



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

Versão 1.0  
GAT.09  
22 a 25 Novembro de 2009  
Recife - PE

**GRUPO IV**

**GRUPO ESTUDOS DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA CA E CC – GAT**

**EQUIVALENTE DINÂMICO DO SIN PARA UTILIZAÇÃO EM ESTUDOS ENVOLVENDO ITAIPU 60 HZ.**

**Eduardo Zorek Gaede (\*)  
ITAIPU BINACIONAL**

**Rui Jovita G. C. da Silva  
ITAIPU BINACIONAL**

**Robson A. de Oliveira  
ITAIPU BINACIONAL**

**Romeu Reginatto  
UNIOESTE - PR**

**RESUMO**

Este trabalho apresenta uma metodologia para a construção de um equivalente dinâmico do Sistema Interligado Nacional (SIN), conservando a representação completa e detalhada do sistema de transmissão em 765 kV e do setor de 60 Hz da usina de Itaipu. Esta metodologia utiliza os métodos da coerência e análise modal para a identificação e agregação dos geradores coerentes. O equivalente dinâmico do sistema original de 3588 barras resulta em apenas 47 barras. Os resultados apresentados mostram que o equivalente apresenta exatidão aceitável para perturbações oriundas no sistema de 765 kV, inclusive nos casos de atuação dos Esquemas Especiais de Proteção.

**PALAVRAS-CHAVE**

Equivalente Dinâmico; Análise Modal; *Mode-Shape*; Itaipu 60 Hz; Sistema Interligado Nacional (SIN).

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Com a evolução dos Sistemas Elétricos de Potência (SEP) ao longo de sua história a necessidade de atender um número cada vez maior de consumidores e a busca pela otimização dos recursos energéticos resultou no aumento de interligações elétricas entre empresas, regiões e países levando a sistemas grandes em dimensão e em complexidade. Por outro lado, devido à presença de vários dispositivos de controle no sistema desde a geração, transmissão e consumo final, há a necessidade de utilizar intervalos de integração muito pequenos para simulações digitais destes sistemas em estudos de estabilidade. Assim sendo, estudos em grandes sistemas elétricos de potência se tornaram laboriosos, demandando por grande esforço computacional e tempo gasto na construção do modelo para análise [1].

Ao lado dos avanços tecnológicos computacionais e da aplicação de métodos numéricos mais eficientes, o Equivalente Dinâmico vem sendo considerado como uma importante ferramenta para suprir tais dificuldades demandadas por estas simulações [2]. O uso de equivalentes dinâmicos tem sido investigado desde a década de 70, entretanto, nunca se tornou amplamente difundido na avaliação de desempenho de Sistemas Elétricos de Potência. Acredita-se que um dos principais motivos seja a necessidade de diferentes equivalentes para a avaliação de diferentes áreas do sistema.

Mais recentemente, uma nova demanda para os equivalentes dinâmicos tem surgido em função do desenvolvimento dos Simuladores Digitais de Tempo Real (RTDS). Os RTDS dispõem de recursos poderosos para a modelagem detalhada dos diversos componentes de uma rede elétrica, mas a sua capacidade de representação de elementos é limitada [3]. Assim, é necessária a redução do sistema original a um sistema equivalente, cujo tamanho seja compatível com a capacidade de representação do simulador. Os Equivalentes Dinâmicos são de duas a seis vezes mais eficientes em termos de desempenho computacional e apresentam

(\*) Av. Tancredo Neves, n° 6.731 – OPSE.DT – CEP 85.866-900 – Foz do Iguaçu, PR, Brasil  
Tel: (+55 45) 3520-2944 – Fax: (+55 45) 35202706 – Email: eduzorek@ufrj.br

resultados que não são significativamente diferentes daqueles obtidos empregando o sistema completo [4]. Outra aplicação atrativa para os equivalentes dinâmicos é o caso dos simuladores para treinamento de despachantes e operadores do sistema (DTS), ferramenta muito utilizada com o crescimento da digitalização dos Centros de Operação do Sistema (COS).

A Usina Hidrelétrica de Itaipu é uma entidade binacional, pertencente aos governos do Brasil e do Paraguai. A usina é constituída de dois setores, cada um com dez unidades geradoras de 700 MW e 18 kV. Um setor produz em 60 Hz e outro em 50 Hz, de acordo com as frequências utilizadas nos sistemas do Brasil e do Paraguai, respectivamente. A tensão é elevada para 500 kV para a transmissão da energia.

