

**ESTUDO DA ALTERNATIVA DE
TRANSMISSÃO EM CA – LINHA DE POUCO
MAIS DE MEIO COMPRIMENTO DE ONDA**

RT001

**ANÁLISE PRELIMINAR DA MANOBRA DE
ENERGIZAÇÃO DE UM TRONCO DE 2600 km DE
LINHAS 500 kV**

**Maria Cristina Tavares
UNICAMP / FEEC
Agosto/2007**

ÍNDICE

I.	INTRODUÇÃO.....	1
II.	DESCRIÇÃO DO SISTEMA.....	3
II.1	Tronco Norte-Sul I	3
II.2	Tronco Norte-Sul II	4
II.3	Tronco Nordeste-Sudeste	5
II.4	Dados dos Pára-Raios.....	6
II.5	Dados de Serra da Mesa	7
II.6	Sistema de 500 kV Simulado.....	9
III.	SIMULAÇÕES REALIZADAS	10
III.1	- Resultados Obtidos no PSCAD.....	11
III.2	Resultados Obtidos no ATP – Caso Estatístico.....	16
IV.	INFORMAÇÕES A SEREM FORNECIDAS PARA A SEGUNDA FASE DO ESTUDO	19
V.	VERIFICAÇÕES A SEREM EFETUADAS	20
VI.	CONCLUSÕES	22

ANÁLISE PRELIMINAR DA MANOBRA DE ENERGIZAÇÃO DE UM TRONCO DE 2600 km DE LINHAS 500 kV

I. INTRODUÇÃO

Neste relatório RT001 são apresentados os resultados preliminares do estudo da manobra de energização das linhas de 500 kV para avaliar o comportamento de uma linha de pouco mais de meio comprimento de onda.

Esta análise foi realizada a partir de informações disponíveis sobre as silhuetas das torres, tipo de condutores, resistividade média do solo, comprimento dos trechos de linha, pára-raios de linha dos troncos Norte Sul I e II e distância entre os troncos Norte-Sul I e II. As linhas nesta primeira etapa do estudo foram supostas idealmente transpostas e o acoplamento entre os troncos Norte-Sul I e II não foi representado. Apesar de não se esperar mudanças importantes nos valores de sobretensões obtidos, e para poder-se comparar os resultados simulados com os que serão medidos em campo, faz-se necessário que dados reais sejam fornecidos para numa segunda fase de simulações.

A simulação base foi realizada supondo que as linhas fossem energizadas a partir da Subestação de Serra da Mesa, com 03 grupos geradores em operação, sem o uso de resistor de pré-inserção. O sentido de conexão foi Serra da Mesa – Imperatriz via Norte Sul I; Imperatriz – Serra da Mesa via Norte Sul II; Serra da Mesa – Bom Jesus da Lapa via Nordeste-Sudeste. Na Figura 1 é apresentado um diagrama unifilar do circuito. Todos os equipamentos de compensação reativa foram supostos desconectados, especificamente os reatores em derivação, os capacitores série e os TCSC, devendo os últimos estarem curto-circuitados.

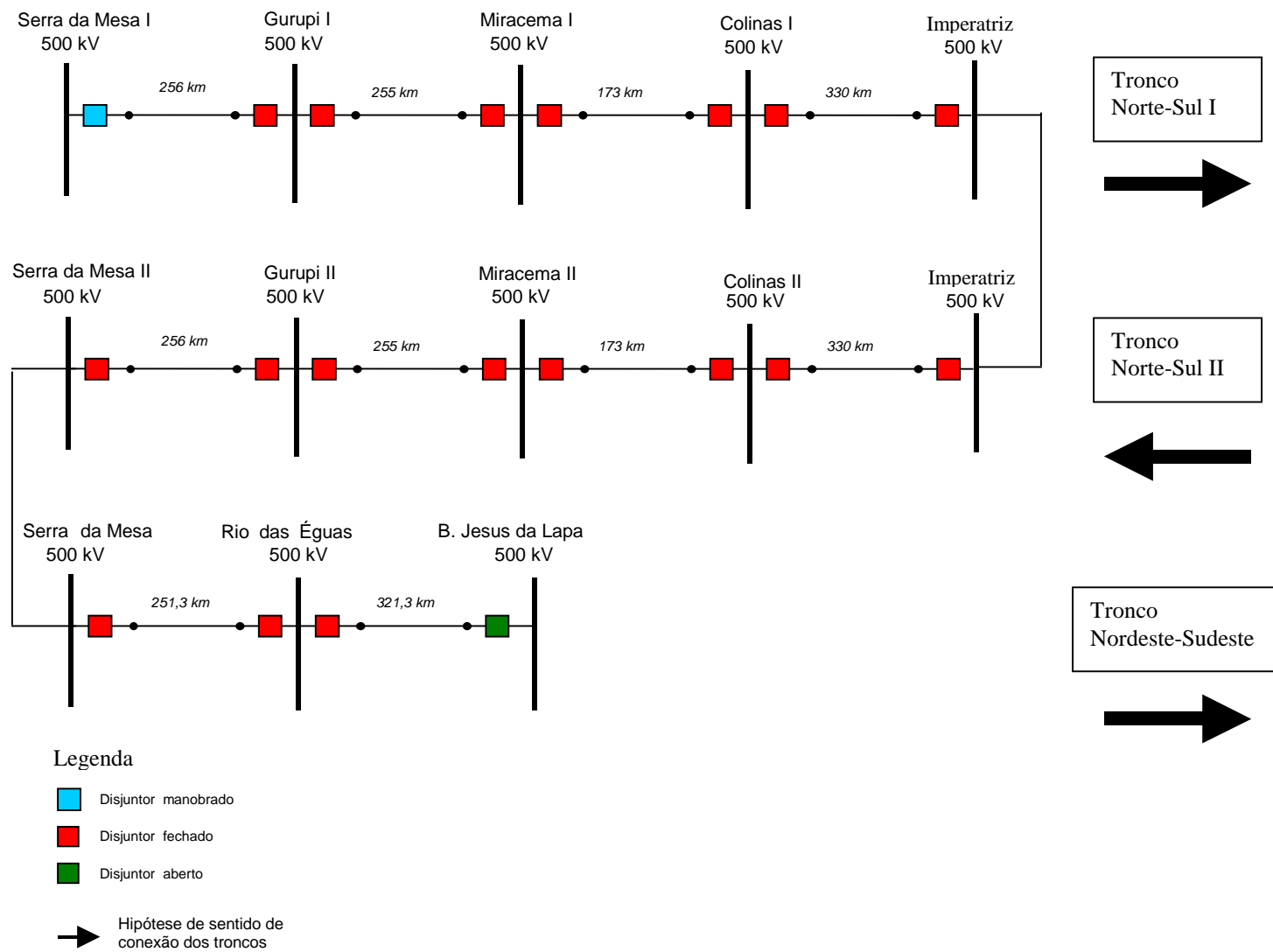


Figura 1- Diagrama unifilar da “linha de pouco mais de meio comprimento de onda” – 500 kV

II. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

A seguir são apresentadas as características básicas dos casos simulados. As linhas foram supostas idealmente transpostas e o acoplamento entre os troncos Norte-Sul I e II não foi representado.

