uma perturbação. O objetivo principal do Sistema proposto é sugerir ao operador de sistema as providências cabíveis para a recomposição a partir dos dados adquiridos em tempo real. O conhecimento representado tem como base as Instruções de Operação e a experiência da equipe de especialistas da CHESF. Este aplicativo, desenvolvido em Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento entre a CHESF e a UFCG, está integrado ao *Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia (SAGE)* que é o Sistema de Supervisão e Controle da empresa. Neste artigo, é apresentada a versão atual do aplicativo, e sua utilização na operação.

Palavras-chave - Recomposição - Sistemas Especialistas - Inteligência artificial - Supervisão e Controle - Operação de Sistemas de Potência

I. INTRODUÇÃO

Os centros de controle das companhias de energia elétrica têm a difícil tarefa de gerenciar e controlar grandes redes elétricas. Os modernos centros de controle de energia elétrica são assistidos por sistemas de software que auxiliam o operador na análise das informações obtidas em tempo real. Estes sistemas, por exemplo, permitem que os operadores efetuem manobras remotamente, auxiliam na análise de situações de contingência e, podem ser usados para estabelecer um plano de recomposição do sistema após um *blackout*. Em especial, os sistemas de software são importantes quando o sistema elétrico opera em condições anormais, provendo assistência aos operadores durante situações críticas ou de emergência. Nestas situações, o operador deve agir prontamente com o intuito de recompor e conduzir o sistema de volta ao

seu estado normal. O insucesso no processo de recomposição pode resultar em conseqüências catastróficas, causando irreparáveis prejuízos sociais e econômicos. Este trabalho descreve o problema da recomposição de sistemas elétricos e as principais ferramentas analíticas utilizadas no processo de recomposição, como também são apresentadas, as técnicas computacionais usadas para solução do problema e o Sistema de Apoio à Operação e Recomposição do Sistema Elétrico desenvolvido para auxiliar os operadores dos Centros de Operação do Sistema da CHESF.

II. RECOMPOSIÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS

Chamamos de recomposição, restauração ou restabelecimento de sistemas elétricos o processo de energizar uma área que está desenergizada devido a uma falha. Área na sistemática adotada, compreende desde um equipamento a um *blackout*. O *blackout*, a perda total ou parcial de energia, deve ocorrer em pelo menos uma subestação. Uma ferramenta de diagnóstico de alarmes [4, 6 e 7] preenche um importante papel na identificação de falhas no sistema elétrico. Os sistemas de diagnósticos de alarmes identificam o que está ocorrendo no sistema elétrico, muitas vezes em tempo real, acelerando a identificação de falhas. O processo de recomposição é dividido em duas fases:

- a. Identificação da configuração final;
- b. Plano de recomposição.

A configuração final, produto da primeira fase, deve obedecer às restrições elétricas e seguir os padrões de operação do sistema em questão. Como veremos adiante, a configuração final identificada deve ser aprovada por um programa de fluxo de

carga para garantir uma configuração viável e que não leve o sistema a passar pela mesma falha em pouco tempo. Na segunda fase, é produzido o plano de recomposição contendo a seqüência de operações para levar o sistema elétrico do estado atual ao estado desejado. De acordo com Bretas e Phadke [5], a recomposição pode ser classificada em três diferentes níveis:

Recomposição automatizada: o sistema adquire as informações do SCADA, elabora o plano de recomposição e através do SCADA implementa este plano.

Recomposição auxiliada por computador: nesse tipo de recomposição não existe um sistema próprio para geração de planos de recomposição ou mesmo a implementação de ações através do SCADA. Diferentemente da Recomposição automatizada, as informações são usadas pelos operadores do sistema elétrico, que elaboram e implementam o plano de recomposição.

Recomposição cooperativa: aqui temos um sistema de Apoio à recomposição que recebe as informações do sistema elétrico através do SCADA, elabora o plano de recomposição e deixa que a responsabilidade de implementar o plano seja dos operadores. Além disso, seguir ou não o plano gerado pela ferramenta é uma decisão dos operadores.

