



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

GAT 12  
14 a 17 Outubro de 2007  
Rio de Janeiro - RJ

#### **GRUPO IV**

#### **GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA – GAT**

#### **PROPOSIÇÃO DE SISTEMAS-TESTE BRASILEIROS PARA USO DIDÁTICO E VALIDAÇÃO DE PARADIGMAS DE PROCESSAMENTOS COMPUTACIONAIS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA**

**Washington F. Alves \***  
UFF/Eletróbrás

**Marcus Th. Schilling**  
UFF

**Milton B. Do Coutto Filho**  
UFF

**Julio C. Stacchini de Souza**  
UFF

#### **RESUMO**

Este artigo relata sobre a proposição de cinco *novos “sistemas-teste brasileiros”*, de dimensões reduzidas, extraídos e adaptados do sistema brasileiro e contando com uma ampla coleção de dados realistas para vários tipos de estudos. Utilizando-se esses sistemas, foram simuladas condições operativas de interesse através dos aplicativos computacionais comumente usados no setor elétrico brasileiro, abrangendo problemas-padrão de: *fluxo de potência, fluxo de potência ótimo, curto-circuito, estabilidade transitória e análise de pequenas perturbações*. Para cada um dos problemas-padrão foram criados casos-base de referência, com premissas bem definidas, visando total reprodutibilidade por outros analistas, estudantes e pesquisadores. Nesse contexto, o trabalho tem utilidade didática e também como paradigma para validação de processamentos computacionais da área de sistemas de potência. Todos os resultados podem ser acessados através do portal <[http://www.ic.uff.br/PosGraduacao/lista\\_dissertacao.php?ano=2007](http://www.ic.uff.br/PosGraduacao/lista_dissertacao.php?ano=2007)>.

#### **PALAVRAS-CHAVE**

*Sistema-teste, fluxo de potência, fluxo ótimo, curto-circuito, estabilidade, autovalores, educação, pesquisa, paradigma, Brasil.*

#### **1.0 - INTRODUÇÃO**

A análise computacional de sistemas de potência vem se tornando a cada dia mais complexa e abrangente. São inúmeras as dificuldades relacionadas a modelagens de componentes e fenômenos, técnicas numéricas e metodologias diversas. Essas dificuldades demandam um processo de validação de resultados que pode ser facilitado através do uso de sistemas-teste de porte reduzido [1]. Esses sistemas têm amplo uso, não apenas em ambiente da indústria, como também para fins didáticos e de treinamento. Ocorre porém que o uso mais comum desses sistemas recai freqüentemente nos sistemas de referências do IEEE [2] ou da CIGRÉ.

Tais sistemas, embora usados largamente na validação de modelos e programas, não oferecem um conjunto completo de informações para várias aplicações. Além de estarem dispersos na literatura, os dados desses sistemas mais facilmente acessíveis, restringem-se em geral àqueles necessários para a realização de estudos clássicos de fluxo de potência ou estabilidade transitória. Isso leva o usuário do sistema a realizar adaptações de dados para poder realizar outros tipos de estudo, que ainda assim carecem de paradigmas de comparação referencial. Além dessa dificuldade, os típicos sistemas-teste IEEE e CIGRÉ refletem uma realidade diversa daquela prevalente no sistema brasileiro.

Este artigo relata sobre a proposição [3] de uma *coleção de cinco novos “sistemas-teste brasileiros”*, de dimensões reduzidas, extraídos e adaptados do sistema brasileiro real e contando com uma ampla coleção de dados realistas para vários tipos de estudos. Utilizando-se esses sistemas, foram simuladas condições operativas de interesse através dos aplicativos computacionais comumente usados no setor elétrico brasileiro, abrangendo problemas-padrão de: *fluxo de potência, fluxo de potência ótimo, curto-circuito, estabilidade transitória e análise*

de pequenas perturbações. Para cada um dos problemas-padrão foram criados casos-base de referência, com premissas bem definidas, para garantia de total reprodutibilidade de resultados por outros analistas, estudantes e pesquisadores. Em cada aplicativo computacional utilizado, foram criados cenários realistas que evidenciam problemas tradicionalmente relevantes como: violações de critérios, colapsos, instabilidades, oscilações etc, apresentando e comentando os resultados encontrados nas simulações. Nesse contexto, o trabalho tem utilidade didática e como paradigma para validação de processamentos computacionais da área de sistemas de potência.

