



**XXI SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

GRUPO IV

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

**O PROGRAMA ANAREDE – NOVAS FUNCIONALIDADES DE ANÁLISE DE REDES
PARA MODO DE ESTUDO EM CENTROS DE CONTROLE**

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

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

Luiz Antônio Cordeiro Pereira
CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

João Alberto Passos Filho
UFJF – Universidade Federal de Juiz de Fora

RESUMO

O programa ANAREDE possui uma versão integrada ao Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia (SAGE), o *Energy Management System* (EMS) desenvolvido pelo CEPEL. Esta versão dá suporte à solução de Fluxo de Potência e Análise de Contingências no ambiente de modo de estudo. Novos projetos de centros de controle baseados no SAGE têm exigido funcionalidades adicionais para o modo de estudo. Este trabalho descreve as novas facilidades implementadas no programa ANAREDE para atender a estas exigências.

PALAVRAS-CHAVE

EMS, Modo de Estudo, Fluxo de Potência, Análise de Contingências

1.0 - INTRODUÇÃO

O programa ANAREDE (1), desenvolvido pelo CEPEL, é mais conhecido por sua versão *stand-alone*, largamente utilizada pelo Setor Elétrico Brasileiro (SEB) em estudos de planejamento da operação e da expansão do Sistema Interligado Nacional (SIN). No entanto, existe uma versão menos conhecida do programa, integrada ao Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia (SAGE), o *Energy Management System* (EMS) desenvolvido pelo CEPEL. Esta versão é responsável pela solução de Fluxo de Potência e Análise de Contingências no ambiente de modo de estudo. Novos projetos de implantação do SAGE recentemente contratados ao CEPEL exigiram, entre outras coisas, o fornecimento de um ambiente de modo de estudo dotado de algumas características até então inexistentes na versão atual do SAGE. As modificações das características originais do ANAREDE para atender a estas exigências exigiram alterações profundas na estrutura do programa. Como sempre ocorre neste tipo de desenvolvimento, as modificações introduzidas no programa beneficiarão toda a comunidade de usuários, melhorando a representação do sistema elétrico, tanto em operação normal quanto em contingência, facilitando as atividades de estudo, preparação de dados e análise de resultados. Este trabalho descreve algumas das novas necessidades do modo de estudo do SAGE, as dificuldades envolvidas nas implementações necessárias para atendê-las, as estratégias de desenvolvimento adotadas, a forma final das novas funcionalidades implementadas e alguns casos exemplo.

2.0 - CONVERGÊNCIA INDEPENDENTE POR ILHA ELÉTRICA

A evolução da filosofia de recomposição do SIN, aí incluídos os esquemas de ilhamento responsáveis pela restrição do alcance dos efeitos de uma ocorrência (2), exige que seja possível conhecer o estado pós-contingência de um sistema elétrico de potência. Isto significa que é necessário obter a solução do problema de fluxo de potência de um sistema elétrico composto por diversas ilhas, mesmo que algumas destas ilhas não atendam aos critérios de convergência.

(*) Av. Horácio de Macedo, 354 – sl. 236 – Cidade Universitária – CEP 21.941-911 – Rio de Janeiro, RJ – Brasil
Tel: (+55 21) 2598-6235 – Fax: (+55 21) 2598-6451 – Email: rmh@cepel.br

2.1 Critério de Convergência Original

O critério de convergência originalmente implementado no programa ANAREDE é global, exigindo que os resíduos máximos de potência ativa e reativa por barra CA, o desvio máximo de tensão CC entre iterações por barra CC e os resíduos máximos de potência ativa e reativa por barra de interface estejam abaixo de suas respectivas tolerâncias. Estas tolerâncias são expressas como constantes do programa e possuem valores default típicos, os quais podem ser redefinidos pelo usuário para contornar situações de não-convergência ou divergência do caso em estudo. Se algum destes critérios não é atendido no limite do número máximo de iterações definido para o processo de solução, o caso é considerado não-convergente (3). Como este critério de convergência é global, o caso é considerado não convergente se qualquer das tolerâncias citadas anteriormente for violada, independente da ilha elétrica associada à violação. Além disso, se o módulo da tensão de alguma barra CA estiver acima ou abaixo de certos limites, o caso é considerado divergente. Estes critérios de convergência são expressos pelas inequações abaixo:

$$\begin{aligned} |\Delta_{P_j}| &\leq \xi_P, j = 1, \dots, N_{CA} & |\Delta_{Q_j}| &\leq \xi_Q, j = 1, \dots, N_{CA} \\ |V_{CC_k}^{i+1} - V_{CC_k}^i| &\leq \xi_{VDC}, k = 1, \dots, N_{CC} \\ |\Delta_{P_c}^{CA-CC}| &\leq \xi_P, l = 1, \dots, N_{CV} & |\Delta_{Q_c}^{CA-CC}| &\leq \xi_Q, l = 1, \dots, N_{CV} \end{aligned}$$

onde

$\Delta_{P_j}, \Delta_{Q_j}$ são os resíduos de potência ativa e reativa para a barra CA j