II.1 Tronco Norte-Sul I

A silhueta da torre utilizada é apresentada na Figura 2. Esta silhueta foi utilizada especificamente para as linhas Serra da Mesa - Gurupi – Miracema – Colinas – Imperatriz. A resistividade do solo foi suposta igual a $4000 \Omega.m$ para toda a extensão do tronco. Os dados dos condutores utilizados estão apresentados na Tabela 1. Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros longitudinais e transversais por unidade de comprimento da linha, em componentes de sequência, calculados para a frequência de 60 Hz. Estes dados foram utilizados nas simulações de ATP, onde a linha foi representada através de modelo simples de parâmetros distribuído, sem a modelagem da dependência dos parâmetros longitudinais com a frequência. A correta representação dos parâmetros longitudinais deverá resultar em sobretensões um pouco menores do que as encontradas na presente análise preliminar. A próxima etapa do estudo deverá incluir uma melhor representação da linha e o acoplamento entre os troncos Norte-Sul I e II.

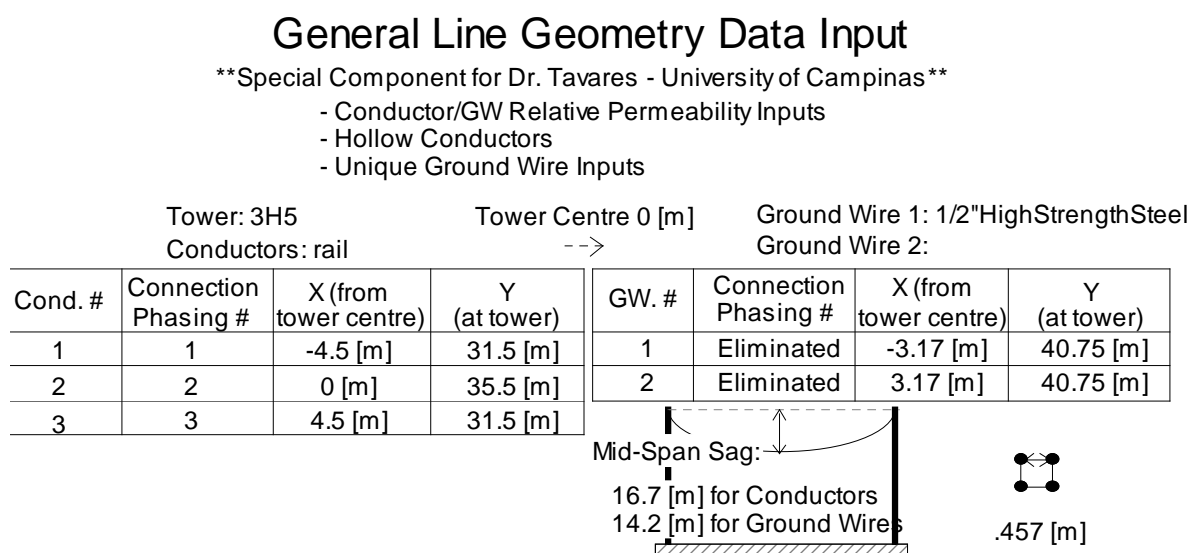


Figura 2 - Silhueta das torres das linhas do tronco Norte-Sul I

Tabela 1 - Dados dos condutores das torres das linhas do tronco Norte-Sul I

Condutor	Resistência unitária [Ω /km]	Rext [m]	Rint [m]	μ_r
RAIL	0,0614	0,014795	0,0037	1
PR - Aço galv EHS	3,51	0,00457	-	70
OPGW	0,405	0,00695	-	70

Tabela 2 – Parâmetros unitários longitudinais e transversais das linhas do tronco Norte-Sul I
calculados para 60 Hz

Seqüência	Resistência [Ω /km]	Reatância indutiva [Ω /km]	Susceptância [μ S/km]
Zero	0,324303927	1,37639888	2,74171359
Positiva	0,0198327539	0,266903723	6,08082036

II.2 Tronco Norte-Sul II

A silhueta da torre utilizada é apresentada na Figura 3. Esta silhueta foi utilizada especificamente para as linhas Imperatriz - Colinas - Miracema - Gurupi - Serra da Mesa. A resistividade do solo foi suposta igual a 4000 Ω .m para toda a extensão do tronco. Os dados dos condutores utilizados estão apresentados na Tabela 3. Na Tabela 4 são apresentados os parâmetros longitudinais e transversais por unidade de comprimento da linha, em componentes de seqüência, calculados para a frequência de 60 Hz. Estes dados foram utilizados nas simulações de ATP, onde a linha foi representada através de modelo simples de parâmetros distribuído, sem a modelagem da dependência dos parâmetros longitudinais com a frequência. A correta representação dos parâmetros longitudinais deverá resultar em sobretensões um pouco menores do que as encontradas na presente análise preliminar. A próxima etapa do estudo deverá incluir uma melhor representação da linha e o acoplamento entre os troncos Norte-Sul I e II.

General Line Geometry Data Input

Special Component for Dr. Tavares - University of Campinas

- Conductor/GW Relative Permeability Inputs
- Hollow Conductors
- Unique Ground Wire Inputs

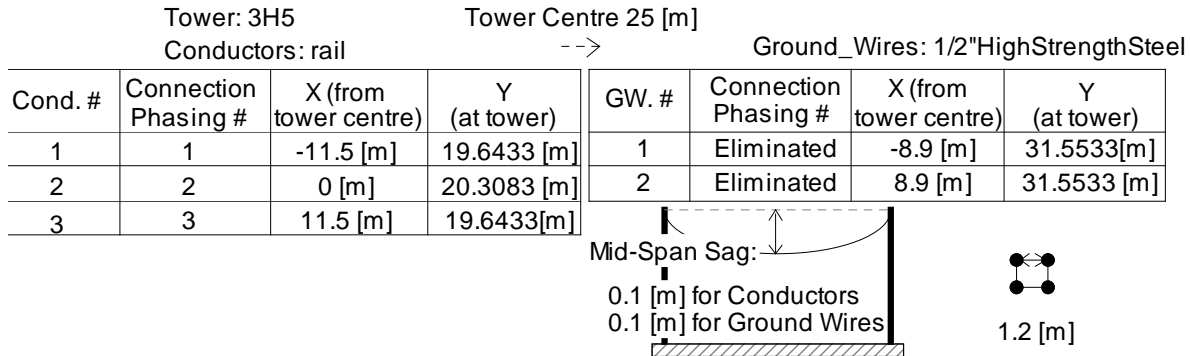


Figura 3 - Silhueta das torres das linhas do tronco Norte-Sul II

Tabela 3 - Dados dos condutores das torres das linhas do tronco Norte-Sul II

Condutor	Resistência unitária [Ω/km]	Rext [m]	Rint [m]	μr
RAIL	0,0614	0,014795	0,0037	1
PR - Aço galv EHS	3,51	0,00457	-	70

Tabela 4 – Parâmetros unitários longitudinais e transversais das linhas do tronco Norte-Sul II
calculados para 60 Hz

Seqüência	Resistência [Ω/km]	Reatância indutiva [Ω/km]	Susceptância [μS/km]
Zero	0,355735418	1,42521984	3,58461397
Positiva	0,0199493468	0,268508460	6,16648040

II.3 Tronco Nordeste-Sudeste

A silhueta da torre utilizada é apresentada na Figura 4. Esta silhueta foi utilizada especificamente para as linhas Serra da Mesa – Rio das Éguas – Bom Jesus da Lapa. A resistividade do solo foi suposta igual a 4000 Ω.m para toda a extensão do tronco. Os dados dos condutores utilizados estão apresentados na Tabela 5. Na Tabela 6 são apresentados os parâmetros longitudinais e transversais por unidade de comprimento da linha, em componentes de seqüência, calculados para a frequência de 60 Hz. Estes dados foram utilizados nas simulações de ATP, onde a linha foi representada através de modelo simples de parâmetros distribuído, sem a modelagem da dependência dos parâmetros longitudinais com a frequência. A correta representação dos parâmetros longitudinais deverá resultar em

sobretensões um pouco menores do que as encontradas na presente análise preliminar. A próxima etapa do estudo deverá incluir uma melhor representação da linha.

