



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

Versão 1.0  
XXX.YY  
22 a 25 Novembro de 2009  
Recife - PE

**GRUPO IV**

**GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA - GAT**

**NOVAS FUNÇÕES PARA AVALIAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE PLANOS DE  
RECOMPOSIÇÃO DO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL**

**Flávio Rodrigo de Miranda Alves\***  
CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

**João Alberto Passos Filho**  
CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

**Antônio de Pádua Guarini**  
ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico

**Ricardo Mota Henriques**  
CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

**Lúcia Mariana de Souza**  
ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico

**Edmundo Pinto Neto**  
CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

**RESUMO**

A recomposição de um sistema elétrico de potência após um *black-out* deve ser efetuada rapidamente, o que exige procedimentos de recomposição precisos e detalhados. A ferramenta mais utilizada em estudos de recomposição é o fluxo de potência. A expansão contínua do Sistema Interligado Nacional tem exigido a criação de novos procedimentos de recomposição e a constante reavaliação daqueles já existentes. Este trabalho descreve a incorporação de facilidades para contabilização do tempo estimado de recomposição e utilização de técnicas de otimização ao programa de fluxo de potência utilizado pelo ONS-Operador Nacional do Sistema Elétrico em estudos de recomposição.

**PALAVRAS-CHAVE**

Fluxo de Potência, Otimização, Recomposição

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Após a ocorrência de um *black-out* total ou parcial o fornecimento de energia elétrica deve ser restaurado rapidamente de forma a minimizar a insatisfação do consumidor e os prejuízos advindos da interrupção da produção industrial (1). Para que isto seja possível é necessário dispor de planos de recomposição precisos e detalhados, que incluam o maior número possível de alternativas. A geração destes planos exige a realização de estudos nos quais são utilizadas diversas ferramentas de simulação de sistemas elétricos de potência, em especial fluxo de potência, transitórios eletromecânicos e transitórios eletromagnéticos. Os estudos de fluxo de potência têm por objetivo analisar as condições do sistema nas diversas etapas do processo de recomposição, garantindo a utilização dos equipamentos dentro de seus limites operativos e determinam se a análise de um procedimento de recomposição deve ou não prosseguir ao longo de um determinado corredor. Nos últimos anos, devido à retomada do crescimento econômico, o Sistema Interligado Nacional (SIN) cresceu em tamanho e complexidade de operação, com a implantação de novas unidades geradoras e linhas de transmissão. Estas alterações topológicas e de distribuição de carga e geração exigem a contínua reavaliação dos procedimentos de recomposição existentes e a criação de estratégias de recomposição para novas áreas geoeletricas. Para viabilizar estas duas atividades, com a investigação do maior número possível de alternativas, torna-se necessário reduzir o esforço das equipes de estudo. O CEPEL-Centro de Pesquisas de Energia Elétrica e o ONS-Operador Nacional do Sistema Elétrico estão atentos a estas necessidades e têm trabalhado continuamente para dotar o programa ANAREDE, o principal programa de análise de redes utilizado pelo setor elétrico brasileiro, de facilidades que reduzem significativamente o trabalho do engenheiro durante um estudo de recomposição

(2,3,4). A experiência positiva das equipes de estudos de recomposição com a utilização intensiva das facilidades desenvolvidas nos últimos anos (5) tem gerado a demanda pela implementação de funcionalidades adicionais. Este trabalho apresenta os resultados iniciais de duas destas novas funcionalidades: a contabilização do tempo estimado de recomposição e a utilização de funções de otimização integradas ao programa ANAREDE.