$V_{CC_k}^i$ é a tensão da barra CC k na iteração i

$\Delta_{P_c}^{CA-CC}, \Delta_{Q_c}^{CA-CC}$ são os resíduos máximos de potência ativa e reativa na barra de interface do conversor c

ξ_P, ξ_Q e ξ_{VDC} são as tolerâncias de erro de potência ativa, erro de potência reativa e erro de tensão CC

N_{CA}, N_{CC} e N_{CV} são os números de barras CA, barras CC e conversores CA-CC do caso em estudo

2.2 Novo Critério de Convergência

Para implementar a convergência independente por ilha, foi necessário replicar as variáveis que armazenam os resíduos máximos de potência ativa e reativa, de forma que cada ilha s possua o seu próprio par de resíduos máximos:

$$\begin{aligned} |\Delta_{P_j}^s| &\leq \xi_P, j = 1, \dots, N_{CA_s} & |\Delta_{Q_j}^s| &\leq \xi_Q, j = 1, \dots, N_{CA_s} \end{aligned}$$

onde

$\Delta_{P_j}^s, \Delta_{Q_j}^s$ são os resíduos de potência ativa e reativa para a barra CA j da ilha s

N_{CA_s} é o número de barras CA da ilha s

Com esta modificação, além de casos convergentes, divergentes e não-convergentes, passam a existir casos parcialmente convergentes. Estes casos são aqueles nos quais existe pelo menos uma ilha para a qual os resíduos máximos de potência ativa e reativa estão abaixo de suas respectivas tolerâncias. A convergência independente por ilha está relacionada à seleção pelo usuário da opção de execução CILH. Caso esta opção não seja selecionada, os critérios de convergência continuam a ser aplicados de forma global.

2.3 Exemplo de Aplicação

Para demonstrar o efeito da utilização da convergência independente por ilha elétrica foi utilizado o sistema teste New England, com as linhas de transmissão 2-25, 3-18, 4-14 e 6-11 desligadas (Figura 1). O desligamento destes circuitos gera uma ilha elétrica, para a qual a barra 36 foi escolhida como barra de referência. Para fazer com que as duas ilhas elétricas convergissem em momentos distintos do processo iterativo, a tolerância de erro de potência ativa (ξ_P) foi ajustada para 0.5 MW. O relatório de convergência para o caso exemplo é mostrado na Figura 2, na qual é possível observar a opção de execução CILH listada entre as opções ativadas para a convergência do caso. Finalmente, é importante notar que a ilha elétrica 1 converge antes da ilha elétrica 2.

Figura 1 – Diagrama Unifilar do Sistema New England

CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Eletrica - ANAREDE V09.07.00											
Sistema Teste - New England											
RELATORIO DE CONVERGENCIA											
OPCOES ATIVADAS: QLIM CREM CTAP NEWT RCVG RMON 80CO CILH											
X---X---X---X---X---X---X---X---X---X---X---X---X---X											
ITERACAO						ERRO MAX BARRA		ERRO MAX BARRA		ERRO MAX CONV	
ILHA	FC	P	Q	V	M.O.	MW	NUM.	Mvar	NUM.	TENSAO %	NUM. FM
X---X---X---X---X---X---X---X---X---X---X---X---X---X											
1	1	1			1.0000	356.16	6	89.13	2		
2	1	1			1.0000	338.50	11	95.27	25		
.....											
1	2	2			1.0000	4.48	1	65.01	9		
2	2	2			1.0000	9.10	23	142.35	23		
.....											
1	3	3			1.0000	0.49	8	0.05	8		
2	3	3			1.0000	0.65	15	0.26	23		
.....											
0						0.00	0	0.00	0		
1	3	3	0		1.0000	0.00	9	0.00	9	0.00	0 CONVERGENTE
.....											
0						0.00	0	0.00	0		
2	3	3	0		1.0000	0.00	15	0.00	14	0.00	0 CONVERGENTE

Figura 2 – Convergência Independente por Ilha Elétrica para o sistema teste New England modificado

3.0 - ALOCAÇÃO AUTOMÁTICA DE BARRA DE REFERÊNCIA

O conceito de barra de referência é apenas um artifício matemático para a solução do sistema de equações e inequações algébricas não-lineares que compõem o modelo estático da rede elétrica do problema de fluxo de potência, evitando a indeterminação da solução em relação aos ângulos das tensões nodais (3). Os geradores que de fato respondem pelo controle automático de geração (CAG) de uma área não possuem, em princípio, qualquer relação com este conceito. Isto significa que se pelo menos um dos geradores responsáveis pelo CAG não for especificado como barra de referência, um programa de fluxo de potência, ao simular uma contingência que gere o ilhamento de uma área do sistema, considerará o caso sem solução, mesmo que, na realidade, esta área possua geração suficiente para se manter íntegra após a ocorrência da contingência que gerou o ilhamento.