## 2.0 - DIRETRIZES PARA A CONCEPÇÃO DOS SISTEMAS-TESTE

Os objetivos básicos que nortearam a proposição dos sistemas-teste buscaram enfatizar os seguintes aspectos: *(i)* reprodutibilidade de resultados numéricos; *(ii)* ilustração prática de uso dos aplicativos computacionais usuais no Brasil; *(iii)* esboço da solução de alguns problemas reais.

O primeiro aspecto foi atendido pela especificação inequívoca de uma lista abrangente de dados, informações e características de cada um dos sistemas. O segundo quesito compreendeu a construção das listas dos dados de entrada de cada um dos aplicativos testados (ANAREDE, FLUPOT, ANAFAS, ANATEM e PACDYN) todos do Cepel. Finalmente, o último item foi atendido exemplificando-se o uso dos aplicativos computacionais nos processamentos realizados com os sistemas-teste visando o atendimento a diversos critérios e procedimentos tradicionais do setor elétrico.

Foram criados cinco *sistemas-teste de dimensões reduzidas: 9, 16, 33, 65 e 107 barras*. Para este último foram criadas duas redes, uma totalmente em CA e outra híbrida CA/CC. Os quatro maiores tiveram como origem o sistema elétrico brasileiro, desde a topologia até a concepção dos dados utilizados na sua preparação, enquanto que o sistema menor (de cunho estritamente didático), utilizou apenas dados reais de parâmetros. Este sistema menor foi submetido a todos os cinco aplicativos supra-citados. Os sistemas elaborados preservaram na medida do possível as características e particularidades do sistema original, visando retratar de maneira fiel o comportamento daquele trecho do sistema elétrico brasileiro. Toda a base de dados utilizada na elaboração dos sistemas-teste foi obtida através do portal do ONS. *Por restrição de espaço, o artigo apresentará apenas a coleção de dados do sistema-teste de 16 barras*. Todos os demais sistemas com seus respectivos conjuntos de dados, resultados numéricos, diagramas e análises podem ser vistos na referência [3], passível de acesso no portal [http://www.ic.uff.br/PosGraduacao/lista\\_dissertacao.php?ano=2007](http://www.ic.uff.br/PosGraduacao/lista_dissertacao.php?ano=2007), ou através de contato com o primeiro autor.

### 2.1 Sistema-Teste Brasileiro de 16 Barras

Na Figura 1 apresenta-se a rede elétrica do sistema-teste com 16 barras, elaborado a partir de dados do sistema de Furnas da região Goiás/Brasília, em três níveis de tensões (138kV, 230kV e 345kV), com dois geradores, quatorze circuitos, seis transformadores, um compensador síncrono, três reatores e um capacitor. Este sistema é constituído de duas áreas elétricas apontadas na figura e sua capacidade instalada é de 758 MW, distribuídos em duas usinas geradoras, sendo uma de 380 MW na área 1 e outra de 378 MW na área 2, para atender uma demanda máxima de carga ativa de 554 MW e reativa de 358 Mvar. Trata-se de um sistema com características de um sistema real, possuindo uma topologia em malha fechada com circuitos simples e duplos. Para este sistema, foram montados três casos-base com cenários distintos de geração e carga, denominados de carga pesada, média e leve, mostrando as diferenças de mercado e sua influência no controle de tensão, exigindo o uso de dispositivo em derivação para manter o perfil de tensão dentro dos limites especificados. Os dados deste sistema são apresentados no *Apêndice A*.

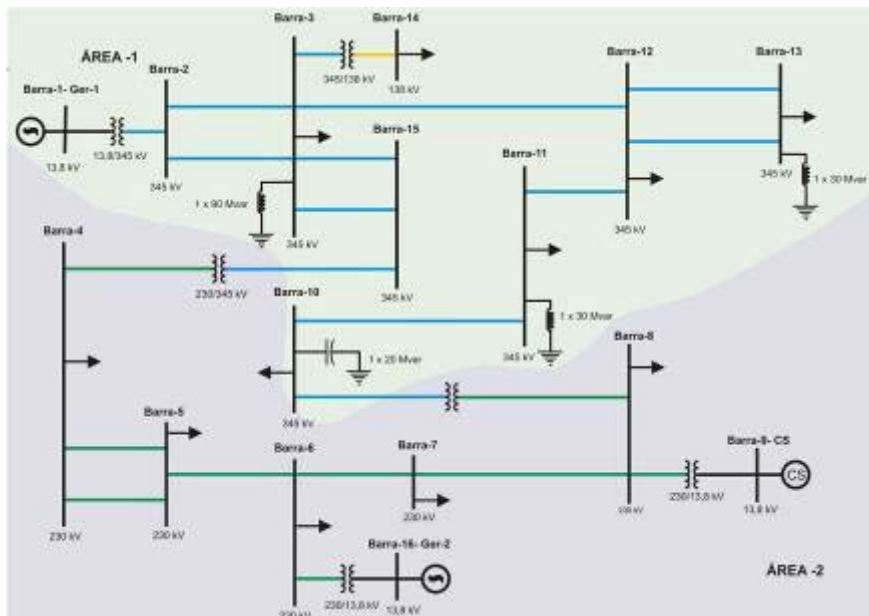


Figura 1 - Diagrama unifilar do sistema-teste brasileiro de 16 barras [3]