## 2.0 - TEMPO ESTIMADO DE RECOMPOSIÇÃO

O fator que mais influencia a reação negativa da sociedade a um eventual *black-out* é o tempo necessário para o restabelecimento do suprimento de energia elétrica. Além da evidente privação dos itens de conforto que dependem de energia elétrica para seu funcionamento, a demora em reconduzir o sistema elétrico às condições normais de operação pode acarretar prejuízos econômicos decorrentes, por exemplo, da perda de mercadorias que dependem de refrigeração para a sua conservação ou da interrupção prolongada de processos produtivos eletrointensivos. Assim, reduzir o tempo necessário para a plena recomposição do sistema é uma preocupação presente desde os primeiros estágios de concepção de estratégias de recomposição. Até recentemente, a única forma de estimar o tempo necessário para o restabelecimento do suprimento de energia elétrica era contabilizar manualmente os tempos médios das operações de chaveamento necessárias para a execução de um procedimento de recomposição. Em (6) o autor considera o aspecto temporal e apresenta um método baseado em PERT/CPM para a avaliação de planos de recomposição já existentes, sem, no entanto, assegurar a viabilidade física dos mesmos. Neste trabalho estamos interessados em permitir que o engenheiro possa, simultaneamente, garantir a viabilidade da estratégia de recomposição, em termos de regime permanente, e acompanhar o efeito das alternativas estudadas sobre o tempo estimado de recomposição. Os tempos de chaveamento utilizados não pretendem traduzir a realidade de campo ou estabelecer uma estimativa do tempo de recomposição para os corredores utilizados como exemplo. A única intenção dos autores é exemplificar a funcionalidade implementada e demonstrar a potencialidade do programa. A utilização de tempos de chaveamento reais será objeto de trabalhos futuros.

Nas próximas seções, são tecidas algumas considerações sobre os conceitos que deram suporte ao desenvolvimento do algoritmo para contabilização do tempo estimado de recomposição a partir dos tempos estimados das operações de chaveamento.

### 2.1 Tempos de chaveamento

O primeiro passo para permitir a contabilização do tempo estimado de recomposição foi a inclusão do tempo de chaveamento no bloco de dados de trecho de corredor de recomposição (7), como pode ser visto na Figura 1, abaixo. O tempo de chaveamento é fornecido em minutos e corresponde ao somatório do tempo de preparação do equipamento, da duração da operação de chaveamento e do tempo de estabilização do sistema. O instante da conclusão de cada chaveamento, tomando como instante inicial a primeira ação de recomposição descrita nos dados, será calculado pelo programa a partir dos tempos de chaveamento fornecidos pelo usuário para cada manobra. O campo correspondente ao tempo de chaveamento está destacado na Figura 1. A utilização do tempo de chaveamento em segundos está sendo cogitada pelas equipes do CEPREL e do ONS.

```

DAVR
(No) O (          Identificacao          )
      1 FECHAMENTO DE ANEL CBRAVA/SMESA
(Tip O (Nfr) (Nto) Nc (Ext) (G) E Uop (Tm)
CIRC   3965   230   1           L           1
BARR   230           L           1
FTRE
99999

```

Figura 1 – Bloco de Dados de Trecho de Corredor de Recomposição

Para não sobrecarregar o usuário com a necessidade de informar o tempo de chaveamento de cada manobra descrita nos dados, foram introduzidos valores *default* para os diversos equipamentos. Estes valores estão expressos na Tabela 1.

São necessários alguns comentários sobre os tempos relacionados na Tabela 1. O tempo de chaveamento *default* de reatores de linha é 0, pois assume-se que os reatores de linha estão sempre ou previamente conectados. De qualquer forma, caso um reator de linha manobrável seja chaveado em outro momento, o usuário poderá especificar um valor para o tempo de chaveamento no campo específico.

O tempo de chaveamento *default* de barra CA pode assumir dois valores distintos. O valor de 1 minuto corresponde à simples energização de uma barra. No caso de ajuste do valor de tensão controlada local ou remota, o valor *default* é de 3 minutos. Finalmente, o tempo de chaveamento associado a geradores é de 3 minutos e corresponde ao tempo estimado para sincronizar uma unidade geradora.

