

### 3.4. Sistema-Teste Brasileiro de 16 Barras (STB-16)

Na Figura 3.2 apresenta-se a rede do sistema-teste com 16 barras, extraído a partir de dados do sistema de Furnas da região Goiás/Brasília, em três níveis de tensão (138kV, 230kV e 345kV). Este sistema foi montado a partir de trechos emendados do sistema elétrico daquela região, porém sem apresentar uma similaridade de topologia. Possui duas áreas elétricas, área 1 que concentra a rede de alta tensão (345kV) e a área 2 que fica com a rede de baixa tensão (230kV). Possui dois geradores com capacidade instalada total 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. A rede de transmissão em malha fechada com circuitos simples e duplos, totalizando quatorze circuitos. Possui três transformadores de interligação de níveis de tensão diferentes e para controle de tensão, um compensador síncrono ligado à barra 9 e dispositivos em derivação: três reatores e um capacitor. As cargas estão bem distribuídas, praticamente em todas as barras do sistema.

Trata-se de um sistema ainda com aspecto didático (os nome das barras são fictícios), mas apresentando características de um sistema real. Para este sistema, foram

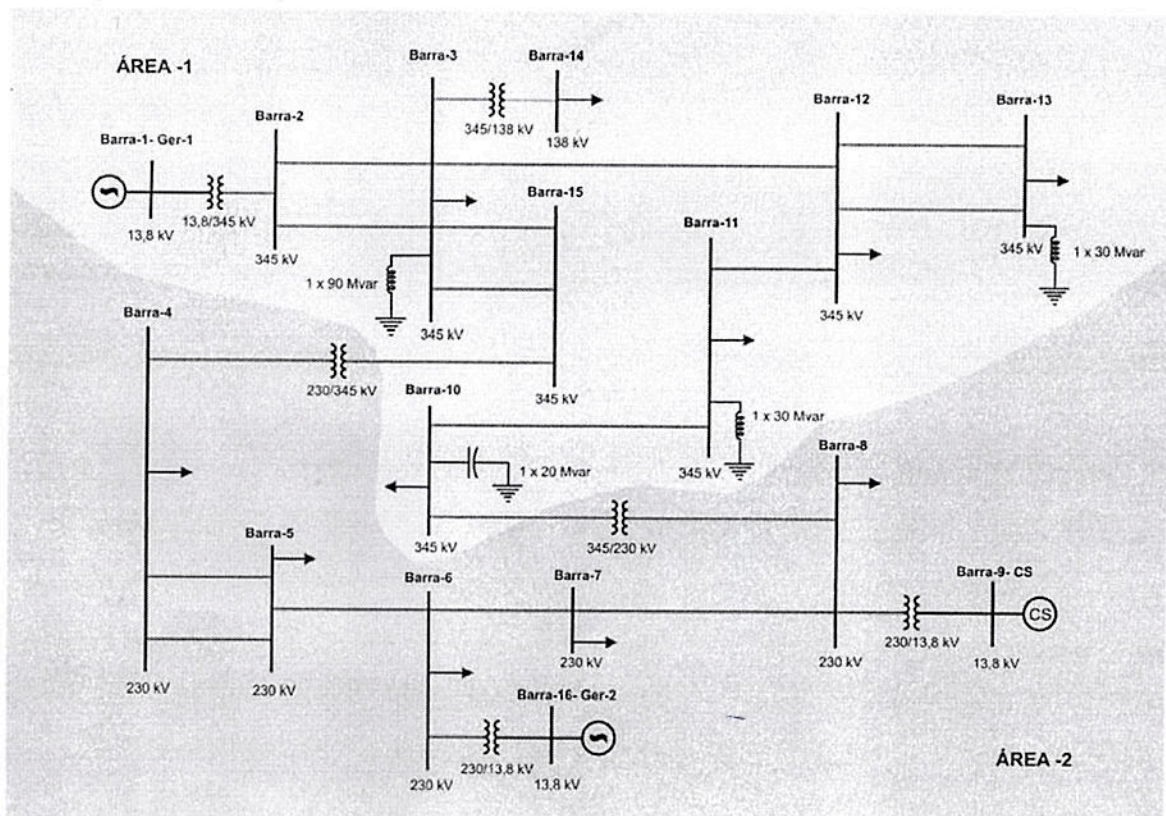


Figura 3.2 - Diagrama unifilar do sistema-teste brasileiro de 16 barras (STB-16)