General Line Geometry Data Input

Special Component for Dr. Tavares - University of Campinas

- Conductor/GW Relative Permeability Inputs
- Hollow Conductors
- Unique Ground Wire Inputs

Tower: 3H5				Tower Centre 0 [m]			
Conductors: rail				Ground_Wires: 1/2"HighStrengthSteel			
Cond. #	Connection Phasing #	X (from tower centre)	Y (at tower)	GW. #	Connection Phasing #	X (from tower centre)	Y (at tower)
1	1	-11.5 [m]	37.05 [m]	1	Eliminated	-8.9 [m]	46.5[m]
2	2	0 [m]	37.715 [m]	2	Eliminated	8.9 [m]	46.5 [m]
3	3	11.5 [m]	37.05[m]				

Figura 4 - Silhueta das torres das linhas do tronco Nordeste-Sudeste

Tabela 5 - Dados dos condutores das torres das linhas do tronco Nordeste-Sudeste

Condutor	Resistência unitária [Ω/km]	Rext [m]	Rint [m]	μr
RAIL	0,0614	0,014795	0,0037	1
Aço galv EHS	3,51	0,00457	-	70

Tabela 6 – Parâmetros unitários longitudinais e transversais das linhas do tronco Nordeste-Sudeste calculados para 60 Hz

Sequência	Resistência [Ω/km]	Reatância indutiva [Ω/km]	Susceptância [μS/km]
Zero	0,357640199	1,42834687	3,52370352
Positiva	0,0199706270	0,273449634	6,04576819

II.4 Dados dos Pára-Raios

A característica dos pára-raios utilizados em todas as subestações é apresentada na Tabela 7 e na Figura 5. Estes dados correspondem à característica máxima dos pára-raios de linha do tronco Nordeste-Sudeste.

Tabela 7 – Característica dos pára-raios – Tensão nominal 420 kV

Corrente		Tensão	
[A]	[kA]	[V]	[pu]
0,01	0,00001	643720	1,532667
10	0,01	684230	1,629119
50	0,05	721270	1,71731
100	0,1	738700	1,75881
200	0,2	756140	1,800333
400	0,4	775750	1,847024
700	0,7	793180	1,888524
1000	1	806260	1,919667
2000	2	830230	1,976738
5000	5	873810	2,0805

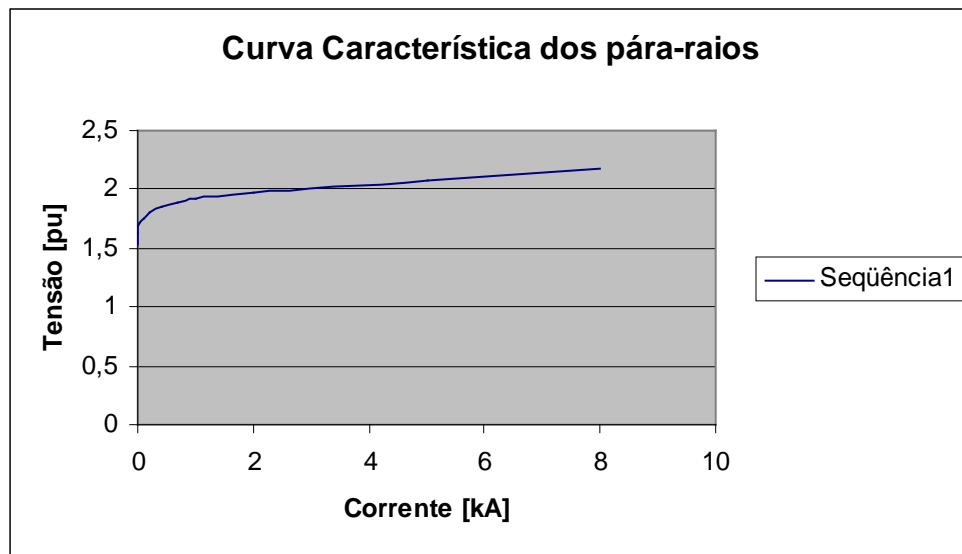


Figura 5 – Curva característica dos pára-raios utilizados junto a todas linhas

II.5 Dados de Serra da Mesa

Para a energização da “linha de pouco mais de meio comprimento de onda” supõe-se que estariam em operação 03 grupos geradores. Os dados dos geradores de Serra e dos transformadores elevadores são apresentados, respectivamente, na Tabela 8 e na Tabela 9.

Tabela 8 – Resumo dos parâmetros básicos dos geradores em Serra da Mesa

No. Unidades	3
MVA	472,5
P máx [MW]	431
P mín [MW]	108
Q máx [Mvar]	190
Q mín [Mvar]	-190
Xt % (base 100 MVA)	2,507
Xd % (base máq)	93,4
Xq %	61,1
X'd %	29
X"d %	27,2
Unom [kV]	15
X"d [Ω]	0,12952
Xq [Ω]	0,29095
T"d0 [s]	0,091
T"q0 [s]	0,205
R equiv [Ω]	0,00377

Tabela 9 – Dados de 01 transformador elevador de Serra da Mesa em formato ATP

C	DADOS EM OHMS	XOPT = COPT = 60
C	TRANSFORMADOR ELEVADOR DE S.MESA 525(Y)/15.0(D) - 472.6 MVA (1 TRAFO)	
C	-----	
C		
C	TRANSFORMER	[I] [FI] BUSTOP [Rmag]
C	TRANSFORMER	3.091171.1SMTR_A
C	I	[FI]
	3.09	1171.1
	12.29	1262.1
	27.47	1387.2
	55.84	1535.0
	96.36	1569.1
	153.07	1591.8
	664.59	1762.4
	9999	
C	[BUS1][BUS2]	[R] [X] [V]
	1SM500A	0.79531.338303.11
	2SM15_ASM15_B	.00300 .0846 15.0
C		
C	TRANSFORMER [REF]	BUSTOP
	TRANSFORMER SMTR_A	SMTR_B
C	[BUS1][BUS2]	[R] [X] [V]
	1SM500B	
	2SM15_BSM15_C	
C		
C	TRANSFORMER [REF]	BUSTOP
	TRANSFORMER SMTR_A	SMTR_C
C	[BUS1][BUS2]	[R] [X] [V]
	1SM500C	
	2SM15_CSM15_A	
C		
C	ATERRAMENTO DO TERCIARIO DO TRANSFORMADOR	
C	[BUS1][BUS2][REF1][REF2]	[R] [XL] [YC]
	SM15_A	1.131
	SM15_B	1.131
	SM15_C	1.131

II.6 Sistema de 500 kV Simulado

A simulação base foi realizada supondo que as linhas fossem energizadas a partir da Subestação de Serra da Mesa, com 03 grupos geradores em operação, sem o uso de resistor de pré-inserção. O sentido de conexão foi Serra da Mesa – Imperatriz via Norte Sul I; Imperatriz – Serra da Mesa via Norte Sul II; Serra da Mesa – Bom Jesus da Lapa via Nordeste-Sudeste. Na Figura 1 é apresentado um diagrama unifilar do circuito. Na Tabela 10 são apresentados os comprimentos de cada trecho de linha e na Tabela 11 são listados os locais de medição para acompanhamento das tensões ao longo da “linha de pouco mais de meio comprimento de onda”.