Tabela 1 – Tempos de chaveamento *default*

Equipamento	Tempo de Chaveamento (minutos)
Barra CA	1 (3)
Linha de Transmissão	1
Transformador	1
Reator de Linha	0
Reator de Barra	1
Carga	1
Gerador	3

## 2.2 Algoritmo

Em condições normais de operação, o SIN forma uma única ilha elétrica. Em algumas situações especiais de operação, esta ilha pode se subdividir. Durante um processo de recomposição, envolvendo fases fluente e coordenada, as condições de operação são bastante distintas. Diversas ilhas elétricas são criadas, se expandem e, posteriormente, se aglutinam de forma a reconduzir o SIN à sua condição normal de operação. Estas ilhas correspondem às áreas geoeletricas sob a influência de uma usina de auto-restabelecimento capaz de gerar a potência reativa necessária para, em conjunto com o suporte de potência reativa provido pelos equipamentos do sistema de transmissão, permitir a energização em vazio das linhas de transmissão até que se inicie o processo de tomada de carga. A contabilização do tempo estimado de recomposição precisa considerar esta dinâmica de criação, expansão e aglutinação de ilhas de recomposição.

O algoritmo desenvolvido para a contabilização do tempo estimado de recomposição baseia-se em três passos principais. O primeiro passo é a criação da ilha de recomposição. Uma ilha de recomposição é criada quando é executada a primeira operação de chaveamento associada direta ou indiretamente a uma barra CA ainda não associada a uma ilha de recomposição. Quando o programa detecta esta situação, uma nova ilha de recomposição é criada e, através de um procedimento recursivo, todas as barras que têm conectividade com a primeira barra são incluídas nesta ilha. Este procedimento permite a detecção e a correta identificação de uma ilha de recomposição, mesmo quando o processo de recomposição é iniciado por uma configuração mínima de rede em torno de uma usina de auto-restabelecimento. É importante observar que a conectividade é constatada não pela existência de uma linha de transmissão ou transformador, mas pelo fato destes equipamentos de transmissão estarem com estado operativo LIGADO (2). Na Figura 2, por exemplo, ao ser iniciada a recomposição, com a energização do circuito C-D-1, será criada uma ilha de recomposição a partir da barra C. O procedimento recursivo descrito anteriormente é inicializado, tendo a barra C como argumento. Os circuitos partindo de C são investigados, buscando circuitos ligados. O circuito B-C-1 é identificado e o procedimento é chamado recursivamente, tendo agora a barra B como argumento, e assim por diante. Ao encerrar a última instância do procedimento recursivo, a ilha de recomposição estará perfeitamente identificada, incluindo as barras A, B e C.

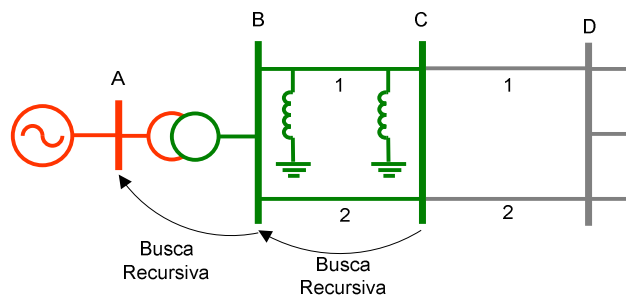


Figura 2 – Criação e identificação de barras de uma ilha de recomposição

O segundo passo ocorre quando são realizadas operações de chaveamento que envolvem a energização de equipamentos shunt ou equipamentos série que, por sua vez, energizam barras ainda não associadas a uma ilha de recomposição. Estas operações têm como efeito o simples incremento do tempo estimado de recomposição associado à ilha de recomposição em expansão. O procedimento recursivo descrito no parágrafo anterior é

novamente acionado, tendo como argumento a nova barra a ser incorporada à ilha de recomposição, se for o caso. Se existirem outras barras conectadas à nova barra através de linhas de transmissão ou transformadores com estado operativo LIGADO (2), estas barras também serão acrescentadas à ilha de recomposição em expansão. Na Figura 3, podemos observar a situação em que o reator R conectado à barra Y será incorporado à ilha de recomposição (à esquerda) e a situação em que o religamento do circuito X-Y implicará não apenas na incorporação deste equipamento, mas de toda a rede com estado operativo LIGADO conectada à barra Y (à direita). As linhas do bloco de dados de corredor de recomposição que gerarão as duas situações também são exemplificadas abaixo de cada diagrama unifilar.