A subestação de 60 Hz/500 kV é conectada ao Sistema Interligado Brasileiro (SIB), através de 4 linhas de transmissão, na subestação de Foz do Iguaçu, operada por Furnas. Nesta subestação a tensão de transmissão é elevada para 765 kV, sendo a potência transmitida através de 3 linhas de transmissão de 900 km de comprimento, até Tijuco Preto, nas proximidades do centro de carga em São Paulo, interligando-se ao sistema Sudeste. No sistema de transmissão em 765 kV existem duas subestações intermediárias, em Ivaiporã e Itaberá, sendo que em Ivaiporã há a interligação com o sistema Sul.

Desta forma a localização e dimensões do setor de 60 Hz da Usina da Itaipu são as principais motivações para a obtenção de um Equivalente Dinâmico para subsidiar estudos envolvendo a usina considerando os efeitos do SIN.

## 2.0 - EQUIVALENTE DINÂMICO

Equivalente Dinâmico é definido por [2] como uma representação reduzida do SEP, consistindo de um número menor de barras, linhas, transformadores, geradores e seus controladores, e que por consequência possui uma quantidade menor de equações a serem resolvidas, as quais permitem reproduzir, sem perda significativa de exatidão, o comportamento dinâmico do sistema interconectado completo.

O Equivalente Dinâmico tem como principal objetivo simular as reações do restante do sistema a ser substituído pelo equivalente, quando ocorrem distúrbios no sistema em estudo e apresentar comportamento dinâmico similar ao obtido com o sistema completo para uma dada perturbação, tal como curtos-circuitos, perda de linhas de transmissão, transformadores, perdas de geração ou carga que ocorrem na área de interesse [2].

Para o propósito de análise o sistema é dividido em duas partes [4], com as barras de fronteira estabelecendo a conexão entre elas, mostradas na Figura 1:

- **Sistema Interno:** É a área onde se localizam as contingências que serão estudadas. Sua representação original é mantida e seu desempenho dinâmico é o principal interesse.
- **Sistema Externo:** É a área em que a configuração da rede e o estado das unidades geradoras não são afetados pelas contingências de interesse. É a área que será substituída por um equivalente dinâmico e cujo comportamento não é de interesse direto, mas apenas seus efeitos sobre a área em estudo.

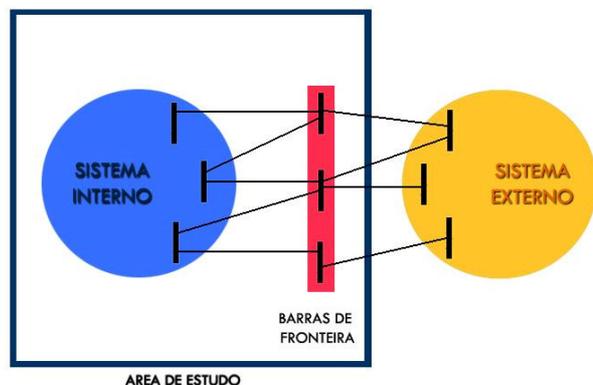


FIGURA 1 – Divisão do Sistema Elétrico em Duas Áreas [4].

## 3.0 - CÁLCULO DO EQUIVALENTE DINÂMICO

Conforme [4], o procedimento geral para formação de equivalentes dinâmicos pode ser dividido em quatro etapas básicas:

1. Definição da área de estudo;
2. Identificação dos grupos de geradores coerentes;
3. Redução estática da rede;
4. Agregação dinâmica dos modelos das unidades geradoras coerentes.

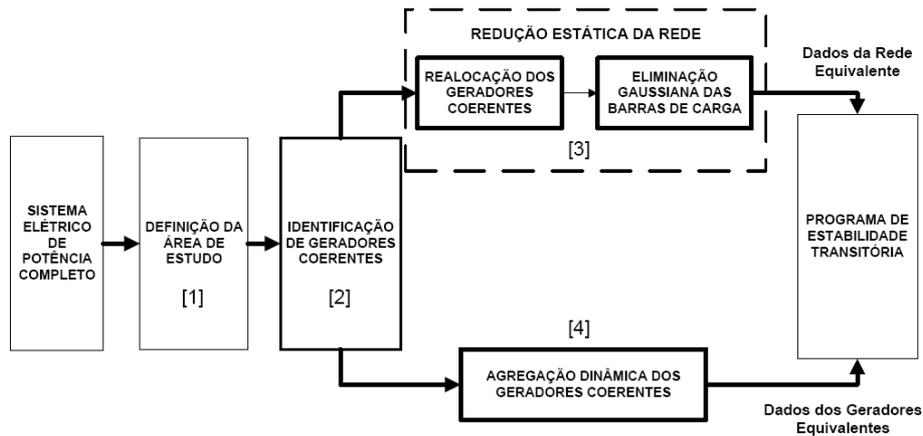


FIGURA 2 – Etapas a serem realizadas para o cálculo do Equivalente Dinâmico, adaptado de [4].