Tabela 10 – Comprimento dos trechos de linha 500 kV

de	para	km
Serra da Mesa	Gurupi I	256
Gurupi I	Miracema I	255
Miracema I	Colinas I	173
Colinas I	Imperatriz I	330
Imperatriz II	Colinas II	330
Colinas II	Miracema II	173
Miracema II	Gurupi II	255
Gurupi II	Serra da Mesa II	256
Serra da Mesa II	Rio das Éguas	251
Rio das Éguas	Bom Jesus da Lapa	322
TOTAL		2601

Tabela 11 – Locais de medição

Subestação	km
Serra da Mesa	0
Gurupi I	256
Miracema I	511
Colinas I	684
Imperatriz	1014
Colinas II	1344
Miracema II	1517
Gurupi II	1772
Serra da Mesa II	2028
Rio das Éguas	2279
Bom Jesus da Lapa	2601

III. SIMULAÇÕES REALIZADAS

Foram realizadas simulações da manobra de energização da “linha de pouco mais de meio comprimento de onda” via Serra da Mesa (Norte-Sul I – Norte-Sul II – Nordeste-Sudeste), sendo que nesta etapa não foi representado o efeito do acoplamento entre os troncos Norte-Sul I e II. Este acoplamento não deve alterar significativamente os valores máximos das sobretensões obtidos nos primeiros instantes após a manobra de energização, pois a ordem de grandeza da tensão induzida é muito menor do que a amplitude das ondas viajantes. No entanto, o acoplamento deve ser representado corretamente na próxima etapa de simulação, pois esta avaliação preliminar foi realizada supondo um afastamento de 40 m entre troncos e pode variar em função do afastamento real e do sentido das transposições.

A manobra de energização foi simulada nos seguintes ambientes :

- a. PSCAD/EMTDC, com representação da dependência com a frequência dos parâmetros longitudinais da linha;
- b. ATP, com representação através do modelo de parâmetros distribuídos, sem representação da dependência com a frequência dos parâmetros longitudinais da linha.

Os resultados obtidos nos dois ambientes estão coerentes, as sobretensões obtidas no PSCAD são um pouco menores do que as obtidas no ATP, sendo que os resultados do PSCAD devem ser mais próximos dos que deverão ocorrer em campo devido à representação das linhas ser mais próxima da real.

No ambiente ATP foi efetuada uma análise estatística com 200 casos para avaliar o efeito da dispersão dos contatos do disjuntor. O disjuntor de Serra da Mesa foi manobrado sem nenhum método para auxiliar no controle de sobretensões ao longo da linha, exceto os pára-raios de linha que estão localizados nos extremos das linhas. Não foi, portanto, não foi utilizado o resistor de pré-inserção para reduzir as sobretensões. Os pára-raios ao longo da linha não foram solicitados e os pára-raios que atuaram, correspondendo aos pára-raios das subestações no final da linha, especificamente nas subestações de Rio das Éguas e Bom Jesus da Lapa, consumiram uma energia muito menor do que o seu limite.

As hipóteses de dispersão dos pólos do disjuntor de Serra da Mesa utilizada são resumidas na Tabela 12. A cauda da distribuição Gaussiana foi truncada em $2,5 \sigma$. Na

próxima etapa deve-se efetuar uma análise de sensibilidade da variação do desvio padrão dos pólos escravos de 2 a 4 ms, e do desvio padrão do pólo mestre de 0,5 a 2,0 ms.

Tabela 12 – Característica da dispersão dos pólos do disjuntor

Pólo	Desvio padrão (σ)
01 mestre	2 ms
02 escravos	3 ms

III.1 - Resultados Obtidos no PSCAD

A seguir são apresentados alguns resultados obtidos nas simulações realizadas no PSCAD. Os pólos do disjuntor de Serra da Mesa foram fechados todos no mesmo instante, em 300 ms. As linhas foram representadas com dependência com a frequência. Nas Figuras 6 a 10 são apresentados os resultados da simulação total, sendo possível observar o nível da tensão ao longo da linha após o transitório da manobra de energização. Nas Figuras 11 a 15 são apresentados os primeiros 150 ms após a manobra de energização, sendo possível observar que o fenômeno transitório se extingue em torno de 300 ms após o início da manobra e que as sobretensões encontradas não são muito severas. É interessante observar as ondas viajantes nas várias subestações e como as tensões em regime permanente nas subestações localizadas no meio da linha são reduzidas. Na Tabela 13 são apresentadas as máximas sobretensões obtidas com esta representação das linhas.