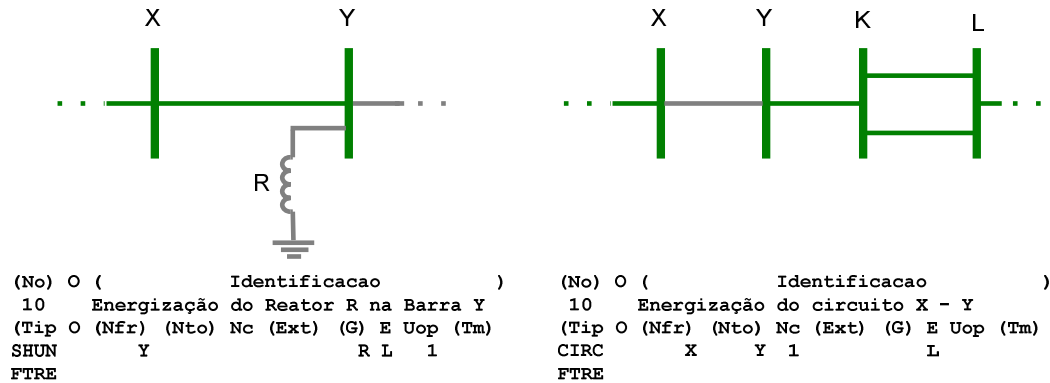


Figura 3 – Expansão de uma ilha de recomposição por incorporação de equipamento shunt ou série

O terceiro passo ocorre quando é fechado um paralelo entre duas ilhas de recomposição em expansão. Neste caso, os tempos estimados de recomposição das duas ilhas envolvidas são comparados, a ilha de recomposição com o maior tempo acumulado absorve a ilha de recomposição com menor tempo acumulado e esta última é eliminada. Na Figura 4, ao ser religado o circuito C-Y, a ilha de recomposição 1 (barra A) absorverá a ilha de recomposição 2 (barra Y), uma vez que  $T_1 > T_2$ . O tempo estimado de recomposição passará a ser o da ilha de recomposição 1 acrescido do tempo de chaveamento da linha de transmissão C-Y.

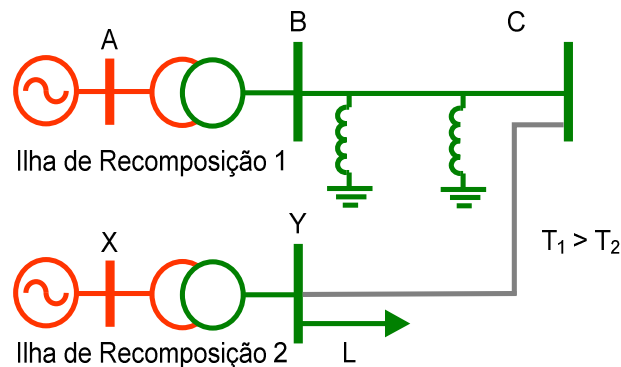


Figura 4 – Fechamento de Paralelo

Um caso particular do segundo passo é o fechamento de anel. Neste caso, ocorre a energização de um circuito que interliga duas barras, já energizadas, pertencentes à mesma ilha de recomposição. Os únicos efeitos desta operação são a expansão da ilha de recomposição e o aumento do tempo estimado de recomposição.