As pesquisas em recomposição têm se concentrado no terceiro tipo de sistema. O risco de deixar o computador controlar totalmente o sistema elétrico é grande. Erros de software poderiam levar o sistema a *blackout* em várias subestações. A maioria das companhias, que ainda não tem uma ferramenta de Apoio à recomposição, utiliza a recomposição auxiliada por computador. Porém existe um grande interesse das companhias no desenvolvimento de sistemas que auxiliem a tomada de decisão no momento da recomposição. As técnicas utilizadas neste trabalho estão relacionadas com a recomposição do tipo cooperativa.

III. TÉCNICAS DE RECOMPOSIÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA

A. Definição do problema

A natureza do problema de recomposição na CHESF, assim como em outras companhias, envolve uma série de características: i) um grande número de equipamentos para controle; ii) grande quantidade de eventos para análise; iii) diversidade de arranjos no sistema elétrico; iv) condições de stress durante ocorrências; v) grande número de documentos normativos não estruturados; e, vi) mudanças freqüentes na estrutura topológica do sistema, nos documentos normativos e em documentos de procedimentos sobre os equipamentos. Estas características tornam uma solução computacional para o problema de recomposição não-trivial.

Quando ocorrem falhas que levam à desenergização de partes importantes ou de toda a rede elétrica, o sistema entra no que chamamos de **estado restaurativo**. Nestas situações, os operadores dos centros de controle devem agir prontamente, na tentativa de recompor o sistema. É importante notar que o sistema elétrico inteiro não vai estar em todos os estados ao mesmo tempo, apenas, um estado por vez. Porém regiões do sistema podem estar em estados diferentes ao mesmo tempo. Em uma região, o sistema pode estar em estado **restaurativo**. Em uma outra, pode estar com limites de geração, carregamento ou de tensão violados, o sistema entra no que chamamos de **estado de emergência** e, em uma terceira parte, pode estar operando em estado **normal**.

A solução do problema de recomposição de sistemas elétricos se baseia na construção de um plano de recomposição ótimo para o sistema. Este plano contém as ações necessárias para trazer o sistema elétrico ao seu estado **normal**. Construir este plano de recomposição envolve duas etapas: 1) conhecer a configuração atual do sistema; 2) determinar o plano de recomposição que nos permite chegar à melhor configuração a partir desta. O nosso problema é realizar os passos acima para o caso específico da CHESF.

B. A Técnica Proposta

Muitos são os trabalhos em recomposição de sistemas elétricos de potência. Em [2] vemos uma técnica utilizando redes neurais artificiais. Em [3] vemos uma técnica baseada em redes de Petri e tantos outros trabalhos que atendem o problema de recomposição. Porém não vemos ainda um interesse maior em desenvolver sistemas que contemplem a necessidade de baixa manutenção que é um dos grandes obstáculos a serem superados para a sobrevivência de sistemas baseados em conhecimento como os desenvolvidos para sistemas elétricos de potência.

O ponto-chave da técnica utilizada no trabalho consiste nos Planos de Recomposição. Os planos são, tipicamente, algoritmos específicos (baseados em Instruções de Operação e conhecimento adquirido dos especialistas da CHESF) que descrevem sempre (ou quase sempre) as seqüências de passos que devem (obrigatoriamente) ser seguidas para a realização de uma recomposição (ou manobra).

Os Planos de Recomposição podem ser ativados a partir de ocorrências no sistema elétrico (mais precisamente, a partir de diagnósticos emitidos pelo SmartAlarms [8] – Sistema de Tratamento de Alarmes on-line utilizado nos Centros de Operação de Sistema da CHESF) ou pelo próprio operador do sistema (para realização de manobras programadas). No primeiro caso, os planos possuem condições de entrada, que são expressões booleanas que explicitam os possíveis diagnósticos emitidos pelo