### 3.1 Identificação da Propriedade de Coerência entre Geradores de um SEP

A principal contribuição deste trabalho encontra-se no aprimoramento de uma metodologia inicialmente proposta por [5], onde os modos de oscilação e seus respectivos *mode-shapes* são analisados, com o intuito de identificar a propriedade de coerência entre usinas e geradores síncronos do SEP e desta forma proceder o cálculo do equivalente dinâmico.

A aplicação da análise modal proposta por [5], baseia na modelagem do SEP no espaço de estados e tem por escopo obter os modos de oscilação a partir do cálculo dos autovalores e autovetores. O aplicativo computacional para análise de pequenas perturbações – PACDYN – realiza o cálculo automático dos autovalores e autovetores, permite fácil identificação dos modos de oscilação presentes no SEP para análise e a construção dos seus respectivos *mode-shapes*.

Conforme [5], a análise modal tem início com as equações linearizadas do SEP a qual pode ser escrita de uma forma generalizada como:

$$\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{A}\mathbf{X}$$

Onde:

$\mathbf{X}$  : vetor das  $n$  variáveis de estado que descreve o comportamento dinâmico SEP;

$\mathbf{A}$  : matriz de estado, de  $n \times n$  elementos, a qual é dependente dos parâmetros do sistema e de seu ponto de operação.

As  $n$  raízes  $\lambda_1$  a  $\lambda_n$  da equação  $\det(\mathbf{A} - \lambda\mathbf{I}) = 0$  constituem os autovalores da matriz  $\mathbf{A}$ . Seja  $\lambda_i$  um autovalor de  $\mathbf{A}$ , então o vetor  $\Phi_i$  que satisfaz a equação  $\mathbf{A}\Phi_i = \lambda_i\Phi_i$ , e dito autovetor de  $\mathbf{A}$ , associado ao autovalor  $\lambda_i$ . Uma matriz  $\mathbf{A}$  de dimensão  $n \times n$  possui  $n$  autovalores e  $n$  autovetores. E a solução das equações de estado para o sistema de 3 geradores pode ser escrita da seguinte maneira:

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix} = c_1 \begin{bmatrix} \Phi_{11} \\ \Phi_{12} \\ \Phi_{13} \\ \vdots \\ \Phi_{1n} \end{bmatrix} e^{\lambda_1 t + c_2} \begin{bmatrix} \Phi_{21} \\ \Phi_{22} \\ \Phi_{23} \\ \vdots \\ \Phi_{2n} \end{bmatrix} e^{\lambda_2 t + c_3} \begin{bmatrix} \Phi_{31} \\ \Phi_{32} \\ \Phi_{33} \\ \vdots \\ \Phi_{3n} \end{bmatrix} e^{\lambda_3 t + \dots + c_n} \begin{bmatrix} \Phi_{n1} \\ \Phi_{n2} \\ \Phi_{n3} \\ \vdots \\ \Phi_{nn} \end{bmatrix} e^{\lambda_n t}$$

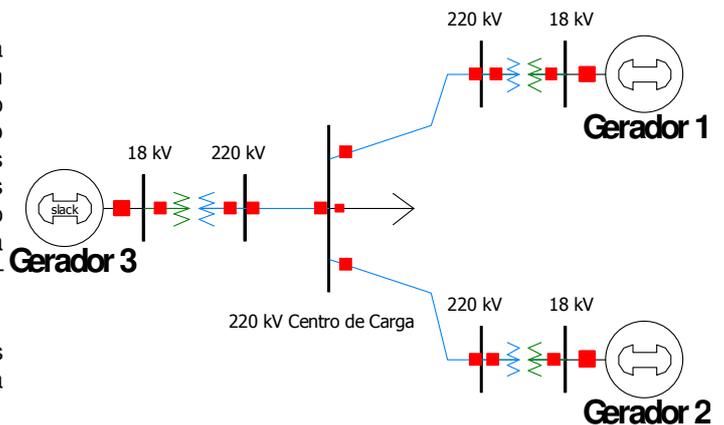


FIGURA 3 – SEP exemplo de 3 geradores [5].

Onde:

$c_i$  : são as constantes arbitrárias de integração que são determinadas pelas condições iniciais do sistema (fluxo de carga);

$\lambda_i$  : são os autovalores ou também os modos da resposta do sistema; Os termos  $e^{\lambda_i t}$  são denominados modos do sistema e determinam o comportamento da evolução do estado no tempo. Cada modo é associado a um autovalor de  $\mathbf{A}$  e vice-versa, podendo-se às vezes referir-se a um autovalor como modo;

$\Phi_i$  : formam os autovetores associados a cada autovalor da matriz  $\mathbf{A}$ . A componente  $\Phi_{ij}$  de cada autovetor determina a influência do modo associado ao autovalor  $\lambda_i$  na variável de estado  $x_j$ .