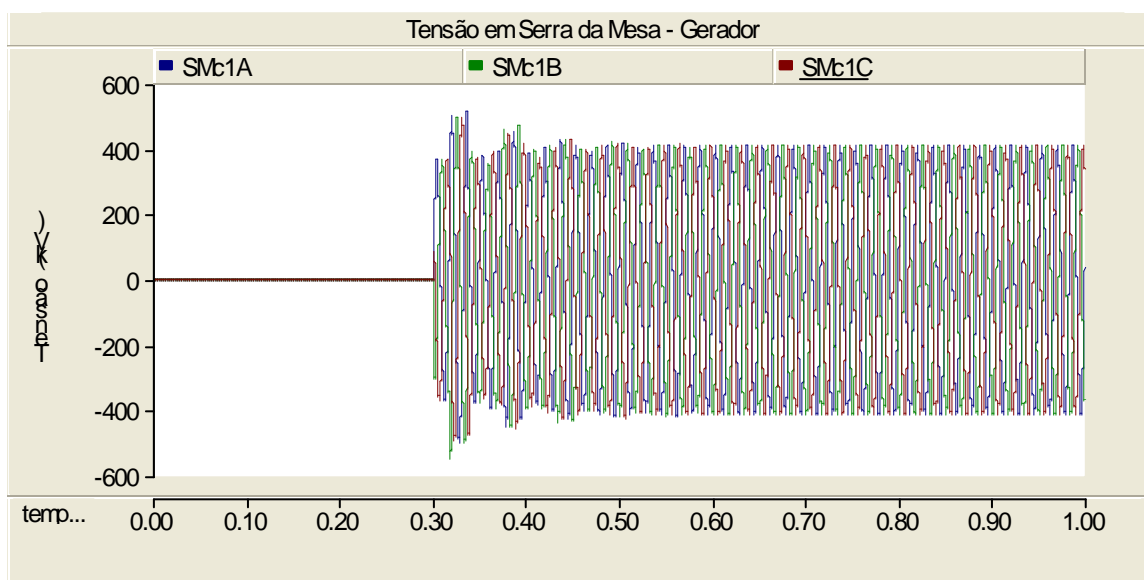


Figura 6 – Tensão na Subestação de Serra da Mesa – km 0 – Simulação completa

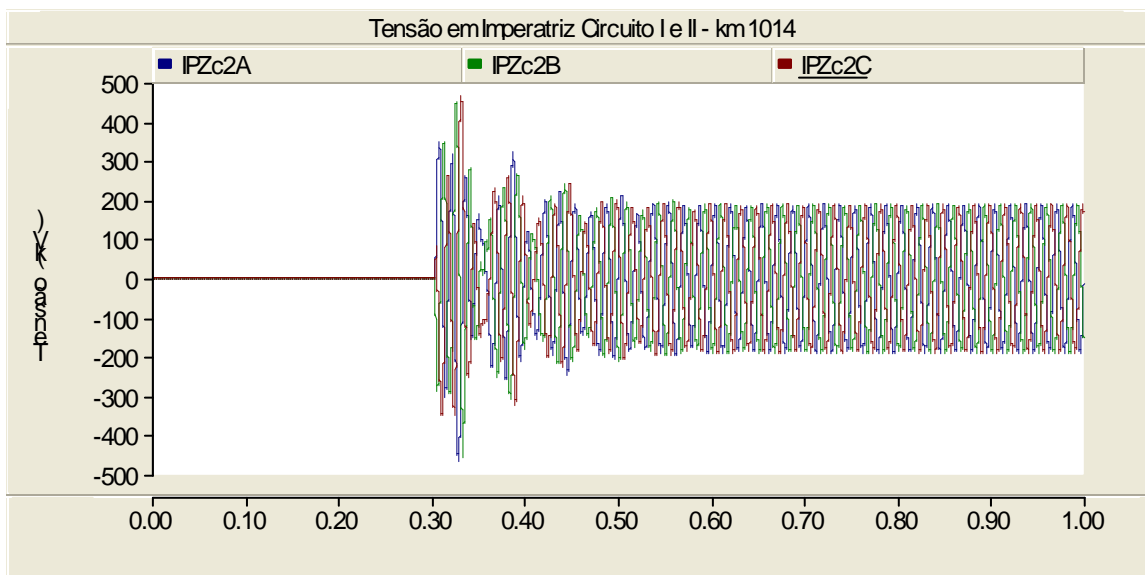


Figura 7 – Tensão em Imperatriz – km 1014 – Simulação completa

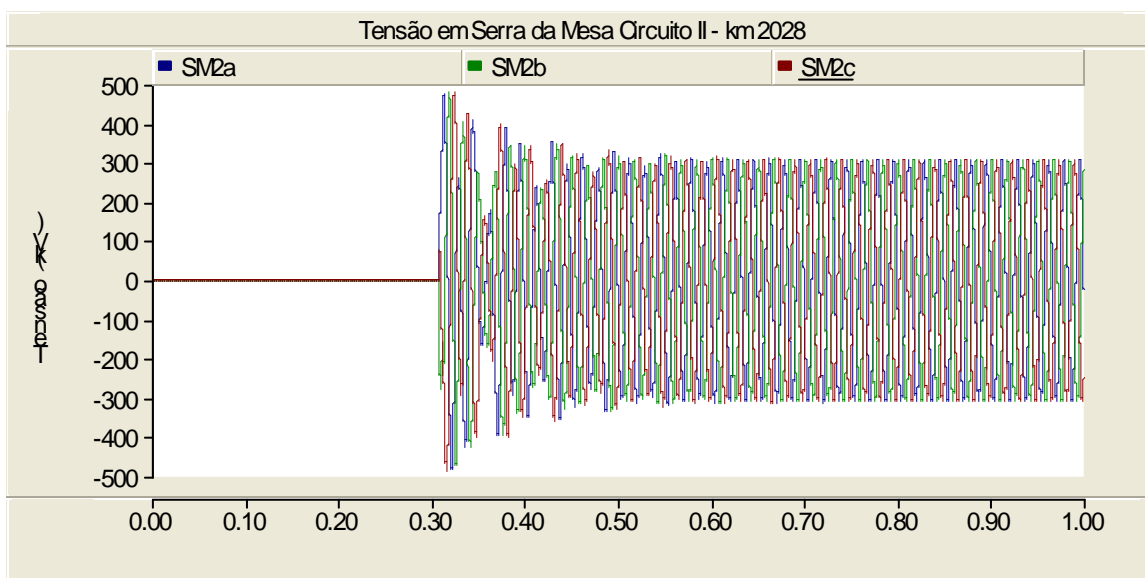


Figura 8 – Tensão em Serra da Mesa II – km 2028 – Simulação completa

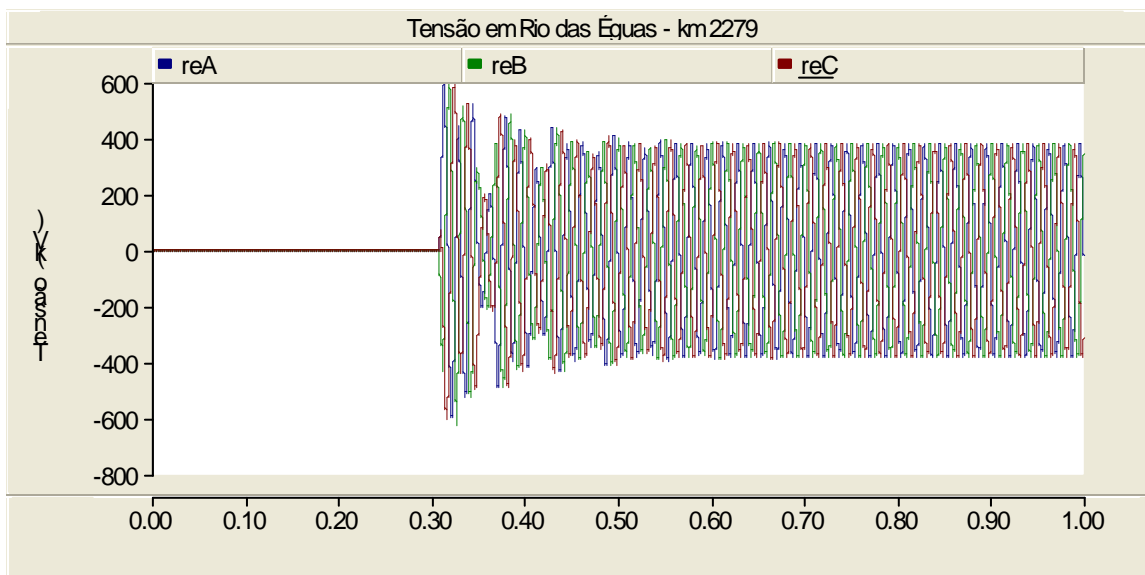


Figura 9 – Tensão em Rio das Éguas – km 2279 – Simulação completa

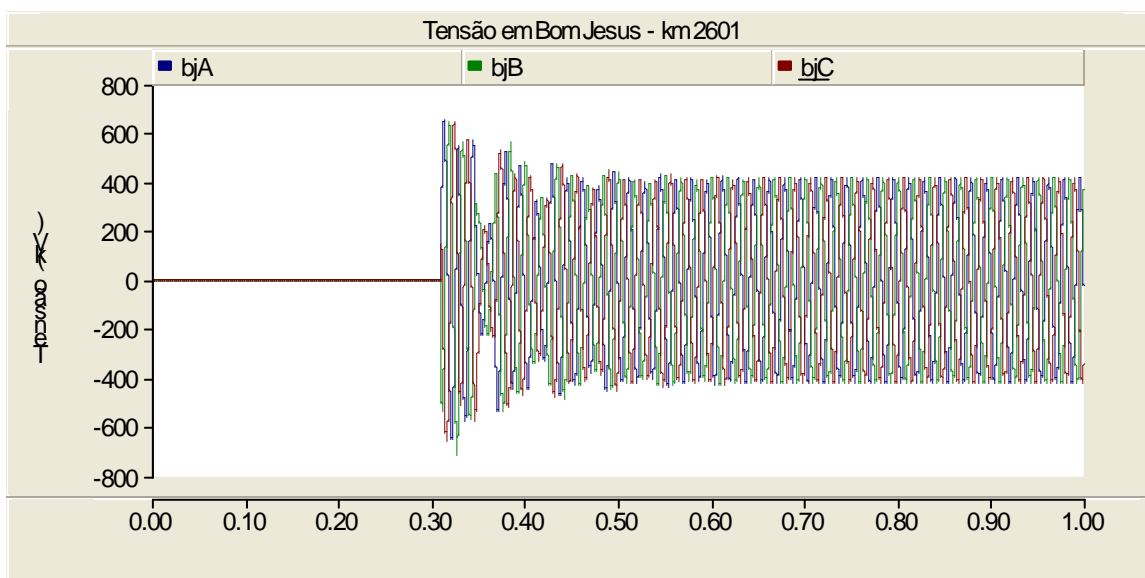


Figura 10 – Tensão em Bom Jesus da Lapa – km 2601 – Simulação completa

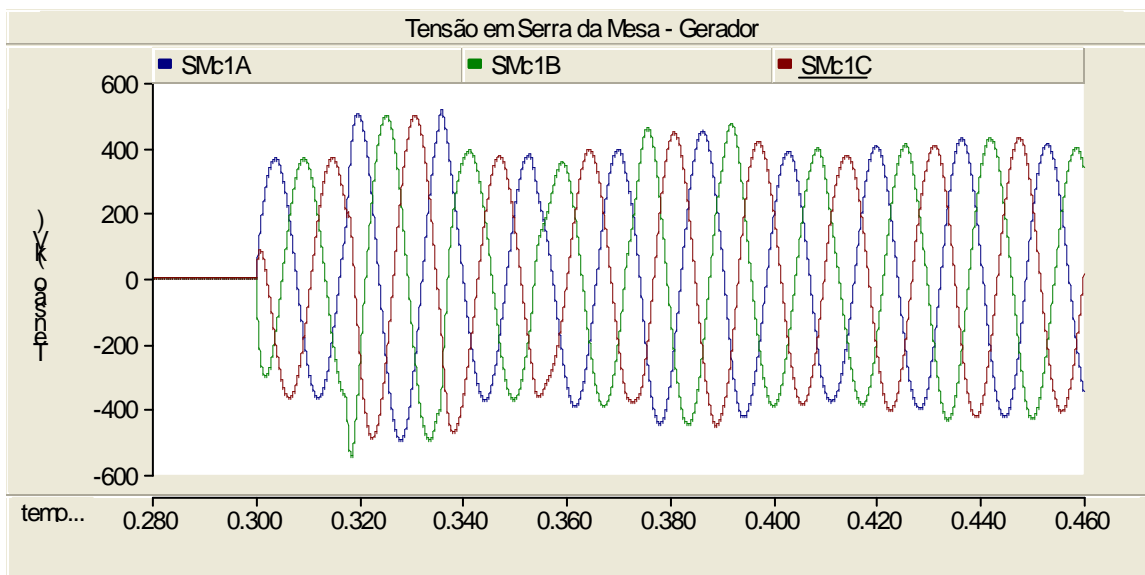


Figura 11 – Tensão na Subestação de Serra da Mesa – km 0 – Detalhe da simulação

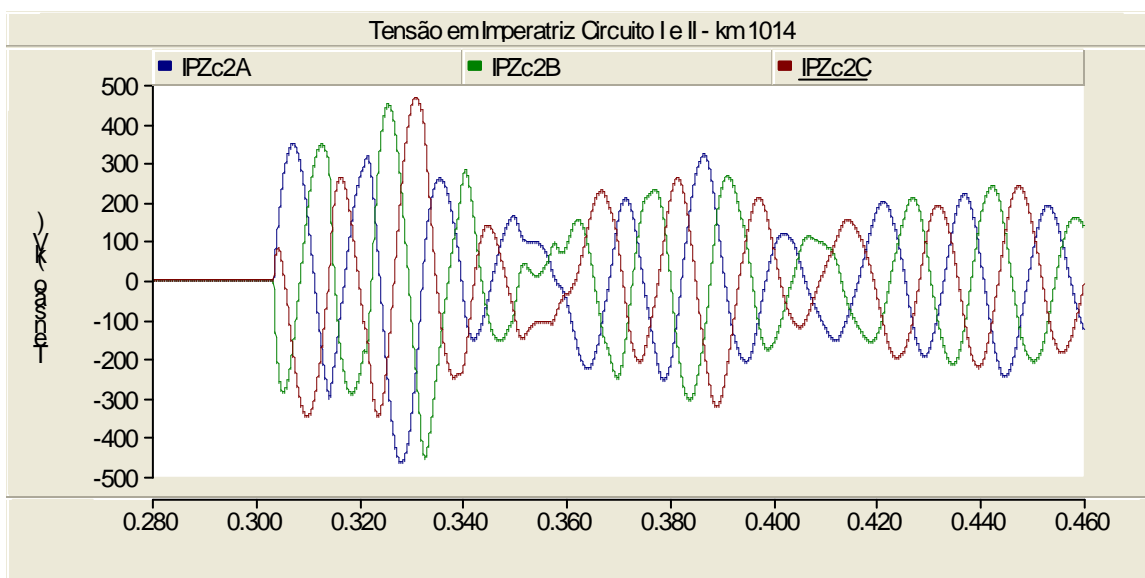


Figura 12 – Tensão em Imperatriz – km 1014 – Detalhe da simulação

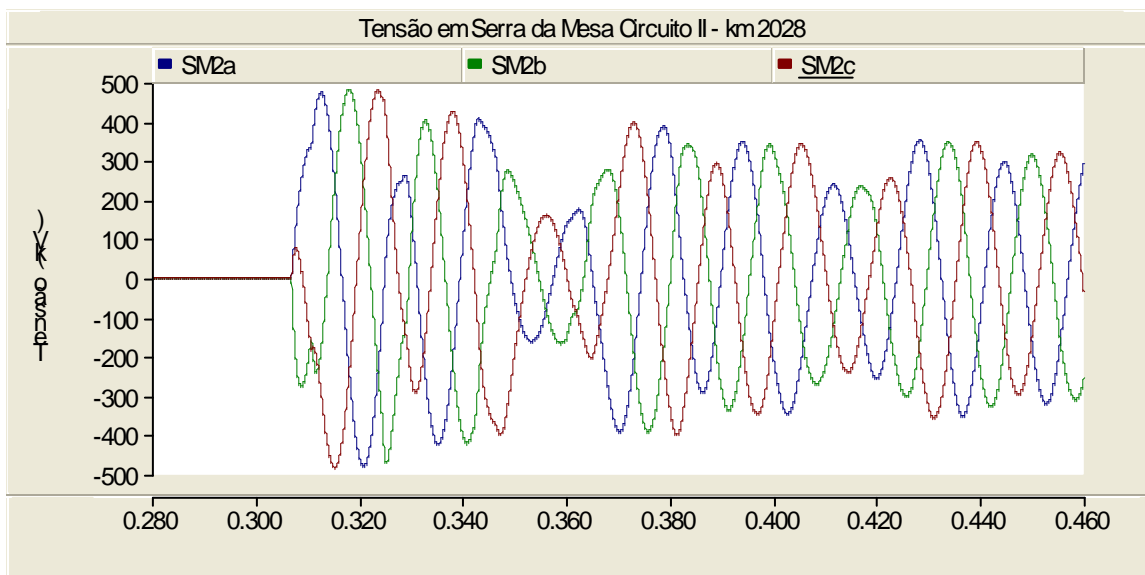


Figura 13 – Tensão em Serra da Mesa II – km 2028 – Detalhe da simulação

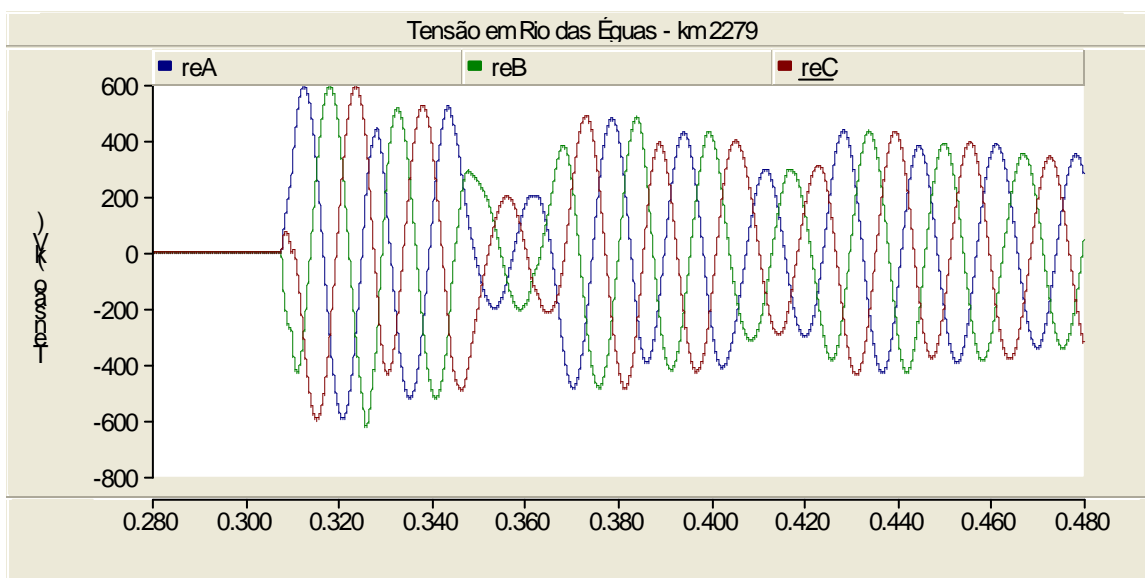


Figura 14 – Tensão em Rio das Éguas – km 2279 – Detalhe da simulação

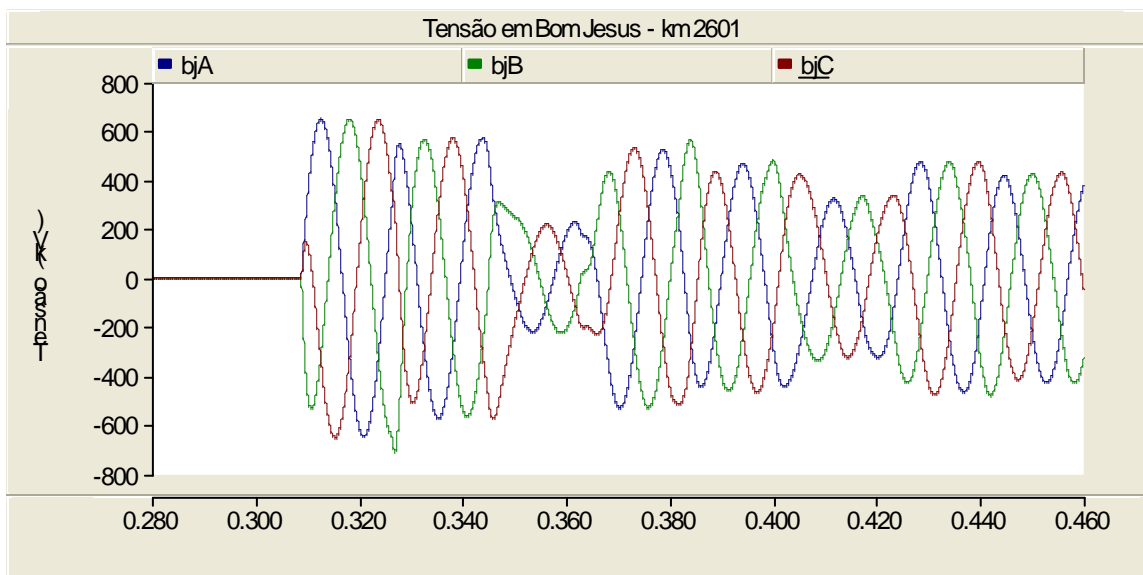