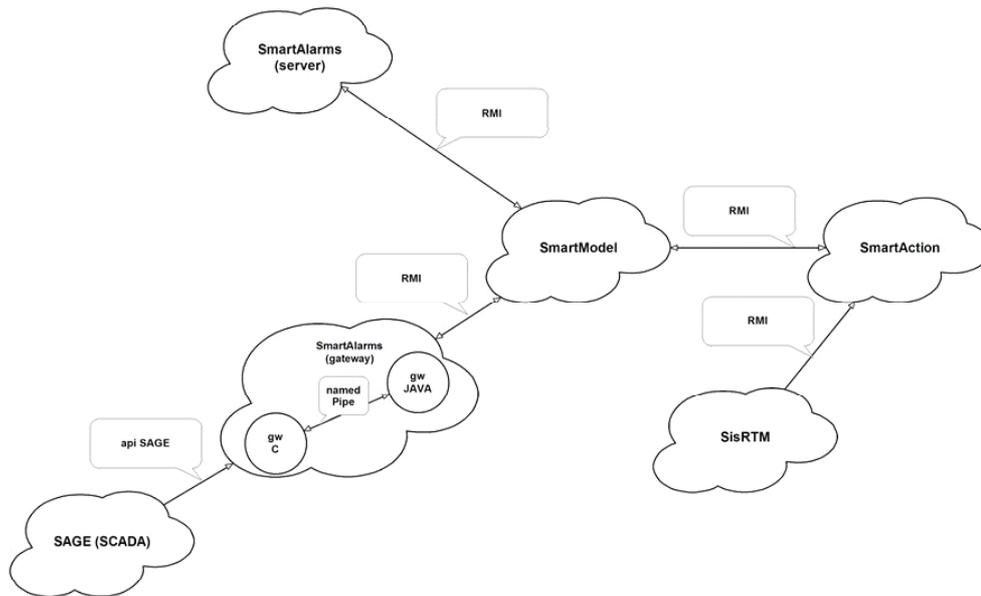


Figura 1. Diagrama de arquitetura do Smart Action.

SmartAlarms que possam ser tratados pelo SmartAction.

Um Plano de Recomposição pode ser genérico (nesse caso ele se aplica a um conjunto de equipamentos - por exemplo, planos para recomposição de LTs de 230 KV) ou específico (nesse caso ele se aplica a um equipamento específico - por exemplo, uma contingência de uma dada LT ou o tratamento de backout de uma certa subestação). O emprego de planos genéricos reduz consideravelmente a quantidade de planos a serem escritos por especialistas, uma vez que um único plano pode estar relacionado a vários outros.

Um plano é composto por quatro campos:

- Título:** Texto descritivo do plano de recomposição.
- Diagnóstico:** Uma expressão booleana, ou seja, uma expressão cujo valor é verdadeiro ou falso. Este campo representa o conjunto de diagnósticos que pode ativar o plano. Tipicamente, é uma seqüência de um ou mais diagnósticos separados por operadores lógicos .
- Premissas:** É um atributo opcional. É também uma expressão de valor booleano. Define uma expressão que, se for avaliada falsa, inibe a ocorrência do plano. Ou seja, para que um plano seja ativado é necessário que um diagnóstico tenha ocorrido e as premissas sejam verdadeiras.
- Algoritmo de recomposição:** Descreve uma seqüência de ações, condicionais ou não, que define a recomposição.

IV. ARQUITETURA DO SISTEMA

A técnica foi implementada em um sistema de software chamado *Smart Action* que contempla

as duas etapas do processo de recomposição. A etapa 1 do problema de recomposição corresponde à análise dos diagnósticos emitidos pelo sistema *Smart Alarms* – Sistema Inteligente de Tratamento de Alarmes *on-line* em Centros de Operação de Sistema [8] que se encontra em operação na CHESF há dois anos - e das premissas que compõem os planos de recomposição. A etapa 2 é representada pelo algoritmo de recomposição em si e influenciada pelos roteiros de manobras – RTM (manobras sobre os equipamentos do sistema elétrico que são padronizadas e escritas) contido no Sistema de Roteiros de Manobras – SisRTM (software dos RTM) em uso na CHESF. A Figura 1 apresenta uma visão simplificada da arquitetura do *Smart Action*.