Os casos gerados para análise no ambiente de estudo de um EMS não possuem redes necessariamente conexas como normalmente ocorre em casos de estudo de planejamento da operação e da expansão do SIN. Casos gerados pelo EMS refletem a situação operativa em um determinado instante do tempo e a configuração correspondente a este instante pode incluir o ilhamento de parte do SIN. Para tornar realista a solução do fluxo de potência sob estas circunstâncias, os novos requisitos para o modo de estudo do SAGE exigem a possibilidade de representar um conjunto de barras de referência preferenciais. Estas barras devem ser convertidas em barras de referência, obedecendo a um critério de prioridade, sempre que for detectado o ilhamento da rede elétrica na qual estão inseridas. Esta conversão se dá uma a uma, de acordo com o algoritmo abaixo (Figura 3), de forma a não restringir o conjunto de soluções possíveis em termos angulares para o modelo estático da rede elétrica.

Para cada ilha elétrica isolada i faça
Para cada barra $slack$ prioritária p faça
Se i permanece isolada e $p \subset i$
Converter p de PV para Vθ

Figura 3 – Algoritmo de conversão de barras *slack* prioritárias

3.1 Exemplo de Aplicação

Para exemplificar esta funcionalidade, consideremos o sistema teste New England original (apenas a barra 39 como barra de referência) e o desligamento das linhas de transmissão 2-25, 3-18, 4-14 e 6-11, não mais no caso base, mas em um caso de contingência. A execução desta contingência gera o ilhamento de grande parte do sistema.

No entanto, se definirmos a barra 36 como barra *slack* prioritária e utilizarmos a opção de execução ASLK, que ativa a alocação automática de barra *slack* em caso de ilhamento, o caso é executado normalmente, com a conversão automática da barra 36 em barra de referência do sistema ilhado no momento da contingência. Esta configuração pós-contingência é exatamente a mesma do sistema New England modificado para o caso base, descrito na seção anterior, como pode ser comprovado pelo relatório de convergência do caso de contingência visto na Figura 4.

CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Eletrica - ANAREDE V09.07.00												
Sistema Teste - New England												
CONTINGENCIA 1 PRIORIDADE 1 ILHAMENTO												
CIRCUITO da Barra		2	BARRA-002		p/ Barra	25	BARRA-025		Circ 1	(DESLIGAR)		
CIRCUITO da Barra		3	BARRA-003		p/ Barra	18	BARRA-018		Circ 1	(DESLIGAR)		
CIRCUITO da Barra		4	BARRA-004		p/ Barra	14	BARRA-014		Circ 1	(DESLIGAR)		
CIRCUITO da Barra		6	BARRA-006		p/ Barra	11	BARRA-011		Circ 1	(DESLIGAR)		
RELATORIO DE CONVERGENCIA												
OPCOES ATIVADAS: QLM CREM CTAP NEWT RCVG RMON 80CO CILH ASLK												
X---X---X---X---X---X---X---X---X---X---X---X---X												
ITERACAO												
ILHA	FC	P	Q	V	M.O.	ERRO MAX MW	BARRA NUM.	ERRO MAX Mvar	BARRA NUM.	ERRO MAX TENSAO %	CONV NUM. FM	
X---X---X---X---X---X---X---X---X---X---X---X---X												
1	1	1	1	1.0000		343.52	6	81.53	2			
2	1	1	1	1.0000		344.34	11	92.85	25			
.....												
1	2	2	2	1.0000		4.47	1	62.07	9			
2	2	2	2	1.0000		8.97	23	141.87	23			
.....												
1	3	3	3	1.0000		0.47	8	0.06	8			
2	3	3	3	1.0000		0.64	15	0.26	23			
.....												
0						0.00	0	0.00	0			
1	3	3	0	1.0000		0.00	9	0.00	9	0.00	0	CONVERGENTE
.....												
0						0.00	0	0.00	0			
2	3	3	0	1.0000		0.00	15	0.00	14	0.00	0	CONVERGENTE

Figura 4 – Alocação Automática de Barra *Slack*

4.0 - PRIORIZAÇÃO DE CONTROLES

O programa ANAREDE foi originalmente projetado para aplicar os mecanismos de controle de tensão e limites de geração de potência reativa de forma gradativa durante o processo de convergência do problema de fluxo de potência. Estes controles incluem controle de limite de geração de potência reativa, controle de tensão de barra local ou remota por variação de excitação, controle remoto de tensão por variação de tap de transformador, controle de tensão por chaveamento de bancos de capacitores / reatores e controle de corrente ou fluxo de potência por variação de fase de transformador defasador.