### 2.3 Caso-exemplo e Resultados

Para exemplificar os resultados obtidos pelo programa, foi utilizado um caso da região Centro-Oeste. Este caso se inicia com a recomposição fluente das áreas de Cana Brava, Serra da Mesa e Itumbiara. Concluída a fase fluente, é iniciada a fase coordenada para a região Centro-Oeste, de modo a atender aos estados do Mato Grosso e Goiás e ao Distrito Federal (Brasília). Nesta fase, ocorre o fechamento do paralelo entre as Áreas Serra da Mesa e Cana Brava, no 230 kV da SE Serra na Mesa. A partir deste fechamento é feita a energização da LT 230 kV Barro Alto / Niquelândia, a fim de fechar o anel na SE Niquelândia. Após a energização da LT 345 kV Bandeirantes / Samambaia, utilizando o reator conectado na SE Bandeirantes, é fechado o paralelo entre a Área Itumbiara e as

Áreas Serra da Mesa e Cana Brava interligadas, no 345 kV da SE Samambaia. A Figura 5 mostra um trecho do relatório de avaliação de corredor de recomposição gerado pelo programa, contendo o fechamento do paralelo entre as áreas Cana Brava e Serra da Mesa. Considerando os tempos default descritos anteriormente, o tempo estimado de recomposição para a área Cana Brava era de 27 minutos e para a Área Serra da Mesa era de 41 minutos. Após o fechamento do paralelo, a área de recomposição correspondente a Cana Brava foi absorvida pela área de recomposição correspondente a Serra da Mesa e o tempo estimado de recomposição foi acrescido do tempo de chaveamento do link de baixa impedância 230-S.MESA---230 – 9230-S.MESA---230. A utilização do link de baixa impedância tem como objetivo permitir a observação das condições dos módulos e ângulos das tensões imediatamente antes do fechamento do paralelo.

```
-----
TRECHO: 301 NOME: PASSO 1

Circuitos manobrados:
      230 S.MESA---230  9230 S.MESA---230  1  0.999  0.900  1.100  Ok!

Fluxo de Potencia: 10 iteracoes - Caso Convergente      FECHA ANEL OU PARALELO
Equipamentos Manobrados no Trecho
Tipo      Barra Nome      Barra Nome      Nc Extr.  NGr S  NUn  NUo  Tmn  Tempo
Circuito  9230 S.MESA---230  230 S.MESA---230  1          1          1  00:42
Barra CA  3964 CBRAVA---2GR          1          1  00:43
-----
```

Figura 5 – Relatório de Avaliação de Corredor de Recomposição - Fechamento de Paralelo

### 3.0 - OTIMIZAÇÃO

O problema de recomposição é, a rigor, um problema de otimização inteiro/não-linear, multiobjetivo, multiestágio, de grande porte, combinatorial, sujeito a incertezas e a inúmeras restrições não facilmente expressáveis em termos numéricos (8). Deseja-se recompor o máximo percentual da carga total, sincronizando um número mínimo de unidades geradoras, utilizando o mínimo suporte de potência reativa do sistema de transmissão, no menor tempo possível e com um número mínimo de operações de chaveamento. Apesar disso, a rotina de estudos de recomposição do SIN não utiliza qualquer ferramenta de otimização, restringindo-se, como já foi dito anteriormente, à utilização de ferramentas de fluxo de potência, transitórios eletromecânicos e transitórios eletromagnéticos. A introdução de uma ferramenta de otimização na sistemática de estudos de recomposição certamente trará benefícios, desde que isso não implique no aumento do tempo necessário para a realização destes estudos. Neste sentido, foi concebida a integração de algumas funções objetivo, restrições e controles do FLUPOT (9), programa de fluxo de potência ótimo desenvolvido pelo CEPÉL, à interface gráfica do ANAREDE.

O programa FLUPOT tem por objetivo calcular um estado de uma rede CA em regime permanente que otimiza uma função-objetivo no caso base e satisfaz a uma série de restrições físicas e operacionais tanto no caso base quanto para as contingências. Neste aspecto ele é um programa de Fluxo de Potência Ótimo (FPO) com Restrições de Segurança. O programa dispõe de uma vasta gama de funções-objetivo, restrições (operativas e funcionais) e controles. No entanto, considerando especificamente o problema de recomposição, foram selecionadas para este primeiro esforço de integração as funções-objetivo de mínimo desvio de potência ativa e mínimo corte de carga. Além disso, foi prevista a utilização da minimização da abertura angular entre duas barras para fechamento de anel como restrição adicional ao problema.