Utilizando como referência angular para um dado modo (autovalor) de interesse, é possível avaliar as variáveis de estado físicas associados a ele e, portanto, os geradores que participam predominantemente da manifestação daquele modo. Os  $n$  autovetores associados a este autovalor, podem ser arquitetados graficamente através de fasores. Os autovetores da matriz  $\mathbf{A}$  descrevem como cada variável de estado física contribui em cada modo.

Assim é possível representar graficamente a influência de cada gerador no modo de interesse, traçando a representação polar da componente de cada autovetor associado aquele modo, a esta representação gráfica dos autovetores relativo a cada autovalor se dá o nome de *mode-shape*.

A Figura 4 mostra o *mode-shape*, para o sistema de três geradores síncronos, de cada um dos modos de oscilação eletromecânicos deste sistema. A partir deles algumas observações podem ser feitas:

- No modo real não oscilatório, todos os três geradores síncronos estão coerentemente envolvidos. Este modo pode ser chamado de modo do sistema;
- Nos modos oscilatórios de mais baixa frequência, os geradores 1 e 2 na área irão oscilar coerentemente contra gerador 3 na área. Este modo mostra a divisão inicial do sistema em duas áreas e podem então ser chamado de modo área;
- Nos modos oscilatórios de mais alta frequência, o gerador 1 oscila contra o gerador 2, e o gerador 3 não tem participação significativa neste modo. Desta forma, este modo mostra uma adicional divisão da área que pertencem aos geradores 1 e 2 em duas subáreas contendo os geradores individuais, de forma geral este modo pode ser chamado de modo local de oscilação [5].

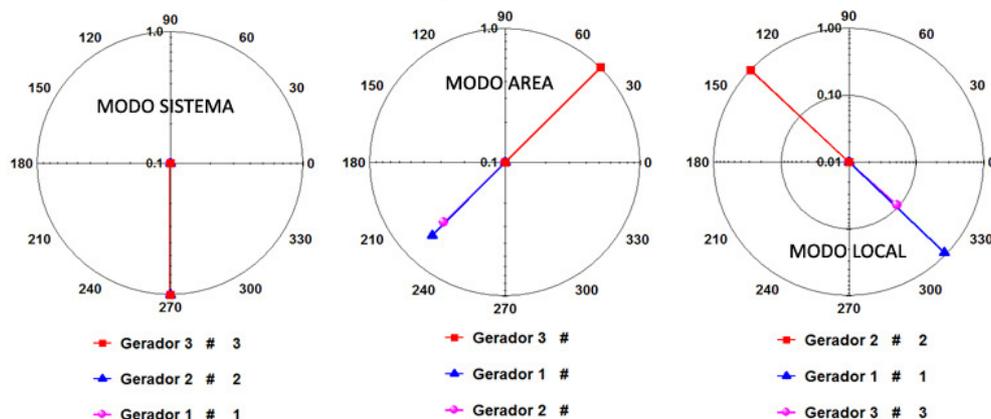


FIGURA 4 – *Mode-Shape* do SEP exemplo de 3 geradores.

Em grandes SEP, há uma necessidade de simplificar a utilização deste método, [6] recomenda que os modos passíveis de investigação podem ser limitados aos modos eletromecânicos de oscilação entre áreas (modo-área) e, desta forma, o cálculo do Equivalente Dinâmico para um SEP pode ser baseado neste modo.

O modo área é caracterizado pelos fatores de participação de velocidade angular ( $WW$ ) ou de ângulo do rotor ( $\Delta\theta$ ), possui baixo amortecimento e é associado às oscilações entre grupos de usinas situadas em partes diferentes do SEP interligadas por enlaces frágeis [7].

Desta forma a definição de equivalentes dinâmicos para áreas de um sistema elétrico interligado está vinculada, de forma preponderante, à reprodução do efeito dos modos eletromecânicos de oscilação mais lentos (modo-área), onde estes modos são associados a inércias e impedâncias de transferência relativamente maiores.

Desta forma a construção do Equivalente Dinâmico do SIN para estudos envolvendo Itaipu 60 Hz, foi realizada levando em conta estas considerações.

### 3.2 Agregação Dinâmica das Unidades Geradoras Coerentes

A agregação dinâmica de unidades geradoras coerentes, agrupadas em uma mesma barra, consiste na determinação dos parâmetros de uma ou mais unidades geradoras equivalentes [9]. As características do modelo da unidade geradora equivalente são determinadas a partir do modelo de cada unidade individual de um grupo coerente, considerando-se separadamente a dinâmica do rotor e os modelos da máquina síncrona, sistemas de excitação, estabilizadores de potência (PSS), reguladores de velocidade e turbinas. Os parâmetros da unidade geradora equivalente devem ser determinados de tal modo que sua tensão terminal, velocidade, potência elétrica e potência mecânica sejam iguais as do grupo coerente que se pretende substituir [9].