### 3.0 - CONCLUSÃO

Este artigo divulga a recente proposição [3] de cinco novos sistemas de potência fictícios reduzidos, denominados como “*sistemas-teste brasileiros*”, dado que a concepção, composição e ajuste dos mesmos procurou retratar as peculiaridades reais do sistema elétrico brasileiro interligado. Os sistemas foram definidos com uma vasta coleção de dados reais para estudos estáticos e dinâmicos, passíveis de processamento pelos programas do Cepel: ANAREDE, FLUPOT, ANAFAS, ANATEM e PACDYN. Espera-se que os sistemas propostos contribuam para o desenvolvimento de soluções adequadas às necessidades do sistema elétrico brasileiro.

Os autores incentivam outros pesquisadores, docentes, discentes, engenheiros e demais analistas ao uso dos sistemas propostos, agregação de novos dados e extensão das informações de forma a viabilizar estudos envolvendo subestações, redes de distribuição, geração eólica, sistemas de proteção, estimação de estado, confiabilidade, transitórios eletromagnéticos, penetração harmônica, mercado e estudos energéticos.

### 4.0 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio prestado pelo CNPq e FAPERJ/PRONEX, que viabilizou a realização de uma parcela substancial deste trabalho.

### 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) EPRI, Synthetic Electric Utility Systems for Evaluating Advanced Technologies, EPRI EM-285, Project TPS 75-615, Final Report, Feb 1977.
- (2) Pai, M. A., Computer Techniques in Power System Analysis, Tata McGraw-Hill Pub. Co. Limited, New Delhi, 1979, Apendix V.
- (3) Alves W. F., Proposição de Sistemas-Teste para Análise Computacional de Sistemas de Potência, Dissertação de M.Sc., Universidade Federal Fluminense, Instituto de Computação, 2007, [http://www.ic.uff.br/PosGraduacao/lista\\_dissertacao.php?ano=2007](http://www.ic.uff.br/PosGraduacao/lista_dissertacao.php?ano=2007)

### 6.0 - APÊNDICE A: DADOS DO SISTEMA-TESTE BRASILEIRO DE 16 BARRAS [3]

**A-1. Dados de Barra**

Nº	Nome	Tipo	Tensão	Faixa		Área
				Max	Min	
1	Gerador-1	PV	13,8	1,050	0,950	1
2	Barra-2	PQ	345	1,080	0,950	1
3	Barra-3	PQ	345	1,080	0,950	1
4	Barra-4	PQ	230	1,070	0,950	2
5	Barra-5	PQ	230	1,070	0,950	2
6	Barra-6	PQ	230	1,070	0,950	2
7	Barra-7	PQ	230	1,070	0,950	2
8	Barra-8	PQ	230	1,070	0,950	2
9	Síncrono	PV	13,8	1,050	0,950	2
10	Barra-10	PQ	345	1,080	0,950	1
11	Barra-11	PQ	345	1,080	0,950	1
12	Barra-12	PQ	345	1,080	0,950	1
13	Barra-13	PQ	345	1,080	0,950	1
14	Barra-14	PQ	138	1,050	0,950	1
15	Barra-15	PQ	345	1,080	0,950	1
16	Gerador-2	Pθ	13,8	1,050	0,950	2

Coluna	Descrição
Nº	Número de identificação da barra.
Nome	Nome de identificação da barra.
Tipo	Corresponde ao tipo de barra a ser representado nos dados de fluxo de potência, onde: Tipo Pθ = Barra de referência ou swing Tipo PV = Barra de tensão regulada ou de geração Tipo PQ = Barra de carga
Tensão	Tensão nominal de operação da barra, em kV.
Faixa	Faixa de tensão correspondente aos níveis máximos e mínimos de tensão que a barra pode operar em regime permanente, em pu.
Área	Número de identificação da área elétrica ou subsistema ao qual a barra pertence.