A. Programa SisRTM

O sistema SisRTM é um programa de computador que permite a criação, manutenção e pesquisa de Roteiros de Manobras (RTMs) de forma simplificada e automatizada, visando facilitar a manipulação de tais tipos de documentos e minimizar a introdução de erros nos mesmos.

Um Roteiro de Manobra (RTM) é um documento que, na maioria das vezes, descreve os procedimentos de “Liberação” e de “Normalização” de operação de algum elemento do sistema elétrico.

Cada procedimento é composto de um conjunto de ações que devem ser realizadas pelo operador do sistema (OPS) ou pelo operador da instalação (OPI). Ações, por sua vez, podem ser precedidas ou sucedidas de sub-ações (normalmente definidas/seguidas por OPIs). Cada ação tem um responsável por sua execução ou acompanhamento. Todas as ações definidas nos RTMs podem ser acessadas automaticamente pelo SmartAction e ser

inseridas em planos de recomposição que façam uso de manobras padronizadas.

Os Projetos Arquiteturais das peças de software do Smart Action e o sistema SisRTM têm a maior parte da comunicação entre os elementos feita através de RMI (Remote Method Invocation), sendo usado também um “named pipe” para a comunicação entre componentes internos do SmartAlarms-Gateway e uma API específica para acesso ao SAGE por parte do SmartAlarms-Gateway. Em ambos os casos, as orientações obtidas em [9] e [10] foram, sempre que aplicáveis, seguidas.

V. O SISTEMA INTELIGENTE DE APOIO À OPERAÇÃO E RECOMPOSIÇÃO DA CHESF

A funcionalidade básica do sistema, qual seja: apoio à execução de procedimentos de recomposição do sistema elétrico na ocorrência de contingências, baseado em diagnósticos emitidos pelo SmartAlarms e planos de recomposição gerados a partir de documentos operacionais (Instruções Operacionais – IOs, Instruções Normativas – INs e Roteiros de Manobra – RTMs).

Para cada ocorrência no sistema elétrico (desarme de uma linha de transmissão, por exemplo), uma linha de execução é criada para executar o plano de recomposição relacionado com a ocorrência. Múltiplas ocorrências podem ser tratadas simultaneamente, uma vez que cada plano é executado em uma linha de execução independente.

A seguir, cada passo do processo de funcionamento é detalhado.

O *SmartAction* entra no ar com um conjunto de planos de recomposição (um para cada tipo de ocorrência possível (determinada pelo *SmartAlarms* [8]) e para cada equipamento/subestação; pode-se dizer que os planos são módulos de tratamento de ocorrência engatilhados esperando a ocorrência de algum evento para entrarem em ação.

Quando uma ocorrência é detectada pelo *Smart Alarms*, este gera um diagnóstico. Os diagnósticos emitidos pelo *Smart Alarms* contêm, além de sua identificação, a informação do equipamento que originou o diagnóstico, a data e hora de sua ocorrência e, quando possível, se o equipamento está impedido ou não. Ao receber um diagnóstico, o sistema identifica se o mesmo faz parte de alguma macro de diagnóstico¹, se sim, passa a utilizar a macro a que o diagnóstico pertence. Estas são as informações repassadas para o *SmartAction* que dispara a execução de um plano específico para o tratamento daquela ocorrência.

Quando um plano é executado, o *SmartAction* interage com o operador, conduzindo-o na recomposição e auditando as ações por ele

executadas. Ao final, o sistema verifica e informa ao operador o sucesso ou o insucesso da recomposição.

A. Auditoria

A auditoria é uma das funções mais úteis na interação com o operador, pois é ela que apresenta qual das ações sugeridas já foram realizadas. A auditoria é feita de forma automática através da investigação das informações contidas nas fontes relacionadas com a ação a ser executada pelo operador. A auditoria de uma ação se constitui de uma expressão booleana.