Nos próximos itens é feito um breve descritivo destas funções-objetivo e da restrição angular para fechamento de anéis. Também são apresentados alguns resultados preliminares que foram obtidos neste estudo. Destaca-se, por outro lado, que todas as demais funcionalidades do programa FLUPOT (funções-objetivo, restrições e controles) serão integradas ao programa ANAREDE após o terminimo desta primeira fase, permitindo a utilização e avaliação de outras filosofias de estudo.

#### 3.1 Mínimo Desvio de Potência Ativa

Esta função-objetivo calcula novos valores de geração de potência ativa de forma a minimizar o somatório dos quadrados dos desvios em relação aos valores de geração de potência ativa fornecidos nos dados da rede elétrica. Especificamente para os estudos de recomposição, esta função-objetivo permite ao engenheiro determinar ações corretivas, quando necessário, modificando de forma mínima o ponto de operação corrente. Isto corresponde a energizar um número mínimo de máquinas para atender às necessidades de suporte de potência reativa para recomposição do corredor, minimizando o tempo total necessário para o restabelecimento do suprimento de energia elétrica.

### 3.2 Mínimo Corte de Carga

Esta função-objetivo minimiza o custo do corte de carga de forma a corrigir violações operativas como sobrecargas em circuitos, problemas de tensão, diferenças angulares, etc. Com a especificação desta função-objetivo, o programa define automaticamente as variáveis que representam os fatores de rejeição de carga nas barras. O corte de carga pode ser especificado para todas as barras ou para um subconjunto de barras da rede e é feito de forma a preservar o fator de potência. Além disso, ele pode ser aplicado independentemente nas barras candidatas ou de tal forma que o mesmo percentual de carga seja cortado nestas barras. O custo de corte de carga pode ser diferenciado por barra e é considerado como uma função linear passando pela origem. No caso de estudos de recomposição, pretende-se utilizar esta função-objetivo para maximizar a carga recomposta a cada trecho do corredor de recomposição.

### 3.3 Restrição Angular para Fechamento de Anel

Limites máximos de defasagem angular devem ser observados no fechamento de anel, de forma a não provocar danos em equipamentos. Durante o processo de recomposição ocorre, ocasionalmente, uma diferença excessiva entre os ângulos das tensões dos pólos abertos de disjuntores em que ocorrerá fechamento de anel. Fechar um anel com grande diferença angular entre as tensões pode causar torques elétricos transitórios excessivos no eixo dos geradores, trazendo danos permanentes aos mesmos (10,11). Assim, é importante assegurar que esta restrição de abertura angular seja observada desde a fase de estudos de regime permanente para definição de estratégias de recomposição.

No FLUPOT este problema é tratado de maneira rigorosa. O limite máximo para a diferença angular entre duas barras é incluído no problema de otimização através da inclusão de restrições funcionais adicionais ao problema.

### 3.4 Caso-Exemplo e Resultados

O caso-exemplo utilizado para demonstrar o emprego das funções de otimização em um estudo de recomposição é o mesmo já descrito no item 2.3. Os estudos preliminares utilizando a integração dos programas ANAREDE e FLUPOT foram realizados com o objetivo de avaliar o fechamento do circuito entre as barras 229 (B.Alto---230) e 787 (Niquel---230), que representa um fechamento de anel. Foi adotada como sendo 5° a maior abertura angular admitida nos pólos dos disjuntores. Para permitir a observação da abertura angular dos fasores de tensão nos polos dos disjuntores, foi criada a barra intermediária 9787 no lado da barra 787. A diferença angular entre os fasores de tensão destas barras observada no trecho imediatamente anterior ao fechamento de anel, no caso sem otimização foi de 7,5°. Utilizando o diálogo de dados que pode ser visto na Figura 6, foi introduzido o limite de abertura angular de 5°.