A aplicação de alguns destes controles está condicionada à redução do desvio máximo de potência reativa abaixo de tolerâncias específicas, definidas por constantes do programa e passíveis de redefinição pelo usuário (1). Outros controles estão representados diretamente na matriz Jacobiana do problema de fluxo de potência e sua aplicação é feita através da inclusão de equações adicionais nesta matriz e pelo controle dos módulos dos desvios relacionados com as grandezas controladas (4).

A nova funcionalidade exigida para o modo de estudo do SAGE consiste na aplicação destes controles de acordo com uma ordem pré-estabelecida, de forma que um controle só passe a atuar depois que a capacidade de atuação de um controle mais prioritário tenha sido esgotada. A ordem de aplicação se refere a classes de controle e não a ocorrências individuais de controle. A solução adotada para a implementação desta funcionalidade foi a inspeção da linha de comando, identificando as opções de controle relacionadas com os controles citados acima e a ordem relativa destas opções na linha de comando. O algoritmo de solução do problema de fluxo de potência também foi modificado para que, a partir desta ordem, os controles sejam aplicados sucessivamente ao caso base. A cada controle adicionado, o programa acrescenta a opção correspondente à lista de opções ativadas do relatório de convergência.

4.1 Exemplo de Aplicação

Para exemplificar esta funcionalidade, foi utilizado um caso do Plano de Ampliação e Reforços do ONS (PAR), relativo ao regime de carga pesada para o período Abril a Setembro de 2013. Foi aplicado um acréscimo de 5% de carga ativa na área de Furnas, de forma a deslocar o ponto de operação. O relatório de convergência obtido

para a solução do fluxo de potência após a alteração do nível de carregamento e considerando a hierarquia de aplicação dos controles QLIM (limite de geração de potência reativa), CTAP (controle de tensão por variação de tap de transformador) e CREM (controle remoto de tensão por variação de excitação), nesta ordem, pode ser visto na Figura 5.

```

Codigo de Execucao: EXLF NEWT QLIM CTAP CREM CPRI
CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Eletrica - ANAREDE V09.07.00
ONS * PAR 12-14 * 12/01/11 * ABR-SET-13-PES *
RELATORIO DE CONVERGENCIA
OPCOES ATIVADAS: QLIM VLIM STEP NEWT RCVG RMON 80CO CELO CPRI
X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X
ITERACAO      ERRO MAX BARRA  ERRO MAX BARRA  ERRO MAX CONV
FC P Q V M.O.      MW      NUM.      Mvar      NUM.      TENSÃO % NUM. FM
X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X
1              4948.00      85      2429.29      86
.....
1 1      1.0000      3.30      86      0.01      7057
2 2      1.0000      1.54      86      0.80      86
.....
ONS * PAR 12-14 * 12/01/11 * ABR-SET-13-PES * + QLIM
OPCOES ATIVADAS: QLIM VLIM CTAP STEP NEWT RCVG RMON 80CO CELO CPRI
X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X
ITERACAO      ERRO MAX BARRA  ERRO MAX BARRA  ERRO MAX CONV
FC P Q V M.O.      MW      NUM.      Mvar      NUM.      TENSÃO % NUM. FM
X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X
1              4948.00      85      2429.29      86
.....
1 1      1.0000      0.15      86      0.08      86
.....
ONS * PAR 12-14 * 12/01/11 * ABR-SET-13-PES * + QLIM + CTAP
RELATORIO DE CONVERGENCIA
OPCOES ATIVADAS: QLIM VLIM CREM CTAP STEP NEWT RCVG RMON 80CO CELO CPRI
X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X
ITERACAO      ERRO MAX BARRA  ERRO MAX BARRA  ERRO MAX CONV
FC P Q V M.O.      MW      NUM.      Mvar      NUM.      TENSÃO % NUM. FM
X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X--X
1              4948.00      85      2429.29      86

```

Figura 5 – Relatório de Convergência com Priorização de Controles para o casos Abr/Set 2013 do PAR

5.0 - ELOS DE CORRENTE CONTÍNUA E INTERCÂMBIO DE POTÊNCIA ATIVA ENTRE ÁREAS

Os algoritmos para contabilização e controle de intercâmbio de potência ativa entre áreas originalmente implementados no programa ANAREDE consideram apenas intercâmbios em *tie-lines*, ou seja, circuitos CA. O controle de intercâmbio de potência ativa entre áreas é aplicado antes de cada iteração do Método de Newton e só ocorre quando o resíduo máximo de potência ativa do sistema é menor que uma dada tolerância. Para que sua aplicação seja viável, é necessário que as barras de geração que respondem pelas variações de intercâmbio, mantendo-o sempre no valor programado, estejam situadas na mesma ilha elétrica das demais barras da mesma área. Em resumo, é possível fazer a contabilização do intercâmbio de potência ativa se existirem barras da mesma área em ilhas elétricas distintas, mas se for necessário utilizar o controle de intercâmbio entre áreas durante a solução do problema de fluxo de potência, barras de uma mesma área devem estar na mesma ilha elétrica. Nos casos de planejamento da operação e da expansão do SIN, o sistema de transmissão de Itaipu é representado, em termos de áreas de intercâmbio conforme a Figura 6.