Criamos uma gramática para a linguagem de expressões de auditoria assim como para a linguagem de planos. Podemos fazer referência a equipamentos na linguagem de auditoria de forma específica e de forma genérica.

Nas referências de equipamentos têm-se os predicados que servem de operadores booleanos sobre os equipamentos. Exemplo: aberto, utilizado para um disjuntor aberto, quer dizer que para que a expressão seja avaliada como verdadeira o disjuntor deve estar aberto. Usualmente esta expressão de auditoria deve estar associada à ação “Fechar disjuntor”.

Uma palavra-chave pode ser utilizada para agregar vários equipamentos em uma mesma expressão: a palavra todo, em “todo disjuntor aberto”, por exemplo, referencia todos os disjuntores existentes num certo contexto.

Cada expressão de auditoria pode ser concatenada umas com as outras para formar uma expressão maior utilizando os operadores booleanos ‘e’ e ‘ou’. Assim, para cada expressão booleana como um todo, podemos extrair uma lista de sub-expressões e apresentá-las ao operador sobre o que deve fazer em cada ação.

VI. APLICABILIDADE

Considerando que o universo de equipamentos da CHESF se reduzisse a linhas de transmissão de 230 kV, o número de linhas de transmissão é da ordem de uma centena de linhas. Na base de conhecimento que foi desenvolvida, temos 6 planos para recomposição de linhas de transmissão 230 kV. Cada plano trata o defeito de cada equipamento de forma genérica. Se não tivéssemos os planos genéricos, só para atender às recomposições de linhas de transmissão de 230 kV seriam necessários $6 * 100 = 600$ planos específicos a cada linha de transmissão.

Então, o uso de planos genéricos para atender ao problema de recomposição da CHESF diminui o esforço de construir uma nova base de conhecimento e/ou realizar alterações na mesma.

No conjunto de todas as recomposições possíveis podem existir recomposições para as quais não temos quaisquer plano para tratar. Assim, o universo de soluções de recomposição desta técnica

¹ Macro de diagnóstico é um conceito utilizado para representar vários diagnósticos de natureza semelhante.

está limitado às recomposições que tiverem planos previamente estabelecidos.

Dentro do conjunto possível de tipos de recomposições, classificamos ainda dois sub-conjuntos: o conjunto de recomposições onde a técnica é aplicável e outro conjunto onde a técnica é não-aplicável.

Citamos dois pontos relevantes nesta classificação quanto à aplicabilidade da técnica:

Sincronia entre recomposições distintas – Dizemos que uma recomposição é síncrona ou dependente quando o prosseguimento dela depende do andamento de uma outra recomposição, ou seja, para que uma recomposição chegue ao fim é preciso que uma outra, ou mais, recomposições cheguem até os pontos de interdependência entre elas. Por outro lado, dizemos que uma recomposição é dita ser assíncrona ou independente quando nenhuma outra recomposição depender do prosseguimento da primeira. Nesta técnica, temos a possibilidade de ter recomposições assíncronas ou independentes.

Atomicidade do diagnóstico de ativação – A atomicidade de um diagnóstico diz respeito a quão atômico ele é. Um diagnóstico atômico é um diagnóstico sobre um único equipamento. Um diagnóstico não atômico é um diagnóstico sobre mais de um equipamento [8]. Cada plano é ativado por um diagnóstico e todos os diagnósticos tratáveis pela técnica são atômicos.

Então, o universo de recomposições onde a técnica é aplicável é onde as recomposições são assíncronas ou independentes e as falhas são causa de diagnósticos atômicos; e não-aplicável onde as recomposições são síncronas ou dependentes e as falhas são causa de diagnósticos não-atômicos.

VII. DESENVOLVIMENTO

O SmartAction foi desenvolvido no modelo orientado a objetos, na linguagem de programação Java por ser multi-thread, ter uma API (Biblioteca) bastante completa e permitir o desenvolvimento de aplicações WEB, podendo ser executado em qualquer plataforma (atualmente, utilizamos a plataforma Linux).