## A-2. Dados de Linha

Seqüência Positiva e Negativa									Seqüência Zero	
De	Para	Nº	Tensão	R <sub>+</sub>	X <sub>+</sub>	B	Cn	Ce	R <sub>0</sub>	X <sub>0</sub>
2	3	1	345	0,45	4,96	84,8	300	330	2,64	20,96
2	3	2	345	0,45	4,96	84,8	300	330	2,64	20,96
3	12	1	345	0,24	2,64	45,05	300	330	2,40	7,77
3	15	1	345	0,79	8,38	30,63	200	220	7,70	30,73
3	15	2	345	0,79	8,38	30,63	200	220	7,70	30,73
4	5	1	230	0,69	7,37	26,95	200	220	7,79	30,05
4	5	2	230	0,69	7,37	26,95	200	220	7,79	30,05
5	6	1	230	0,50	5,36	19,6	200	220	5,53	15,19
6	7	1	230	0,60	6,37	23,28	200	220	5,03	18,09
7	8	1	230	0,47	5,03	18,38	200	220	2,48	12,90
10	11	1	345	0,34	3,72	63,6	300	330	3,60	14,0
11	12	1	345	0,39	4,34	74,2	300	330	2,30	18,27
12	13	1	345	0,22	2,48	42,4	300	330	2,40	7,77
12	13	2	345	0,22	2,48	42,4	300	330	2,40	7,77

## A-3. Dados de Impedâncias Mútuas

Linha 1				Linha 2				R <sub>M</sub>	X <sub>M</sub>
De	Para	Nº	Tensão	De	Para	Nº	Tensão		
2	3	1	345	2	3	2	345	2,57	13,72
4	5	1	230	4	5	2	230	3,32	4,86
3	15	1	345	3	15	2	345	11,82	20,94
12	13	1	345	12	13	2	345	2,01	10,67

Coluna	Descrição
De	Número de identificação da barra de origem.
Para	Número de identificação da barra de destino.
Nº	Número de identificação do circuito.
Tensão	Tensão nominal de operação do circuito, em kV.
R <sub>+</sub>	Resistência equivalente de seqüência positiva do circuito, em %.
X <sub>+</sub>	Reatância equivalente de seqüência positiva do circuito, em %.
B	Susceptância shunt total do circuito, em Mvar.
Cn	Capacidade de carregamento do circuito em condições normais de operação, em MVA.
Ce	Capacidade de carregamento do circuito em condições de emergência, em MVA.
R <sub>0</sub>	Resistência equivalente de seqüência zero do circuito, em %.
X <sub>0</sub>	Reatância equivalente de seqüência zero do circuito, em %.
R <sub>M</sub>	Resistência mútua equivalente de seqüência zero do circuito, em %.
X <sub>M</sub>	Reatância mútua equivalente de seqüência zero do circuito, em %.

## A-4. Dados de Transformadores

Seqüência Positiva e Negativa										Seqüência Zero	
De	Para	Nº	RT	Ligação	Pot	X <sub>+</sub>	Tap	Faixa			X <sub>0</sub>
								Min	Max	Pos	
1	2	1	13,8/345	Delta/Estrela aterrado	260	3,0	1,0	1,0	1,0	1	2,73
1	2	2	13,8/345	Delta/Estrela aterrado	260	3,0	1,0	1,0	1,0	1	2,73
3	14	1	345/138	Estrela aterrado/Estrela aterrado	165	8,33	*	0,90	1,10	21	7,56
9	8	1	13,8/230	Delta/Estrela aterrado	190	12,5	1,0	1,0	1,0	1	11,17
10	8	1	345/230	Estrela aterrado/Estrela aterrado	260	10,0	*	0,90	1,10	21	9,26
15	4	1	345/230	Estrela aterrado/Estrela aterrado	300	6,67	*	0,90	1,10	21	5,14
16	6	1	13,8/230	Delta/Estrela aterrado	150	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	4,03
16	6	2	13,8/230	Delta/Estrela aterrado	150	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	4,03
16	6	3	13,8/230	Delta/Estrela aterrado	150	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	4,03

## Tabela das derivações de tapes em pu

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,09	1,10

Coluna	Descrição
De	Número de identificação da barra de origem.
Para	Numero de identificação da barra de destino.
Nº	Número de identificação da unidade transformadora.
RT	Relação de transformação da unidade transformadora, em kV.
Ligação	Forma de ligação dos enrolamentos da unidade transformadora no sistema.
Pot	Potência nominal da unidade transformadora, em MVA.
X <sub>+</sub>	Reatância equivalente de seqüência positiva da unidade transformadora, em %.
Tap	Valor definido do tape da unidade transformadora para operação em tape fixo, em pu.
Faixa Min	Valor mínimo que o tape da unidade transformadora pode assumir para transformadores com variação automática de tape, em pu.
Faixa Max	Valor máximo que o tape da unidade transformadora pode assumir para transformadores com variação automática de tape, em pu.