Na formulação de agregação utilizada neste trabalho, os parâmetros da máquina síncrona e seus componentes são obtidos pela aplicação do princípio da agregação linear no domínio do tempo. Este método é interessante por permitir que seja aplicado a qualquer modelo de máquina e seus componentes. A metodologia, cuja formulação pode ser vista em [9], foi aplicada para agregação dos geradores síncronos, sistema de excitação, reguladores de tensão, turbina, reguladores de velocidade e estabilizador de sistema de potência.

## 4.0 - EQUIVALENTE DINÂMICO DO SIN

### 4.1 Considerações Gerais

O objetivo principal deste trabalho é de estabelecer um equivalente dinâmico do SIN para utilização em estudos de estabilidade que abranja a Usina Hidrelétrica Itaipu Binacional 60 Hz e seu tronco de transmissão em 765 kV. Desta forma, a área interna de estudos compreende a Usina Hidrelétrica Itaipu Binacional, as barras das subestações de Furnas em Foz do Iguaçu (STFI), Ivaiporã (STIV), Itaberá (STIA) e Tijuco Preto (STTP), bem como os circuitos de transmissão que conectam essas subestações, as fronteiras deste sistema são delimitadas pelas barras de Tijuco Preto 345 kV, Tijuco Preto 500 kV e Ivaiporã-Sul 500 kV. O sistema de estudo é mostrado na Figura 5.

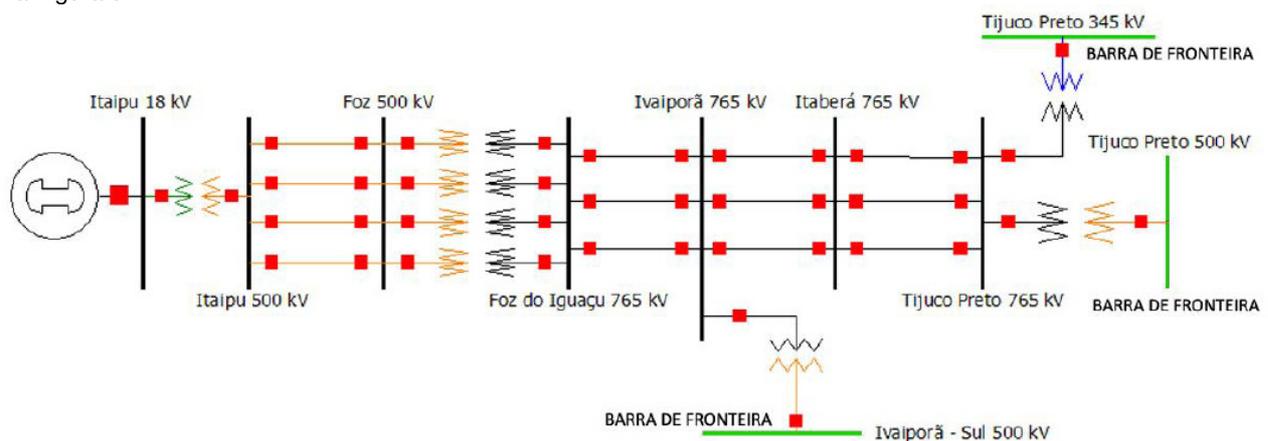


FIGURA 5 – Sistema Interno e Barras de Fronteira, Caso Itaipu 60 Hz.

Foi utilizado o caso de carga leve de fevereiro de 2007 [10] como caso base para a construção do equivalente dinâmico, para o ANAREDE, PACDYN e ANATEM. Os modos de oscilação e os respectivos autovetores foram identificados com o PACDYN, assim como as usinas coerentes. Essa coerência foi confirmada através de simulações de alguns eventos na área de estudo com o ANATEM. A Tabela 1 apresenta o resultado desta identificação. Foram mantidos iguais ao caso base: as usinas de Ilha Solteira e Itaipu 50 Hz, por serem as barras de referência do fluxo de potência, o Elo de Corrente Contínua e as cargas que utilizam conversores CA/CC, por terem dinâmicas próprias, e o compensador síncrono de Tijuco Preto, por se encontrar na área de estudo.

Depois de identificados os grupos de máquinas coerentes do SIN procederam-se os cálculos da malha REI, dos parâmetros dos geradores equivalentes e seus controles para cada grupo coerente. Para o cálculo dos reguladores equivalentes dos geradores foram consideradas somente as usinas com potência instalada superior a 300 MVA. Por último, foi realizada a redução estática da rede através da sub-rotina própria do aplicativo computacional ANAREDE, retendo as barras da área em estudo. Após a realização dos cálculos dos parâmetros do equivalente dinâmico do sistema externo e de suas usinas equivalentes, este substitui o sistema externo original conectado às barras de fronteira.