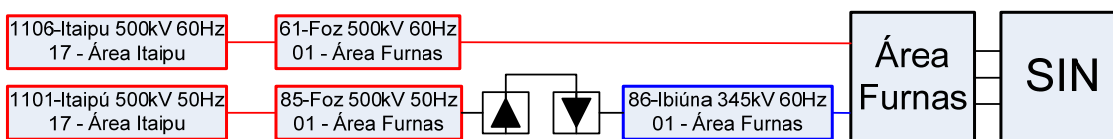


Figura 6 – Interligação do Sistema de Transmissão de Itaipu com o SIN – Configuração Usual

Esta configuração não permite a utilização de controle de intercâmbio de potência ativa entre áreas. O relatório de circuitos de intercâmbio do programa ANAREDE para esta configuração pode ser visto na Figura 7.

```

CEPEL - CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELETRICA - PROGRAMA DE ANALISE DE REDES - V09.07.00
ONS - 3Q2008 - Dezembro Pesada ORIGINAL
CIRCUITOS DE INTERCAMBIO * AREA 17 * *
X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X
BARRA M      NOME      BARRA M      NOME      NC ARE      << MW >>      << Mvar >>
X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X
IMPORT EXPORT IMPORT EXPORT
X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X
1101 ITAIPU50-500      85 * F0Z-500-50HZ      1 1      1464.6      388.8
1101 ITAIPU50-500      85 * F0Z-500-50HZ      2 1      1505.5      399.3
1103 MARGEMDIR500      85 * F0Z-500-50HZ      2 1      1358.3      341.7
1103 MARGEMDIR500      85 * F0Z-500-50HZ      1 1      1331.6      335.1
1106 ITAIPU60-500      61 * F0Z-500-60HZ      1 1      1534.7      114.2
1106 ITAIPU60-500      61 * F0Z-500-60HZ      4 1      1608.0      119.0
1106 ITAIPU60-500      61 * F0Z-500-60HZ      2 1      1557.6      115.8
1106 ITAIPU60-500      61 * F0Z-500-60HZ      3 1      1585.8      117.5

```

Figura 7 – Relatório de Circuitos de Intercâmbio da Área Itaipu – Configuração Usual

Uma das novas funcionalidades a ser implementada no modo de estudo do SAGE envolve a contabilização do fluxo de potência em elos de corrente contínua no intercâmbio entre áreas. É importante ressaltar que o controle de intercâmbio continua sendo feito pelos geradores encarregados do CAG, uma vez que o despacho do elo de corrente contínua é considerado constante. Foram feitas modificações nos algoritmos de controle de intercâmbio e de contabilização de intercâmbio entre áreas. Estas modificações permitem que o programa identifique as áreas exportadora e importadora para cada elo do sistema elétrico de potência em estudo a partir da identificação das áreas às quais pertencem as barras de interface de seus conversores CA/CC. No entanto, alguns cuidados devem ser tomados para permitir a utilização plena do controle de intercâmbio entre áreas.

5.1 Exemplo de Aplicação

Das Figuras 6 e 7 podemos concluir que a interligação em 60Hz com a área Furnas através do *tie-line* 1106-61 se insere na mesma ilha elétrica, não gerando qualquer problema para a aplicação do controle de intercâmbio. A interligação em 50Hz, através da barra 85, por outro lado, não está inserida na mesma ilha elétrica, uma vez que a referência angular não transita através do elo de corrente contínua. Este é o primeiro entrave para a aplicação do controle de intercâmbio e pode ser contornado associando a barra 85 à área Itaipu. Finalmente, as barras do subsistema de Itaipu em 50Hz obviamente estão em uma ilha elétrica distinta daquela em que estão localizadas as barras do subsistema em 60Hz, o que também inviabiliza a aplicação do controle de intercâmbio e pode ser contornado atribuindo identificações numéricas distintas a estes dois subsistemas. Estas modificações levam à configuração de áreas de intercâmbio representada na Figura 8.