Coluna	Descrição
Pos	Número de posições entre tape mínimo e tape máximo para transformadores de tape variável.
X <sub>0</sub>	Reatância equivalente de seqüência zero da unidade transformadora, em %.

## A-5. Dados de Máquinas

Geração de Potência Ativa (MW)				
Barra	Nome	Nº de Máquina	Geração Máxima por Máquina	Geração Máxima Total
1	Gerador-1	1	380	380
16	Gerador-2	3	126	378

Geração e Absorção de Reativos (Mvar)						
Barra	Nome	Nº de Máquina	Absorção		Geração	
			Por Máquina	Total	Por Máquina	Total
1	Gerador-1	1	180	180	180	180
9	Síncrono	1	50	50	70	70
16	Gerador-2	3	60	180	60	180

## A-6. Dados de Carga

Barra	Pesada		Média		Leve	
	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar
3	47	31	41	26	26	16
4	106	70	90	60	58	39
5	31	20	26	17	16	11
6	17	12	14	10	10	7
7	15	14	14	12	9	8
8	39	24	33	21	21	13
10	42	30	35	25	23	16
11	40	28	34	23	22	15
12	101	56	86	47	56	31
13	59	34	51	29	33	19
14	57	39	48	33	32	21

## A-7. Dados de Equipamentos de Controle de Tensão

Capacitores Shunt						
Barra	Nome	Tensão	Nº	Potência	Total	Disjuntor
10	Barra-10	345	1	20	20	Sim

Reatores Shunt						
Barra	Nome	Tensão	Nº	Potência	Total	Disjuntor
3	Barra-3	345	1	90	90	Sim
11	Barra-11	345	1	30	30	Sim
13	Barra-13	345	1	30	30	Sim

Coluna	Descrição
Barra	Número de identificação da barra que o equipamento está conectado.
Nome	Nome de identificação da barra que o equipamento está conectado.
Tensão	Tensão nominal do equipamento, em kV.
Nº	Quantidade de equipamentos.
Potência	Potência nominal gerada por equipamento, em Mvar.
Total	Potência total gerada, em Mvar.
Disjuntor	Indica a existência ou não de disjuntor para chaveamento do equipamento, ou seja, se o equipamento é manobrável através de disjuntor.

## A-8. Modelo e Dados de Geradores

Nota: O modelo de gerador utilizado foi o MD02 do programa Anatem para pólos salientes que utiliza um enrolamento de campo e dois enrolamentos amortecedores, sendo um no eixo direto e outro no eixo em quadratura.

Bar	Nome	Nº	Ld	Lq	L'd	L''d	LI	T'd	T''d	T''q	H	P	FP	T
1	Gerador-1	1	100,0	69,0	30,0	20,0	14,0	5,7	0,060	0,160	4,910	422	0,9	H
9	Síncrono	1	198,0	125,0	43,0	25,0	17,7	9,2	0,093	0,041	1,270	70	-	-
16	Gerador-2	3	102,0	67,0	32,0	28,0	18,0	6,29	0,07	0,17	2,17	140	0,9	H

Coluna	Descrição
Bar	Número de identificação da barra onde está ligada a unidade geradora.
Nome	Nome da unidade geradora.
Nº	Número de identificação da unidade geradora.
Ld	Indutância síncrona de eixo direto, em %.
Lq	Indutância síncrona de eixo em quadratura, em %.
L'd	Indutância transitória de eixo direto, em %.
L''d	Indutância subtransitória de eixo direto, em %.
LI	Indutância de dispersão da armadura, em %.

Coluna	Descrição
T'd	Constante de tempo transitória de eixo direto em circuito aberto, em segundos.
T''d	Constante de tempo subtransitória de eixo direto em circuito aberto, em segundos.
T''q	Constante de tempo subtransitória de eixo em quadratura em circuito aberto, em segundos.
H	Constante de inércia, em segundos. Representa a relação entre a energia cinética armazenada no grupo turbina-gerador, à velocidade síncrona, e a potência aparente nominal da máquina.
P	Potência aparente da unidade geradora, em MVA.
FP	Fator de potência da unidade geradora.
T	Tipo de fonte de energia da usina: H= Hidráulica e T=Térmica