Figura 15 – Tensão em Bom Jesus da Lapa – km 2601 – Detalhe da simulação

Tabela 13 – Máximas sobretensões ao longo da linha – Resultados PSCAD

Subestação	Tensão [pu]
Serra da Mesa – km 0	1,341
Imperatriz – km 1014	1,144
Serra da Mesa II – km 2028	1,184
Rio das Éguas – km 2279	1,529
Bom Jesus da Lapa – km 2601	1,742

III.2 Resultados Obtidos no ATP – Caso Estatístico

A seguir são apresentados os resultados obtidos nas simulações realizadas no ATP. Foi simulado um caso de energização estatística com 200 fechamentos. As hipóteses de dispersão dos pólos utilizada são resumidas na Tabela 12. A cauda da distribuição Gaussiana foi truncada em $2,5 \sigma$ e o tempo médio para fechamento do primeiro pólo foi 20 ms.

A energização de pré-manobra na subestação de Serra da Mesa I foi de 1,0 pu. Na Tabela 14 são apresentadas as faixas de ocorrências das maiores sobretensões e energia consumida nos pára-raios para os 200 casos simulados, assim como a probabilidade destas sobretensões ocorrerem. Pode-se esperar que a sobretensão na subestação de Bom Jesus da Lapa fique na faixa de 1,90 a 1,95 pu. Não deverá haver problema de alta dissipação de

energia nos pára-raios das linhas, mesmo o pára-raios de Bom Jesus da Lapa que deverá ser o mais solicitado terá um nível de dissipação bastante inferior ao seu limite térmico.

Na Tabela 15 são apresentados os valores de tensão sustentada do caso base, com tensão pré-manobra de 1,0 pu. Não foi simulado o controle de tensão no barramento de Serra da Mesa, o que resultou em tensão sustentada em Bom Jesus da Lapa de 1,084 pu para uma tensão sustentada no barramento de Serra da Mesa de 1,068 pu. Na próxima etapa do estudo algum controle de tensão do barramento de Serra da Mesa deve ser implementado. As tensões sustentadas que serão verificadas durante o ensaio deverão ser menores do que as apresentadas na Tabela 15. As tensões nas subestações no meio da linha, especificamente nas subestações de Imperatriz, Colinas II, Miracema II e Gurupi II serão menores do que 0,5 pu, sendo que a tensão em Colinas II terá valores em regime permanente em torno de 0,075 pu (30 kV). É importante que a proteção de sub-tensão esteja bloqueada e não atue durante o experimento.