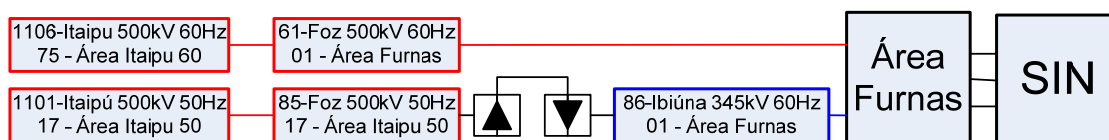


Figura 8 – Interligação do Sistema de Transmissão de Itaipu com o SIN – Nova Configuração

Com estas modificações aplicadas ao caso exemplo utilizado neste trabalho, é possível aplicar o controle de intercâmbio, desde que sejam definidas barras PV nas áreas envolvidas com fatores de participação não nulos (1). Foram definidos como geradores responsáveis pelo controle de intercâmbio a barra 1107 ITAIPU60-9GR na área 75 Itaipu 60Hz e as barras 500 A.VERMEL-6GR e 501 I.SOLTE-18GR na área 01 Furnas. Os valores de intercâmbio programado, mínimo e máximo para estas áreas foram definidos conforme mostrado na Figura 9.

CEPEL - CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELETRICA - PROGRAMA DE ANALISE DE REDES - V09.07.00					
ONS - 3Q2008 - Dezembro Pesada					
RELATORIO DE DADOS DE AREA					
ARE	INTERCAMBIO LIQUIDO (Mw)			IDENTIFICACAO DA AREA	
NUM	MINIMO	PROGRAMADO	MAXIMO		
1	-11556.0	-11555.0	-11554.0 *	FURNAS	*
17	5371.0	5372.0	5373.0 *	ITAIPU 50Hz	*
75	6182.0	6183.0	6184.0 *	ITAIPU 60Hz	*

Figura 9 – Dados de Intercâmbio Programado, Mínimo e Máximo

Executando o programa ANAREDE e selecionando a opção de controle de intercâmbio de potência ativa entre áreas durante a solução do problema de fluxo de potência (CINT), são obtidos os relatórios da Figura 10, os quais demonstram a manutenção dos valores de intercâmbio dentro dos limites especificados.

CEPEL - CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELETRICA - PROGRAMA DE ANALISE DE REDES - V09.07.00									
ONS - 3Q2008 - Dezembro Pesada									
CIRCUITOS DE INTERCAMBIO * AREA 17 * * ITAIPU 50Hz *									
BARRA M	NOME	BARRA M	NOME	NC ARE	<< MW >>	IMPORT	EXPORT	<< Mvar >>	IMPORT
									EXPORT
85	FOZ-500-50HZ	86	* IBIUNA---345 CC	1		1343.0			713.7
85	FOZ-500-50HZ	86	* IBIUNA---345 CC	1		1343.0			713.7
85	FOZ-500-50HZ	86	* IBIUNA---345 CC	1		1343.0			713.7
85	FOZ-500-50HZ	86	* IBIUNA---345 CC	1		1343.0			713.7
ATUAL ESPEC									
TOTAL					5372.0	5372.0	0.0	5372.0	2854.8
CIRCUITOS DE INTERCAMBIO * AREA 75 * * ITAIPU 60Hz *									
BARRA M	NOME	BARRA M	NOME	NC ARE	<< MW >>	IMPORT	EXPORT	<< Mvar >>	IMPORT
									EXPORT
1106	ITAIPU60-500	61	* F0Z-500-60HZ	1	1	1509.5			92.2
1106	ITAIPU60-500	61	* F0Z-500-60HZ	4	1	1581.6			96.0
1106	ITAIPU60-500	61	* F0Z-500-60HZ	3	1	1559.8			94.8
1106	ITAIPU60-500	61	* F0Z-500-60HZ	2	1	1532.1			93.5
ATUAL ESPEC									
TOTAL					6183.0	6183.0	0.0	6183.0	376.5

Figura 10 – Relatório de Circuitos de Intercâmbio da Área Itaipu – Nova Configuração

Também é importante notar que a parcela do intercâmbio relacionada com o elo de corrente contínua foi corretamente identificada e assinalada no relatório através dos caracteres “CC” na coluna correspondente ao número do circuito. Nestas linhas do relatório, as barras são, na verdade, as barras de interface dos conversores CA/CC.

6.0 - NOVAS CONTINGÊNCIAS

A necessidade de representar de forma mais fiel e flexível a realidade de campo no programa ANAREDE levou à implementação de modelos de equipamentos individualizados durante os últimos anos. Neste período foram implementados modelos de geradores, cargas e bancos *shunt* individualizados (4,5). Além disso, modelos de equipamentos já existentes como os de motores de indução (6), compensadores estáticos de reativos, *shunts* de linha e elos de corrente contínua foram aperfeiçoados no sentido de incorporarem os conceitos de estado operativo e número de unidades, que tornam muito mais simples a preparação de dados para o caso base e viabilizam a modificação dos valores de geração, carregamento e suporte de potência reativa sem perda de informação durante estudos de planejamento da operação e da expansão (7).