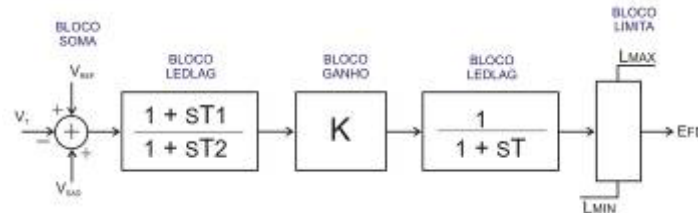
#### A-9. Curva de Saturação

Núm	Máq	Y1	Y2	X1
1	Gerador-1	0,0248	6,6089	0,8
2	Gerador-2	0,02529	7,5413	0,8
3	Síncrono	0,019	8,371	0,8

Coluna	Descrição
Núm	Número de identificação da curva de saturação.
Máq	Nome da unidade geradora.
Y1	Valor do parâmetro A
Y2	Valor do parâmetro B
X1	Valor do parâmetro C

#### A-10. Modelo e Dados do Sistema de Controle de Excitação - Regulador de Tensão

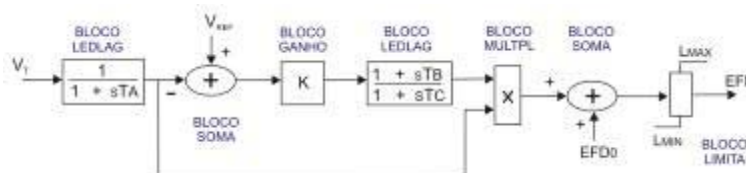
Nota-1: O modelo de regulador de tensão utilizado nos geradores foi baseado no modelo MD02 do programa Anatem, e corresponde a um sistema de excitação estática com dois blocos "avanço-atraso", conforme o diagrama de blocos mostrado na figura a seguir:



Núm	Máq	K	T	T1	T2	Lmax	Lmin
11	Gerador-1	50	0,003	1,0	5,0	5	-4
12	Gerador-2	50	0,003	1,0	5,0	5	-4

Coluna	Descrição
Núm	Número de identificação do modelo de regulador de tensão usado no arquivo de dados.
Máq	Nome da unidade geradora.
K	Ganho do sistema de excitação, em pu/pu.
T	Constante de tempo efetiva na ação de regulação de tensão, em segundos.
T1	Constante de tempo de avanço do compensador de fase do regulador de tensão, em segundos.
T2	Constante de tempo de atraso do compensador de fase do regulador de tensão, em segundos.
Lmax	Limite superior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
Lmin	Limite inferior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
Vt	Sinal de entrada do regulador de tensão, em pu.
Vsad	Sinal estabilizador aplicado no regulador de tensão, em pu.
Vref	Sinal de referência, em pu.
Efd	Tensão de campo da máquina, em pu.

Nota-2: O modelo de regulador de tensão utilizado para o compensador síncrono corresponde a um modelo de excitação estática, utilizado na máquina de Salto Caxias do sistema elétrico brasileiro, conforme o diagrama de blocos mostrado na figura a seguir:



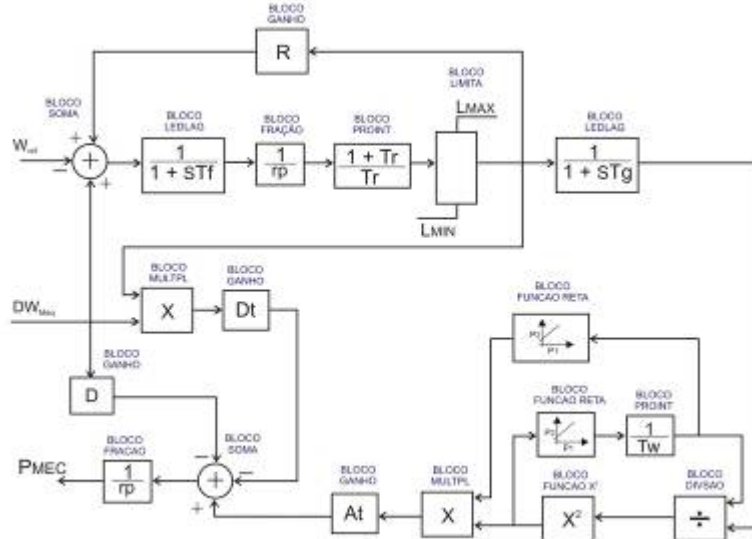
Núm	Máq	K	TA	TB	TC	Lmax	Lmin
13	Síncrono	200	0,016	1,2	6,0	4	-3,4

Coluna	Descrição
Núm	Número de identificação do modelo de regulador de tensão usado no arquivo de dados.
Máq	Nome da unidade geradora.
K	Ganho do sistema de excitação, em pu/pu.
TA	Constante de tempo do transdutor de tensão, em segundos.
TB	Constante de tempo de avanço do compensador de fase do regulador de tensão, em segundos.
TC	Constante de tempo de atraso do compensador de fase do regulador de tensão, em segundos.