Os valores reduzidos de tensão ao longo da linha deverão ser alterados quando o acoplamento for corretamente representado, o que deverá ser verificado na próxima etapa do estudo. No entanto a ordem de grandeza das tensões não deve alterar muito e o procedimento de bloqueio das proteções e dos alarmes durante o experimento deve ser planejado.

Tabela 14 – Faixa de ocorrência das maiores sobretensões e maior energia dissipada nos pára-raios

Subestação	Local [km]	Tensão [pu]	Probabilidade de ocorrência – Tensão [%]	Energia [MJ]	Probabilidade de ocorrência – Energia [%]
Serra da Mesa	0	1,50-1,55	5,5	0-0,05	100
Gurupi I	256	1,75-1,80	3	0-0,05	100
Miracema I	511	1,75-1,80	2,5	0-0,05	100
Colinas I	684	1,75-1,80	0,5	0-0,05	100
Imperatriz	1014	1,30-1,35	6,0	0-0,05	100
Colinas II	1344	1,20-1,25	0,5	0-0,05	100
Miracema II	1517	1,15-1,20	2,0	0-0,05	100
Gurupi II	1772	1,25-1,30	0,5	0-0,05	100
Serra da Mesa II	2028	1,25-1,55	0,5	0-0,05	100
Rio das Éguas	2279	1,85-1,90	1,5	0,15-0,20	0,5
Bom Jesus da Lapa	2601	1,90-1,95	7,0	0,70-0,75	1,0

Tabela 15 – Tensão em regime permanente ao longo da linha

Subestação	Local [km]	Tensão [kV]	Tensão [pu]
Serra da Mesa	0	436,1	1,068
Gurupi I	256	438,59	1,074
Miracema I	511	395,09	0,968
Colinas I	684	341,65	0,837
Imperatriz	1014	198,23	0,486
Colinas II	1344	30,681	0,075
Miracema II	1517	83,71	0,205
Gurupi II	1772	216,15	0,529
Serra da Mesa II	2028	327,9	0,803
Rio das Éguas	2279	405,27	0,993
Bom Jesus da Lapa	2601	442,64	1,084

IV. INFORMAÇÕES A SEREM FORNECIDAS PARA A SEGUNDA FASE DO ESTUDO

Apesar de não se esperar mudanças importantes nos valores de sobretensões obtidos, e para poder-se comparar os resultados simulados com os que serão medidos em campo, faz-se necessário que dados reais sejam fornecidos numa segunda fase das simulações.

Especificamente é importante obter os dados reais dos seguintes itens :

- Silhueta dos troncos Norte-Sul I e II, com altura dos condutores nas torres e flecha a meio do vão, para as temperaturas típicas de operação na região;
- Dados dos condutores de fase e pára-raios, para as temperaturas típicas de operação na região;
- Resistividade do solo ao longo dos troncos;
- Dados dos pára-raios de linha nas subestações;
- Distância de afastamento entre os troncos Norte-Sul I e II;
- Ciclo de transposição das linhas, principalmente dos troncos Norte-Sul I e II, se possível com sentido de rotação;
- Dados sobre dispersão entre os contatos do disjuntor de Serra da Mesa (da linha Serra da Mesa – Gurupi I);
- Dados do controle de tensão do barramento de Serra da Mesa.

Caso a manobra de energização seja efetuada conectando-se os troncos de forma diferente da simulada, é importante informar.

V. VERIFICAÇÕES A SEREM EFETUADAS

É importante ressaltar que, embora o ensaio não deva apresentar problemas técnicos mais severos do que os usuais para a manobra de energização de linhas curtas, e inclusive as sobretensões devam ser menos severas do que as que normalmente ocorrem nas manobras com linhas curtas, devem ser tomados rigorosos procedimentos preparatórios no sentido de evitar possíveis condições de sistema diferentes das estudadas.

A seguir são identificados alguns aspectos que devem ser criteriosamente verificados antes e durante o ensaio.

- Todos os equipamentos de compensação reativa, especificamente os capacitores série, TCSC e reatores em derivação devem estar fora de serviço. Isto significa que os capacitores série assim como os TCST devem estar by-passados (curto-circuitados) e os reatores em derivação devem estar desligados (chaves seccionadoras abertas).
- É importante que os dispositivos de proteção dos equipamentos de compensação reativa estejam bloqueados para que nenhum destes equipamentos seja conectado indevidamente durante o experimento.
- Os resistores de pré-inserção de todos os disjuntores devem estar by-passados.
- O disjuntor que irá efetuar a manobra de energização deverá ter o resistor de pré-inserção bloqueado, e somente o disjuntor principal deve operar.
- Os disjuntores que irão conectar os diversos trechos de linha não podem operar indevidamente e devem permanecer fechados durante toda a manobra de energização da linha, não abrindo nenhum trecho (totalmente ou operação de alguma fase isoladamente) durante o experimento ou estar indevidamente aberto no início do experimento.
- É importante que os dispositivos de proteção das linhas estejam bloqueados para que nenhum destes trechos abra indevidamente durante o experimento. É importante lembrar que as tensões em regime permanente na região central da linha de pouco mais de meio comprimento de onda atingirá

valores abaixo de 0,5 pu e nenhuma proteção deve atuar devido a sub-tensão durante o experimento.

- É importante bloquear os dispositivos de controle ou proteção dos grupos geradores da usina a partir da qual será feita a manobra para que não atuem indevidamente devido à sub-tensão ao longo da linha.
- É importante que o pessoal técnico que irá participar do ensaio tenha conhecimento prévio dos níveis da tensão em regime permanente nas diversas subestações ao longo da linha e não atuem automaticamente quando as proteções e os alarmes avisarem sobre sub-tensão na “linha”.
- É importante que o experimento não desencadeie atuações de outros elementos da rede, nem via despacho regional nem central.

VI. CONCLUSÕES

O experimento de energização das linhas de 500 kV conectadas de forma a reproduzir a energização de uma linha de pouco mais de meio comprimento de onda não deve apresentar sobretensões muito severas ou diferentes das que normalmente ocorrem durante a manobra de linhas convencionais, de comprimento muito menor, sendo que a manobra na linha teste deverá inclusive resultar em perturbações muito menos severas do que as que normalmente ocorrem para alguns sistemas existentes. As sobretensões que devem ocorrer devem ser medianamente severas, não sendo esperado valores maiores do que 2,0 pu nos piores locais, especificamente no extremo da linha (na subestação de Bom Jesus da Lapa). Os pára-raios de linha existentes nos extremos de cada trecho de linha não devem ser muito solicitados e espera-se que somente os pára-raios próximos às duas últimas subestações venham a operar, e muito abaixo dos seus limites térmicos.

O experimento, portanto, não deve causar solicitações severas ao sistema. Deve-se, contudo, ser realizado um estudo complementar antes do ensaio de campo com dados mais próximos da rede a ser ensaiada para se identificar possíveis discrepâncias com relação aos resultados obtidos neste estudo preliminar. É importante também definir procedimentos pré-experimento bastante pormenorizados, incluindo o bloqueio das proteções durante o ensaio.

Maria Cristina Tavares

Agosto/2007