Três grandes gerenciadores podem ser encontrados:

- Gerenciador de planos: responsável pelo carregamento e execução de planos.
- Gerenciador de roteiros de manobra: responsável pelo interfaceamento entre o Sistema de Roteiro de Manobra SisRTM e o Smart Action. Utilizando esse gerenciador, roteiros de manobras podem ser convertidos em planos de recomposição.
- Gerenciador de mensagens de erro: utilizado para padronizar as mensagens de erro do sistema.

Além dos gerenciadores, existe um filtro, que provê as operações necessárias para a filtragem das ações de roteiros de manobras. Através dele, apenas ações pré-determinadas (filtradas) serão executadas pelo *SmartAction*.

Todos os planos do sistema encontram-se no formato XML. Esse pacote tem por finalidade manipular esses arquivos tanto na leitura como na escrita.

A interface gráfica foi desenvolvida utilizando o framework GWT (*Google Web Toolkit*), que permite o desenvolvimento de aplicações Web altamente interativas.

A. Interface com o Usuário

A Interface Homem-Máquina é organizada em duas grandes áreas (veja Figura 2). Na primeira, pode-se selecionar o plano de recomposição; enquanto que na segunda, o processamento do plano de recomposição propriamente dito.

Seleção de Planos:

Na área de seleção de planos, quatro abas podem ser encontradas; são elas:

- Ativos: planos que foram disparados pelo SmartAction, mas ainda não começaram a ser executados pelo operador;
- Em Execução: planos que já se encontram sendo executados pelo operador;
- Pendentes: planos cuja execução será retomada no futuro;
- Histórico: planos que já foram concluídos.

Antes de detalharmos a área de seleção de planos, abordaremos o ciclo de vida de um plano (as palavras em negrito indicam os possíveis estados que um plano pode se encontrar).

Diante de um problema no sistema elétrico, um Plano de Recomposição é ativado pelo SmartAction (nesse momento o Plano encontra-se **Ativo**). Quando alguma tarefa do Plano é realizada pelo operador do sistema elétrico, o Plano entra em **Execução**. Quando o operador decidir que a recomposição do Plano só deve ser retomada no futuro, o operador poderá colocá-lo como **Pendente** (o Plano só voltará a entrar em Execução, diante de uma decisão do operador). Quando o Plano finaliza, ele entra no **Histórico**.

Para facilitar a localização dos planos, a área de seleção está organizada em quatro abas, cada uma para cada possível estado que um plano pode assumir que são: Ativo, Execução, Pendente e Histórico.

Cada aba possui uma cor, e que, quando selecionada, a área onde os planos podem ser escolhidos possui uma cor semelhante à da aba selecionada.

Outro ponto importante é a existência dos botões “Abortar Plano” e “Doc. Fonte” localizados logo abaixo do título dos planos na área de seleção (veja a Figura 2). O botão “Doc. Fonte” exibe a IO correspondente ao Plano de Recomposição, enquanto que o botão “Abortar Plano” é responsável por abortar um plano.

1. Processamento de Planos

Na área de execução dos planos, o operador pode analisar mais detalhadamente as ações que devem ser realizadas por cada plano.

A área de processamento de planos pode ser dividida em duas partes. A primeira apresenta o título do plano e status do mesmo, enquanto que a segunda parte apresenta as etapas dos planos.

2. Área de título e status de um plano.

O título e o status do plano podem ser encontrados na parte superior da área de processamento. O status do plano pode ser: executando, terminado com sucesso ou terminado com aborto.

3. Área de etapas de um plano.

Como já foi dito anteriormente, um plano consiste de um conjunto de tarefas que devem ser realizadas para recompor um problema no Sistema Elétrico. Uma tarefa é representada na interface do SmartAction como uma etapa. Uma etapa, por sua vez, pode ser assim classificada:

Etapa Texto: consiste de um texto informando alguma tarefa a ser realizada pelo operador;

Etapa Pergunta / Resposta: consiste de uma pergunta de múltipla escolha que é feita ao operador;

Etapa Comando: semelhante à etapa texto, entretanto o sistema SmartAction realiza uma operação de auditoria que detecta automaticamente, com base nas informações do sistema supervisorio, quando a etapa foi realizada pelo operador.