Coluna	Descrição
Lmax	Limite superior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
Lmin	Limite inferior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
Vt	Sinal de entrada do regulador de tensão, em pu.
Vref	Sinal de referência, em pu.
Efd	Tensão de campo da máquina, em pu.
Efd0	Valor inicial da tensão de campo da máquina, em pu.

#### A-11. Modelo e Dados do Sistema de Controle de Velocidade e Turbina - Regulador de Velocidade

Nota: O Modelo de regulador de velocidade utilizado foi o da UHE Furnas que consta do banco de dados dinâmicos do sistema elétrico brasileiro e corresponde ao modelo 10 (PTI Padrão) conforme o diagrama de blocos mostrado na figura a seguir:

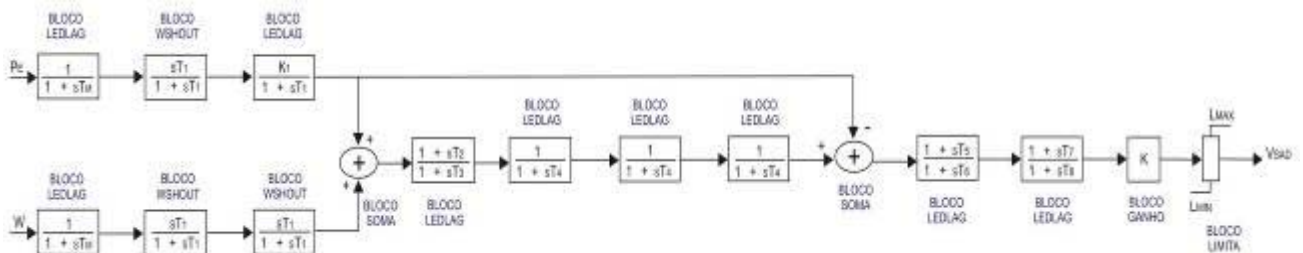


Núm	Máq	At	D	Dt	Lmax	Lmin	PBmaq	Pbtur	Qnl	R	rp	Tf	Tg	Tr	Tw
21	Gerador-1	1,2	1,0	0,5	0,984	0,0	422	422	0,15	0,05	0,38	0,05	0,5	7,0	1,5
22	Gerador-2	1,2	1,0	0,5	0,984	0,0	140	140	0,15	0,05	0,38	0,05	0,5	7,0	1,5

Coluna	Descrição
Núm	Número de identificação do modelo de regulador de tensão usado no arquivo de dados.
Máq	Nome da unidade geradora.
At	Ganho da turbina, em pu/pu.
D	Fator de amortecimento da carga, em pu
Dt	Fator de amortecimento da turbina, em pu
Lmax	Limite superior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
Lmin	Limite inferior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
PBmaq	Potência base do gerador, em MVA.
PBtur	Potência base da turbina em MW.
Qnl	Vazão sem carga, em pu.
R	Estatismo permanente, em pu.
rp	Estatismo transitório, adimensional.
Tf	Constante de tempo de filtragem, em segundos.
Tg	Constante de tempo do servomotor, em segundos.
Tr	Constante de tempo do regulador, em segundos.
Tw	Constante de tempo da água, em segundos.
Wref	Sinal de referência, em pu.
DWmaq	Desvio da velocidade angular da máquina, em pu.
PMEC	Potência mecânica da máquina, em pu na base da máquina.

#### A-12. Modelo e Dados do Sistema Estabilizador (PSS) Aplicado ao Regulador de Tensão

Nota: O Modelo de estabilizador utilizado foi o MD11 do programa Anatem, que apresenta duas entradas de sinal: velocidade ou frequência e potência elétrica, conforme o diagrama de blocos mostrado na figura a seguir:



Num	Máq	K	K1	TM	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Lmax	Lmin
31	Gerador-1	2,0	0,31	0,02	3,0	0,4	0,1	0,1	0,2	0,04	0,36	0,12	0,1	-0,1
32	Gerador-2	2,0	0,69	0,02	3,0	0,4	0,1	0,1	0,2	0,04	0,36	0,12	0,1	-0,1

Coluna	Descrição
Núm	Número de identificação do modelo de estabilizador aplicado em regulador de tensão.
Máq	Nome da unidade geradora.
K	Ganho do sistema de excitação, em pu/pu.
K1	Constante dada pela relação de T1 dividido por 2H.
TM	Filtro de transdução, em segundos.
T1	Valor de reset, em segundos.
T2, T3	Constante de tempo efetiva na ação de regulação de tensão, em segundos.
T4	Constante de tempo do rastreador de rampa, em segundos.
T5, T7	Constante de tempo de avanço do compensador de fase do regulador de tensão, em segundos.
T6, T8	Constante de tempo de atraso do compensador de fase do regulador de tensão, em segundos.
Lmax	Limite superior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
Lmin	Limite inferior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
W	Desvio da velocidade angular da máquina, em pu.
PE	Potência elétrica ativa gerada pela máquina, em pu na base da máquina.
VSAD	Sinal estabilizador aplicado no regulador de tensão, em pu.