De	Para	Diferença Angular
787	9787	5.0

Figura 6 – Diálogo de Dados de Diferença Angular para Religamento

Em seguida, foi realizada a otimização do ponto de operação correspondente ao instante anterior ao fechamento de anel, considerando as funções de mínimo corte de carga e mínimo desvio de potência ativa. Os resultados obtidos com o programa FLUPOT para as tensões das barras 229, 787 e 9787 podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados das tensões e ângulos para o fechamento do anel

Número da Barra	Estratégia de Otimização		
	Caso Original (s/ Otim.)	Mínimo Corte	Mínimo Desvio
229	0,996∠-14,7° p.u.	1,043∠-11,7° p.u.	1,043∠-15,1° p.u.
787	0,991∠-7,2° p.u.	0,973∠-6,8° p.u.	0,988∠-10,2° p.u.
9787	1,002∠-14,7° p.u.	1,049∠-11,8° p.u.	1,050∠-15,2° p.u.
<i>Diferença Angular</i>	7,5°	5°	5°

As Tabelas 3 e 4 mostram as ações de controles sugeridas pelo FLUPOT para as funções-objetivo de mínimo corte de carga e mínimo desvio de potência ativa, respectivamente.

Tabela 3 – Ações de controle sugeridas pela função-objetivo mínimo corte de carga

Ação de Controle	Número da Barra	Valor Inicial	Valor Final
Alteração da geração ativa da barra	36	258,3 MW	241,1 MW
Alteração da Tensão Terminal	36	0,953 p.u.	0,999 p.u.
Alteração da Tensão Terminal	3964	1,000 p.u.	0,903 p.u.
Corte de Carga (fp constante)	2980	30 MW	13,2 MW

Tabela 4 – Ações de controle sugeridas pela função-objetivo mínimo desvio de potência ativa

Ação de Controle	Número da Barra	Valor Inicial	Valor Final
Alteração da geração ativa da barra	36	258,3 MW	377,2 MW
Alteração da geração ativa da barra	3964	119,1 MW	0,2 MW
Alteração da Tensão Terminal	36	0,953 p.u.	1,024 p.u.
Alteração da Tensão Terminal	3964	1,000 p.u.	0,901 p.u.

As ações de controle sugeridas pelo FLUPOT foram implementadas no caso base e a função de avaliação de corredor de recomposição foi novamente executada para as fases fluentes das áreas Cana Brava, Serra da Mesa e Itumbiara, seguidas da fase coordenada, com o fechamento dos paralelos e do anel. A abertura angular entre as barras 787 e 9787 se manteve dentro do limite especificado, demonstrando a utilidade de uma ferramenta de otimização durante os estudos de recomposição.

#### 4.0 - TRABALHOS FUTUROS

Entre os desenvolvimentos futuros diretamente ligados às duas novas funcionalidades abordadas neste artigo, podemos citar a possibilidade de explicitar o caminho crítico no momento de um fechamento de paralelo. Desta forma, o engenheiro será informado sobre que área geométrica não pode ter o seu processo de recomposição atrasado para que o restabelecimento do suprimento de energia ocorra no menor tempo possível. Outra facilidade importante, em termos de minimização do esforço de preparação de dados, seria o reconhecimento automático de transformadores de 3 enrolamentos e a possibilidade de referenciar apenas um de seus ramos ao comandar o desligamento ou religamento do transformador. No que se refere à forma de utilização das funções de otimização, pretende-se incluir no processo de avaliação de corredor de recomposição a aplicação de funções-objetivo, controles e restrições selecionados pelo usuário. A otimização de cada trecho avaliado e não apenas a otimização do ponto de operação final certamente dará origem a estratégias de recomposição mais eficientes.

Em relação a facilidades gerais para estudos de recomposição, pretende-se implementar dados de indisponibilidade de equipamentos, a utilização do tempo estimado de recomposição como parcela da função de avaliação de mérito para determinação automática de corredores de recomposição (3) e a disponibilização de novas funções-objetivo, restrições e controles.