Quando uma etapa é apresentada ao operador, ela será visualizada na cor azul; quando ela já tiver sido concluída, será visualizada na cor cinza e o texto na cor branca; já se tiver sido cancelada, o texto será apresentado na cor vermelha.

Quando um plano possui uma Etapa Comando, uma auditoria é realizada sobre essa etapa. Em outras palavras, quando a tarefa descrita na etapa ainda não foi realizada, visualmente ela será indicada na cor vermelha, por outro lado, quando ela for realizada, o SmartAction a indicará na cor verde.

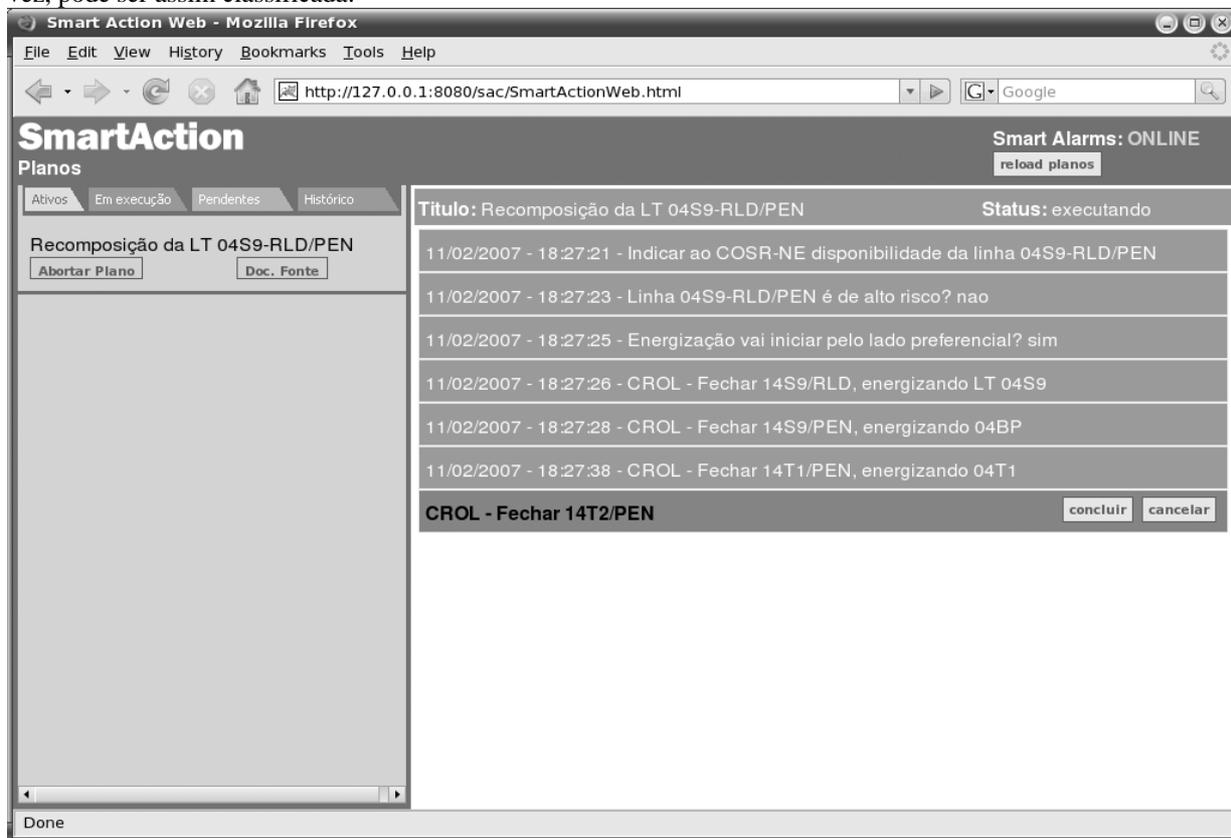


Figura 2. Interface do SmartAction com plano de recomposição de uma Linha de Transmissão