Tabela 1 – Grupos de geradores e compensadores síncronos coerentes.

<b>GRUPO COERENTE #UE-1</b>	
Angra 1; Angra 2; Luiz Carlos Barreto; Jupiá 138; Capivara; Ibitinga; Promissão; Pidaca; Santa-Cruz 13; CTE-CSN; HenryBorden-88; HenryBorden-230; Jaguarí; Salto Caxias; Monte Claro; Fontes; Funil; Pereira Passos; Porto Estrela; Paraibuna; Funil Grande; Porto Primavera; Nova Avanhandava; Piraju; Nilo Peçanha; Ilha dos Pombos; Chavante; Porto Colômbia; Jupiá; J.Lacerda; Presidente Medici A; Presidente Medici B; Charqueada; Itá; Machadinho; Salto Santiago; Itaúba; Santa Clara; Candonga; Quebra Queixo; Barra Grande.	
<b>GRUPO COERENTE #UE-2</b>	
Mascarenhas de Moraes A; Mascarenhas de Moraes B; Cachoeira Dourada; Espora; Furnas; Itumbiara; Manso; Corumbá; Emborcação; Jaguará; Nova Ponte; São Simão; Três Marias; Volta Grande; Guilman Amorin; Miranda; Igarapava; Queimado; Aimorés; Irapé; Água Vermelha; Jurumirim; Canoas 1; Canoas 2; Rosana 1; Rosana 2; Salto Grande; Taquaruçu; Bariri; Barra Bonita; Três Irmãos; Caconde; Euclides da Cunha; Limoeiro; Mascarenhas; Jaurú; Guaporé; Itiquira; Corumbá IV; Ponte de Pedra; Jubá; Capim Branco; Marimbondo; Ourinhos.	
<b>GRUPO COERENTE #UE-3</b>	
Serra da Mesa; Paulo Afonso II; Paulo Afonso III; Paulo Afonso IV; Apolônio Sales; Luiz Gonzaga; Xingó; Boa Esperança; Sobradinho; Tucuruí; Lajeado; Itapebi; Peixe Angical; Pedra do Cavalo.	
<b>GRUPO COERENTE #UE-4</b>	
Uruguaiana Gás; Uruguaiana Vapor.	
<b>GRUPO COERENTE #CSE-1</b>	
Grajaú; Vitória; Ibiuna; Mesquita; Neves; Embuguaçu; Santo Angelo.	
<b>GRUPO COERENTE #CSE-2</b>	
Teresina; Camaçari; Bom Jesus da Lapa; Irêce; Presidente Dutra; Imperatriz; Marabá; Vila do Conde; Brasília Geral; Siemens; Alsthom.	

#### 4.2 Tologia Final

Após a realização dos cálculos dos parâmetros do equivalente dinâmico do sistema externo e de suas usinas equivalentes, este então substitui o sistema externo original e desta forma pode ser conectado as barras de fronteira. A Tabela 2 e mostra a quantidade de elementos do SIN reduzidos após a conclusão da construção do Equivalente Dinâmico do SIN.

Tabela 2 – Comparação entre as topologias do modelo completo e equivalente do SIN.

ELEMENTO	SISTEMA ORIGINAL	SISTEMA REDUZIDO	SISTEMA EXTERNO	
			ANTES DA REDUÇÃO	PÓS-REDUÇÃO
<b>BARRA</b>	3588	47	3562	21
<b>LINHA</b>	3262	118	3163	99
<b>TRAFO</b>	1859	20	1852	7
<b>USINAS</b>	133	8	132	7
<b>C.SÍNCRONOS</b>	34	3	33	2

#### 4.3 Desempenho Dinâmico do Equivalente

A avaliação de desempenho do equivalente foi realizada com a simulação da atuação da Lógica 2 [11] do Esquema de Controle de Emergências (ECE) do 765 kV. A Lógica 2 tem por objetivo evitar a abertura da interligação Sul/Sudeste em 765 kV por perda de um circuito no trecho Ivaiporã-Itaberá-Tijuco Preto, efetuando o desligamento de unidades geradoras. Os resultados apresentados nas figuras 6 a 9, comparando as respostas do sistema completo com o sistema equivalente, consideram a indisponibilidade de um circuito da LT FI-IV, Itaipu 60 Hz com 7 unidades geradoras com 4.650 MW e 581 MVAR, e o Fluxo para o Sudeste em 2.922 MW.

A descrição seqüencial dos eventos simulados, utilizando o aplicativo computacional ANATEM, é mostrada na Tabela 3.