#### 5.0 - CONCLUSÃO

O esforço conjunto empreendido pelo ONS e pelo CEPEL para melhoria do ferramental computacional disponível para estudos de recomposição do SIN tem sido muito bem sucedido. As melhorias incorporadas aos programas do CEPEL têm sido bem recebidas pela comunidade de usuários e, via de regra, beneficiam todos os tipos de estudos elétricos nos quais estes programas são utilizados (2). A contabilização do tempo estimado de recomposição é mais uma aplicação de busca em grafos incorporada ao ANAREDE e torna disponível para o usuário esta importante métrica de qualidade de uma estratégia de recomposição desde os estágios iniciais de definição da mesma. A integração de funções de otimização do FLUPOT à interface gráfica do ANAREDE é uma

demanda recorrente da comunidade de usuários e um antigo desejo das equipes de desenvolvimento destes programas. A utilização inicial destas facilidades no contexto de recomposição provou inequivocamente a utilidade desta abordagem e permitiu antever o quanto esta integração beneficiará todos os tipos de estudos, tanto em termos de qualidade dos resultados obtidos quanto em termos de aumento de eficiência.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) GOMES P., CHIPP, J.C., ORDACGI F<sup>o</sup>, J.M., SARDINHA, S.L.A., "Brazilian Defense Plan Against Extreme Contingencies", IX Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning, Rio de Janeiro, RJ, May 2004.
- (2) ALVES, F.R.M., HENRIQUES, R.M., PASSOS F<sup>o</sup>, J.A., GOMES, P., GUARINI, A.P., GUARINI, M.C., GOMES, F.V., Equipando um Programa de Fluxo de Potência para Estudos de Recomposição de Sistemas Elétricos", XVIII SNPTEE, Curitiba, PR, Outubro 2005.
- (3) ALVES, F.R.M., FALCÃO, D.M., GUARINI, A.P., HENRIQUES, R.M., PASSOS F<sup>o</sup>, J.A., "Recomposição Fluente de Sistemas Elétricos de Potência: Uma Abordagem via Grafos e Buscas Heurísticas", XIX SNPTEE, Rio de Janeiro, RJ, Outubro 2007.
- (4) ALVES, F.R.M., GUARINI, A.P., HENRIQUES, R.M., PASSOS F<sup>o</sup>, J.A., MARTINS, N., FALCÃO, D.M., GOMES, P., "Changing Paradigms for Increased Productivity in Power System Restoration Studies: The Brazilian ISO Experience", CIGRÉ Session 2008, Paris, France, August, 2008.
- (5) GUARINI, A.P., SOUZA, L.M., HENRIQUES, R.M., PASSOS F<sup>o</sup>, J.A., ALVES, F.R.M., "Estudos Automatizados de Recomposição do Sistema Interligado Nacional Utilizando Novas Facilidades Computacionais do Programa ANAREDE", XIX SNPTEE, Rio de Janeiro, RJ, Outubro 2007.
- (6) MOTA, A.S., *Metodologia Computacional para Avaliação da Qualidade de Planos de Recomposição de Sistemas de Energia Elétrica*, Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, 2005.
- (7) CEPEL, Relatório Técnico DP/DRE – 5242/2009, "Programa de Análise de Redes – ANAREDE V09.04.04 - Manual do Usuário".
- (8) WU, F.F., MONTICELLI, A.J., "Analytical Tools for Power System Restoration – Conceptual Design", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 3, Issue 1, February, 1988, pp. 10-26.
- (9) CEPEL, Programa de Fluxo de Potência Ótimo / FLUPOT – Manual do Usuário Versão 07.02.00. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2009.
- (10) DELVIZIO, E.S., MARTINS, N., OLIVEIRA, E.J., PEREIRA, J.L.R., FERREIRA, L.C.A., "Recomposição de Sistemas Elétricos – Estudos para Fechamento de Anel Via Método de Pontos Interiores", XVII SNPTEE, Uberlândia, MG, Outubro 2003.
- (11) ADIBI, M., KAFKA, R., "Power System Restoration Issues", IEEE Power Systems Restoration – Methodologies and Implementation. pp 31-36, 2000.