Muito embora os novos modelos de equipamentos individualizados já estivessem sendo utilizados na versão *stand-alone*, ainda não podiam ser empregados no módulo de análise de contingências. Este módulo do programa permitia apenas contingências de abertura e fechamento de circuito CA, desligamento e religamento de barra CA e alterações de valor de carga, geração e injeção de potência reativa para equipamentos equivalentes.

As funcionalidades adicionais exigidas para o modo de estudo do SAGE incluem a necessidade de simular o desligamento e a reconexão de compensadores estáticos e bancos *shunt* individualizados durante a análise de contingências. Por uma questão de coerência de dados e funcionalidade, decidiu-se que seria oportuno incluir todo o elenco de novos equipamentos neste esforço de desenvolvimento e disponibilizar um conjunto de novas contingências relacionadas com equipamentos individualizados, estado operativo e número de unidades. Para manter a compatibilidade com versões anteriores do programa ANAREDE, as contingências de equipamentos equivalentes foram mantidas. As contingências de equipamentos individualizados não incluem alterações de valor. Apenas alterações de estado operativo e/ou de número de unidades de grupo de equipamento são permitidas. As novas contingências implementadas são apresentadas nas seções seguintes e suas características estão sumarizadas na Tabela 1, a qual mostra os equipamentos aos quais as novas contingências são aplicadas, o tipo de contingência a ser utilizado no bloco de dados de contingência do programa ANAREDE e a capacidade de alterar o estado operativo do equipamento ou grupo e ligar / desligar unidades de um grupo de equipamentos.

Tabela 1 – Características das Novas Contingências

Equipamento	Tipo de Contingência	Estado Operativo	Liga / Desliga Unidade
Compensador Estático de Reativos	CERL / CERD	X	X
Banco Shunt Individualizado	BSHL / BSHD	X	X
Carga individualizada	CAIL / CAID	X	X
Gerador Individualizado	GEIL / GEID	X	X
Motor de Indução	MOTL / MOTD	X	X
Banco Shunt Individualizado	BSHL / BSHD	X	X
Shunt de Linha Equivalente	SHLL / SHLD	X	
Bypass de Compensador Série	CSCL / CSCD	X	
Elo de Corrente Contínua	ELOL / ELOD	X	

6.1 Contingências em Equipamentos *Shunt* de Barra

Envolvem as contingências de desligamento e religamento de bancos de capacitores e reatores, cargas e geradores individualizados, motores de indução e compensadores estáticos de reativos. A aplicação destas contingências exige a identificação do equipamento, composta por barra CA de conexão, número do grupo e número de unidades a serem desligadas ou religadas.

6.2 Contingências em Equipamentos *Shunt* de Linha

São contingências aplicadas a *shunts* de linha equivalentes e bancos *shunt* de linha. A aplicação destas contingências exige a identificação do equipamento, composta por barra de, barra para e número do circuito ao qual o equipamento está conectado, extremidade de conexão, número do grupo (se houver) e número de unidades a serem desligadas ou religadas (se houver).

6.3 Contingências em *Bypass* de Compensador Série

São contingências aplicadas à chave de *bypass* de compensadores série, conforme mostra a Figura 11. A aplicação destas contingências exige a identificação do equipamento, composta por barra de, barra para e número do circuito correspondente ao compensador série. É importante notar que, para efeitos de desligamento e religamento de compensador série, devem ser utilizadas as contingências de circuito (mnemônicos CIRL e CIRD). A contingência de fechamento da chave de *bypass* (CSCL) cria um *link* de baixa impedância entre as barras terminais do equipamento e altera seu estado operativo para desligado.

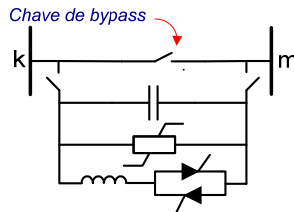


Figura 11 – Chave de *bypass* de compensador série controlável

6.4 Contingências em Elos de Corrente Contínua

Permitem o desligamento e religamento de elos de corrente contínua. Estas contingências são particularmente importantes, pois permitem simular o comportamento do sistema elétrico sem a necessidade de eliminar dados de elos de corrente contínua ou de ajustar o despacho do mesmo para um valor nulo, causando problemas numéricos durante o processo de solução do fluxo de potência.