VIII. CONCLUSÃO

Este artigo apresenta a técnica proposta para solução do problema de recomposição na CHESF. A técnica utiliza um modelo de recomposição inspirado a partir do próprio sistema e de como ele é tratado pela operação durante as recomposições. Planos genéricos foram criadas para atender às

diversas falhas existentes sem depender especificamente de cada equipamento.

O Sistema Inteligente para apoio à operação e recomposição do sistema elétrico da CHESF é um sistema de raciocínio baseado em planos, como projeto de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) encontra-se concluído desde Fevereiro de 2007. Atualmente instalado no Centro Regional de Operação de Sistema Leste, em Recife.

A utilização desta ferramenta fora do tempo real além de não introduzir ruídos no sistema de supervisão e controle permite uma crítica antecipada evitando custos de desenvolvimento desnecessários, assim sendo após esta etapa de avaliação tendo os operadores de sistema como usuários, pretendemos a partir do quarto quadrimestre deste ano colocá-lo para uso definitivo em tempo real.

A criação do Editor de planos para manutenção dos planos do Sistema Inteligente permitirá a utilização prática do sistema no dia a dia.

Finalmente, durante os testes, verificou-se que o tempo que o Sistema Inteligente leva para analisar a situação e sugerir um procedimento para o usuário foi totalmente satisfatório, viabilizando sua utilização pelos operadores.

Como futuras atividades previstas para o desenvolvimento do Sistema Inteligente pretende-se expandir a base de conhecimento para o restante do sistema elétrico de CHESF implantando-o nos 6 (seis) Centros de Operação de Sistema.

IX. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. ISLAM and N. CHOWDHURY. A case-based expert system for power system restoration. In IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, May 1999.
- [2] A. BRETAS and A. G. PHADKE. Artificial neural networks in power system restoration. In IEEE Transactions on Power Delivery, volume 18, number 4, October 2003.
- [3] N. A. FOUNTAS, N. D. HATZIARGYRIOU, and K. P. VALAVANIS. Hierarchical time-extended Petri nets as a generic tool for power system restoration. In IEEE Transactions on Power Systems, volume 12, number 2, pages 837–843, May 1997.
- [4] T. SAKAGUSHI and K. MATSUMOTO. Development of a knowledge based system for power system restoration. In IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, volume 102, number 2, pages 320–326, February 1983.
- [5] B. HEILBRONN et. al. A survey of expert system for power system restoration. In International Conference on Large High Voltage Electric Systems (CIGRE), Task Force 38.06.04, Electra, number 150, pages 87–105, October 1993.
- [6] K. IBIELER e H. GLAVITSCH. Evaluation of Different AI-Methods for Fault Diagnosis in Power Systems. Em International Conference on Intelligent System Application to Power Systems, volume 1, Páginas 209–216, maio 1999.
- [7] T. BRUNNER, W. NEJDL, H. SCHWARZJIRG, e M. STURM. Online Expert System for Power System Diagnosis and Restoration. Em Intelligent Systems Engineering, volume 2, Número 1, Páginas 15–24, 1993.
- [8] A.S.ARAÚJO, M.S.CAVALCANTE, J.P.SAUVÉ, M.C. SAMPAIO, J.C.A. FIGUEIREDO, E.R. NETO, W. CIRNE, A. DUARTE. Smart Alarmes – tratamento inteligente de alarmes para os centros de operação de sistema da Chesf, SNPTEE - Grupo IX, GOP-08, Outubro 2005.
- [9] Gamma, Helm, Johnson e Vlissides; Padrões de Projeto - Soluções Reutilizáveis de Software Orientado a Objeto; Bookman, 2000
- [10] Fowler; Patterns of Enterprise Application Architecture; Addison Wesley, 2003.