## ADENDO II

### A-2. DADOS DO SISTEMA-TESTE DE 16 BARRAS (STB-16)

Apresentam-se aqui dados, parâmetros elétricos e modelos dinâmicos do sistema-teste de 16 barras proposto no item 3.4 desta Dissertação. No final, uma tabela com as observações acerca dos dados é apresentada.

#### A-2.1. 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	V0	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 V0 = 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-2.2. 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

Impedância Mútua entre Linhas									
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 %.
Linha 1	Primeira linha de transmissão ou circuito um no caso de circuitos paralelos.
Linha 2	Segunda linha de transmissão ou circuito dois no caso de circuitos paralelos.
R <sub>M</sub>	Parte resistiva da impedância mútua (seqüência zero do circuito), em %.
X <sub>M</sub>	Parte reativa da impedância mútua (seqüência zero do circuito), em %.

## A-2.3. 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

Seqüência Positiva e Negativa											Seqüência Zero
De	Para	N°	RT	Ligação	Pot	X <sub>+</sub>	Tap	Faixa			X <sub>0</sub>
								Min	Max	Pos	
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.
N°	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.
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-2.4. Dados de Carga

Barra	Patamares de Carga					
	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
<b>Total</b>	<b>554</b>	<b>358</b>	<b>472</b>	<b>303</b>	<b>306</b>	<b>196</b>



### A-2.5. Dados de Equipamentos de Controle de Tensão

Capacitores Shunt						
Barra	Nome	Tensão	Nº	Potência	Total	Manobrável
10	Barra-10	345	1	20	20	Sim
<b>Total</b>			<b>1</b>		<b>20</b>	

Reatores Shunt						
Barra	Nome	Tensão	Nº	Potência	Total	Manobrável
3	Barra-3	345	1	90	90	Sim
11	Barra-11	345	1	30	30	Sim
13	Barra-13	345	1	30	30	Sim
<b>Total</b>			<b>3</b>		<b>150</b>	

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.
Manobrável	Indica a existência ou não de disjuntor para chaveamento do equipamento, ou seja, se o equipamento é manobrável através de disjuntor.

### A-2.6. Dados de Máquinas

Geração de Potência Ativa (MW)				
Barra	Nome	Nº de Máquinas	Geração Máxima por Máquina	Geração Máxima Total
1	Gerador-1	1	380	380
16	Gerador-2	3	126	378
	<b>Total</b>			<b>758</b>

Geração e Absorção de Reativos das Máquinas (Mvar)						
Barra	Nome	Nº de Máquinas	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
	<b>Total</b>			<b>410</b>		<b>430</b>

## A-2.7. Modelo e Dados de Geradores

*Nota:* O modelo de gerador utilizado foi o MD02 do programa ANATEM [14] 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	Xd	Xq	X'd	X''d	Xl	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	Número da unidade geradora.
Nº	Número de unidades geradoras da usina.
Xd	Reatância síncrona de eixo direto por máquina, em %.
Xq	Reatância síncrona de eixo em quadratura por máquina, em %.
X'd	Reatância transitória de eixo direto por máquina, em %.
X''d	Reatância subtransitória de eixo direto por máquina, em %.
Xl	Reatância de dispersão da armadura por máquina, em %.
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 nominal da unidade geradora, em MVA, usada como base para os parâmetros.
FP	Fator de potência da unidade geradora.
T	Tipo de fonte de energia da usina: H= Hidráulica e T=Térmica