Observações	
(i)	Os valores em por cento (%) corresponde ao valor em pu multiplicado por 100.
(ii)	Os parâmetros estão referenciados a potência base do sistema, igual a 100 MVA, e a tensão nominal.
(iii)	Todas as linhas de transmissão suportam uma sobrecarga de até 10% por um tempo máximo de 60 minutos. Este valor corresponde ao limite de curta duração que é determinado pela capacidade física do equipamento e de seus respectivos acessórios na condução de corrente.
(iv)	Todas as linhas de transmissão são do tipo aérea.
(v)	Os transformadores elevadores das usinas estão ligados em Delta no lado de baixa (usina) e Estrela aterrada no lado de alta tensão (linha).
(vi)	Todos os transformadores são de dois enrolamentos e suportam uma sobrecarga de até 10% por um tempo máximo de 30 minutos.
(vii)	(*) Indica que o valor do tape é variável e depende do ponto de operação. Não desejando que ele varie, pode-se fixá-lo num determinado valor dentro da faixa de operação, conforme tabela de tapes.
(viii)	As reatâncias dos transformadores correspondem ao valor de XPS para representação em fluxo de potência.
(ix)	As variações de tensão nas barras provocadas por chaveamento de reatores ou capacitores não deverão exceder a 10% dos níveis estabelecidos.

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

### *Eng. Waschington Fernandes Alves.*

Nascido no Rio de Janeiro em 11 de maio de 1964. Mestrado (2007): UFF, Pós Graduação (2001): PUC/RJ e Graduação (1995) em Engenharia Elétrica: UGF. Empresa: Eletrobrás, desde 1986, C-ele: [waschin@eletrobras.com](mailto:waschin@eletrobras.com)

### *Prof. Marcus Theodor Schilling*

Nascido no Rio de Janeiro em 18 de julho de 1951. Graus obtidos na área de Engenharia Elétrica: Doutorado (1985), COPPE/UFRJ, Mestrado (1979), COPPE/UFRJ, Graduação (1974), PUC/RJ.

P. Eng. ("Professional Engineer", PEO, Canadá), CREA (Brasil), IEEE Fellow (EUA).

Instituições: Furnas, Eletrobrás, Universität Dortmund (Alemanha), Ontario Hydro (Canadá), PUC/RJ, Cepel, UFF.

Ex-Chefe (1999) da Divisão de Estudos Elétricos da Eletrobrás (DOEL), Ex-Coordenador do Subgrupo de Confiabilidade (SGC/GCPS, Eletrobrás). Professor Titular do Depto de Eng. Elétrica da UFF, Consultor na área de confiabilidade de sistemas de potência, C-ele: [schilling@ic.uff.br](mailto:schilling@ic.uff.br)

### *Prof. Milton Brown Do Coutto Filho*

Nascido no Rio de Janeiro em 10 de julho de 1953. Graus obtidos na área de Engenharia Elétrica: Doutorado (1983) - COPPE/UFRJ; Mestrado (1978) - COPPE/UFRJ; Graduação (1975) - PUC/Rio.

CREA (Brasil), IEEE Senior Member (EUA).

Instituições: PUC/Rio, UFF.

Professor Titular do Depto de Ciência da Computação da UFF, Consultor na área de análise de sistemas elétricos de potência, C-ele: [mbrown@ic.uff.br](mailto:mbrown@ic.uff.br)

### *Prof. Julio Cesar Stacchini de Souza*

Nascido no Rio de Janeiro em 26 de junho de 1963. Doutorado (1996): PUC/RJ, Mestrado (1991): PUC/RJ, Graduação (1987) em Engenharia Elétrica: UFF.

CREA (Brasil), IEEE Senior Member (EUA).

Instituições: GE, UFF.

Professor Associado do Depto de Eng. Elétrica da UFF, Consultor na área de computação inteligente aplicada a sistemas de potência, C-ele: [julio@ic.uff.br](mailto:julio@ic.uff.br)