Tabela 3 – Seqüência de eventos simulados.

TEMPO (s)	EVENTOS
1.00	Curto circuito trifásico no circuito 2 da LT IV-IA.
1.08	Remoção do curto circuito trifásico e abertura do circuito 2 da LT IV-IA
1.28	Desligamento de uma UG da Usina de Itaipu 60 Hz pela atuação da lógica 2.2.

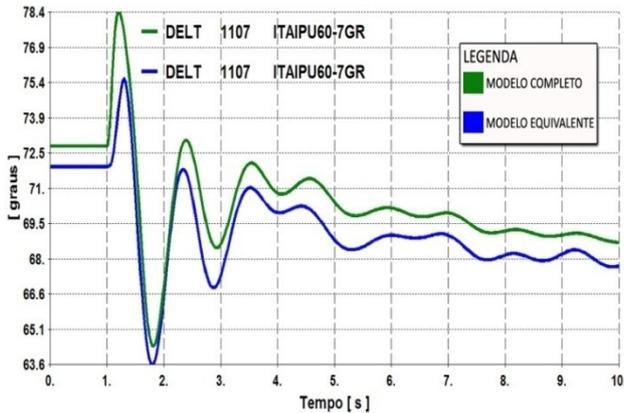


Figura 6 – Modelo: Completo x Equivalente, Ângulo do Rotor – Itaipu 60 Hz.

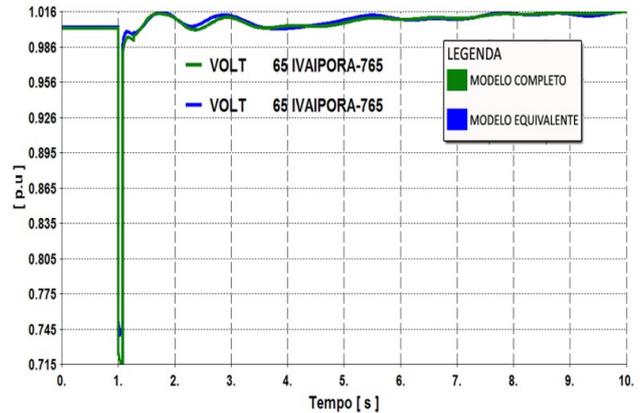


Figura 7 – Modelo: Completo x Equivalente, Tensão em STIV.

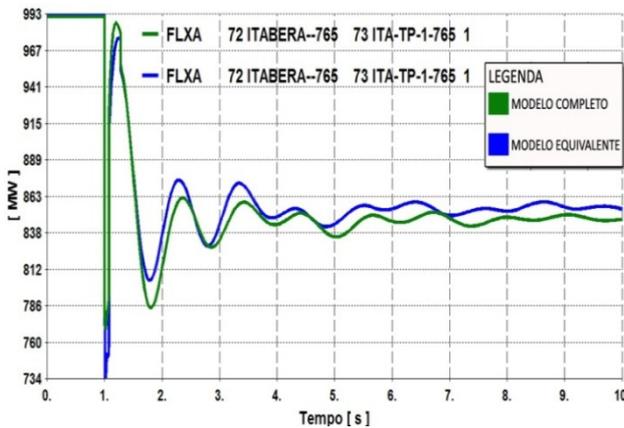


Figura 8 – Modelo: Completo x Equivalente, Fluxo de Potência Ativa STIA / STTP

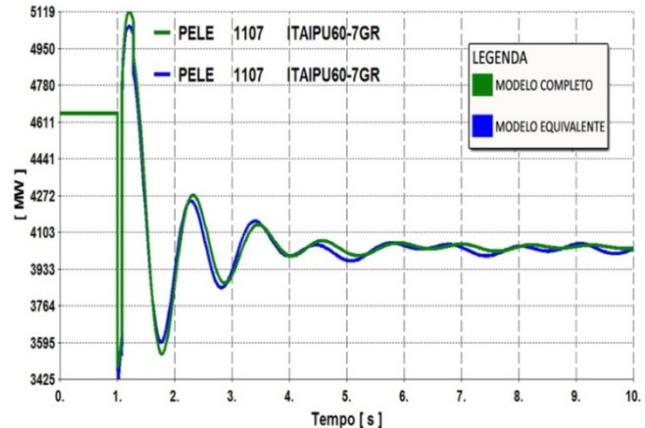


Figura 9 – Modelo: Completo x Equivalente, Potência Elétrica Ativa Total – Itaipu 60 Hz.

O tempo de processamento utilizado para simular Lógica 2 de Itaipu 60 Hz e analisá-la durante 10 segundos, no modelo completo e no modelo equivalente construído é mostrado na Tabela 4. O passo de integração usado no aplicativo computacional ANATEM foi de 2ms e o computador empregado para a simulação dinâmica de ambos os modelos utiliza processador de dois núcleos com freqüência de 1,67MHz.