7.0 - CONCLUSÃO

O esforço de desenvolvimento despendido para atender às novas necessidades do modo de estudo do sistema SAGE trouxe grandes benefícios para a versão *stand-alone* do programa ANAREDE. A utilização conjunta das novas funcionalidades descritas neste trabalho eleva a capacidade de simulação de sistemas elétricos de potência disponíveis para os profissionais do setor elétrico brasileiro a um novo patamar.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CEPEL, Relatório Técnico DP/DRE – 26172/2009, "Programa de Análise de Redes – ANAREDE V09.06.02 - Manual do Usuário".
- (2) GOMES, P., CHIPP, H.J., ORDACGI Fº, J.M., Sardinha, S.L., "Brazilian Defense Plan Against Extreme Contingencies", CIGRÉ/IEEE – PES International Symposium on Quality and Security of Electric Power Delivery Systems, Montréal, Canadá, 2003.
- (3) MONTICELLI, A.J., Fluxo de Carga em Redes de Energia Elétrica, Editora Edgard Blücher Ltda, 1983.
- (4) PASSOS Fº, J. A.; MARTINS, N.; FERRAZ, J. C. R. ; FALCÃO, D. M.; PINTO, H. J. C. P., "Modelagem de Chaveamento Automático de Bancos de Capacitores/Reatores para Estudos com Fluxo de Potência Continuado", VIII SEPOPE, 2002, Brasília, Brasil, 2002.
- (5) ALVES, F.R.M., HENRIQUES,R.M., PASSOS Fº, 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 SNPTTE, Curitiba, PR, Outubro 2005.
- (6) HENRIQUES, R. M. ; MARTINS, N.; FERRAZ, J. C. R. ; MARTINS, A. C. B. ; PINTO, PINTO, H. J. C. P.; CARNEIRO Jr, S., "Impact of Induction Motors Loads into Voltage Stability Margins of Large Systems", PSCC - 14th Power Systems Computing Conference, Sevilha, Espanha, 2002.
- (7) ALVES, F.R.M., GUARINI, A.P., HENRIQUES,R.M., PASSOS Fº, 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.

9.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Ricardo Mota Henriques nasceu em Juiz de Fora, Minas Gerais, em 16 de setembro de 1971. Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Juiz de Fora em 1996, concluiu o mestrado e o doutorado em Engenharia Elétrica na Universidade Federal do Rio de Janeiro em 2002 e 2009 respectivamente. É pesquisador do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL – desde 1997, atuando no desenvolvimento de modelos e aplicações computacionais para análise de redes elétricas, em especial no programa ANAREDE. Seus interesses incluem, ainda, avaliação de segurança de tensão e análise de autovalores e autovetores aplicados ao controle de tensão. É membro do IEEE e do Comitê de Estudos C2 do Comitê Nacional Brasileiro da CIGRÉ.



Flávio Rodrigo de Miranda Alves nasceu no Rio de Janeiro em 15 de Março de 1963. Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal Fluminense em 1986 e em Ciência da Computação pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1987, concluiu o mestrado em Engenharia de Sistemas e Computação na Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ) em 1992 e o doutorado em Engenharia Elétrica, na mesma instituição, em 2007. É pesquisador do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL – desde 1987, atuando no desenvolvimento de aplicações computacionais para análise de redes. Seus interesses incluem, ainda, ambientes integrados de interface gráfica e banco de dados para operação e planejamento de sistemas elétricos de potência, metaheurísticas e recomposição de sistemas elétricos de potência. É membro do IEEE e do Comitê de Estudos C2 do Comitê Nacional Brasileiro da CIGRÉ.



Luiz Antonio Cordeiro Pereira nasceu no Rio de Janeiro em 09 de Julho de 1959. Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1981, concluiu o mestrado em Engenharia de Sistemas e Computação na Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ) em 1991 e o doutorado em Engenharia Elétrica, na mesma instituição, em 2007. É pesquisador do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL – desde 1985, atuando no desenvolvimento de aplicações computacionais para análise de redes com aplicação em sistemas de supervisão e controle em tempo-real. Seus interesses incluem, ainda, banco de dados para operação de sistemas elétricos de potência, estimação de estado e fluxo de potência ótimo.



João Alberto Passos Filho nasceu em Juiz de Fora, Minas Gerais, em 9 de julho de 1972. Possui graduação e mestrado em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF (1995 e 2000) e doutorado em engenharia elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ/COPPE (2006). Foi *trainee* do Grupo WEG durante o ano de 1996 e trabalhou por dez anos no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL, atuando principalmente no desenvolvimento dos programas ANAREDE e FLUPOT. Atualmente é professor Adjunto I da Faculdade de Engenharia na UFJF. Tem experiência na área de desenvolvimento de modelos computacionais, atuando principalmente nos seguintes temas: análise de redes em regime permanente, segurança de tensão e otimização de sistemas potência. É membro do IEEE desde 2007 e do Comitê de Estudos C2 do Comitê Nacional Brasileiro da CIGRÉ.