Tabela 4 – Tempo de processamento e cálculos gastos na simulação.

MODELO COMPLETO	MODELO EQUIVALENTE
180 s	12 s

## 5.0 - CONCLUSÃO

Um equivalente dinâmico do SIN para estudos de estabilidade envolvendo o setor de 60 Hz da usina Hidrelétrica de Itaipu e seu sistema de transmissão foi construído e apresentado neste trabalho. Os resultados obtidos mostram que foi atingido o objetivo principal de qualquer equivalente dinâmico: reduzir a complexidade do modelo completo de um Sistema Elétrico de Potência e, conseqüentemente, o esforço computacional necessário para sua simulação, apresentando uma aproximação razoável do comportamento dinâmico do sistema completo. A qualidade da aproximação do comportamento dinâmico pode ser observada por meio de simulações de faltas na

área interna. O tempo de simulação necessário foi reduzido em 15 vezes para a falta considerada. A dimensão do sistema foi reduzida de 3588 para 47 barras. Outro aspecto é que o equivalente dinâmico permite uma redução na necessidade de dados do sistema elétrico.

Os resultados obtidos encorajam a utilização deste equivalente nos simuladores para treinamentos de operadores do sistema (DTS), assim como utilizar a metodologia para redução de sistemas representados em simuladores digitais de tempo real (RTDS).

No que concerne a metodologia empregada na identificação dos grupos de geradores coerentes do SEP podemos ressaltar que:

- O método da análise modal tem uma base matemática rigorosa, eles provem uma boa percepção entre os vários modos de oscilação presentes no sistema. A técnica modal tem o potencial para controlar o tamanho do equivalente de uma maneira sistemática.
- Em contraste ao equivalente por coerência, a qualidade do equivalente modal não depende da localização e do tipo da perturbação. Assim a utilização da análise modal para identificar a propriedade de coerência entre usinas e geradores de um SEP possibilita a construção de diferentes equivalentes dinâmicos para um mesmo SEP sem a necessidade de se repetir a análise modal, para um mesmo ponto de operação do sistema.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] OLIVEIRA, S. É. M. Modal Dynamic Equivalent for Electric Power Systems, Part I: Theory. IEEE Transactions on Power Systems, 1988
- [2] SOUZA, E. J. S. P., SILVA, A. M. L. An Efficient Methodology for Coherency-Based Dynamic Equivalents. IEEE Proc., Part C, Vol.139, No.5, 1992: p.371-382.
- [3] SOUZA, E. J. S. P., MACEDO, N. J. P., MEIRELLES, M.F., JARDIM, J.L. Aplicação de Equivalentes Dinâmicos Baseados em Coerência em Estudos com Simulador em Tempo Real de Sistemas Elétricos. XIV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 1997.
- [4] PODMORE, R., GERMOND, A. Development of Dynamic Equivalents for Transient Stability Studies. 1977.
- [5] GEEVES, S. A Modal-Coherency Technique for Deriving Dynamic Equivalents. IEEE Transactions on Power Systems, Vol.3, No.1, 1988.
- [6] WILSON, A. T., WHITE, G. D., BREUER, G.M., BOLDEN, R. L. Investigation and Control of the Damping of Power System Oscillations. IFAC Symposium, 1977: p.49-53.
- [7] SEVILLANO, J. E. V. Análise Modal no Sistema Elétrico Peruano. Rio de Janeiro, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- [8] OLIVEIRA, S. É. M. Determinação de Equivalentes Dinâmicos com Base na Coerência das Oscilações Angulares. IV Congresso Brasileiro de Energia, 1987.
- [9] GAEDE, E. Z. Equivalente Dinâmico do SIN para Utilização em Estudos Envolvendo Itaipu 60 Hz. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Elétrica. UNIOESTE, 2008.
- [10] ONS. Procedimentos de Rede. Operador Nacional do Sistema Elétrico. 2008. Disponível em: <[www.ons.com.br/procedimentos/index.aspx](http://www.ons.com.br/procedimentos/index.aspx)> Acesso em: 27 de Out. 2008).
- [11] SILVA, R. J. G. C. da., FARIAS, A. L. Esquema de Controle de Emergências na Configuração Final do Sistema de Transmissão de 750 kV. Campinas-SP, 2001.

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Eduardo Zorek Gaede

Nascido em Curitiba, PR em 23 de maio de 1985.

Mestrando em Engenharia Elétrica na Universidade Federal do Rio Janeiro - UFRJ (2009) e Graduado em Engenharia Elétrica (Sistemas de Potência) na Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE (2008).