
	MEMÓRIA DE CALCULO				Nº: MC-4250.01-5142-700-ABF-011				
	CLIENTE: TRANSPETRO				FOLHA: 1 de 86				
	PROGRAMA: AMPLIAÇÃO DA SUBESTAÇÃO PRINCIPAL				-				
	ÁREA: TERMINAL AQUAVIÁRIO DE SÃO SEBATIÃO				-				
ENGENHARIA/ IETEG/IET/R	TÍTULO: MEMÓRIA DE DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS PRINCIPAIS DA SE				CORPORATIVO				
					IETR				
CONTRATO Nº 0800.0060766.10.2									
RESP. TÉCNICO – CREA Nº Arnaldo Bandeira - CREA 260404643-1									
RAZÃO SOCIAL ABB LTDA.									
ÍNDICE DE REVISÕES									
REV.	DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS								
0	Para Aprovação								
A	Atendendo Comentários da PETROBRAS								
B	Atendendo a mudança de diagrama unifilar								
C	Atendendo comentários da PETROBRAS – TRT para 138 kV								
D	Considerando novos dados de rede interna fornecidos em formato PTW								
E	Revisão do relatório completo (Versão E) apenas com estudos de TRT								
F	Revisão do relatório completo (Versão E) com estudos de manobras e de impulsos atmosféricos								
	REV. 0	REV. A	REV. B	REV. C	REV. D	REV. E	REV. F	REV. G	REV. H
DATA	10/01/2011	11/02/2011	11/03/2011	31/03/2011	01/06/2011	24/10/2011	08/11/2011		
PROJETO	ABF	ABF	ABF	ABF	ABF	ABF	ABF		
EXECUÇÃO	Farfilho	Farfilho	Farfilho	Farfilho	Farfilho	Farfilho	Farfilho		
VERIFICAÇÃO	A.Bandeira	A.Bandeira	A.Bandeira	A.Bandeira	A.Bandeira	A.Bandeira	A.Bandeira		
APROVAÇÃO	A.Arcon	A.Arcon	A.Arcon	A.Arcon	A.Arcon	A.Arcon	A.Arcon		
AS INFORMAÇÕES DESTE DOCUMENTO SÃO PROPRIEDADE DA PETROBRAS, SENDO PROIBIDA A UTILIZAÇÃO FORA DA SUA FINALIDADE.									
FORMULÁRIO PERTENCENTE A PETROBRAS N-381 REV. J.									

	MEMÓRIA DE CALCULO	Nº MA-4250.01-5142-912-ABF-011	REV. F
	TRANSPETRO		FOLHA 2 de 85
	TÍTULO: MEMÓRIA DE DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS PRINCIPAIS DA SE		

S U M Á R I O		
		Página
1	INTRODUÇÃO	4
2.	ANÁLISE DE SOBRETENSÕES DE MANOBRA NA SE DA TRANSPETRO	5
2.1	Introdução	5
2.2	Dados Utilizados	6
2.2.1	<i>Curvas de Saturação dos Transformadores</i>	6
2.2.2	<i>Curvas de Histerese</i>	7
2.2.3	<i>Sistema Representativo</i>	8
2.2.4	<i>Pára-raios</i>	11
2.3	Critérios para as Sobretensões de Manobra	13
2.3.1	<i>Critérios para Análise</i>	13
2.4	Configurações Analisadas	16
2.5	Conclusões	16
2.6	Análise e Apresentação dos Resultados	17
2.7	Caso Determinístico	36
2.8	Investigação da Sensibilidade da Situação das Chaves no Barramento 4.16 kV durante Manobras de Energização	39
2.9	Referencias Bibliográficas	45
3	ANÁLISE DE SOBRETENSÕES DEVIDAS A IMPULSOS ATMOSFÉRICOS	46
3.1	Introdução	46
3.2	Normas e Documentos de Referência	46
3.3	Instalação Analisada e a Rede Alimentadora	47
3.4	Dados Utilizados	49
3.5	Metodologia Utilizada para Análise	50
3.6	Características Principais do Sistema Elétrico e de seus Equipamentos quanto à Proteção contra Sobretensões Impulsivas	50
3.6.1	<i>Pàra-Raios e Aterramento do Sistema</i>	50
3.6.2	<i>Suportabilidade de Equipamentos da Instalação</i>	52
3.7	Simulações Computacionais	53
3.7.1	<i>Programa Computacional para Simulações de Transitórios Eletromagnéticos em Rede de Potência</i>	53
3.7.2	<i>Representação dos Componentes da Rede de Suprimento e da Instalação nas Simulações de Surtos Atmosféricos</i>	53
3.7.3	<i>Simulações</i>	59
3.8	Resultados das Simulações e Análise	61

**MEMÓRIA DE CALCULO**Nº **MA-4250.01-5142-912-ABF-011**REV. **F****TRANSPETRO**FOLHA **3** de **85**

TÍTULO:

**MEMÓRIA DE DIMENSIONAMENTO DOS
EQUIPAMENTOS PRINCIPAIS DA SE**

3.9 Conclusões e Recomendações

66

1 INTRODUÇÃO

O relatório “Memória de Dimensionamento dos Equipamentos Principais da SE”, em sua revisão D, apresentou todos os resultados de TRTs e também da Análise de Sobretensões de Manobras e de Impulsos Atmosféricos, para a rede do Tebar. A versão D, é portanto a mais completa e abrangente das diversas revisões.

Atendo solicitações, o relatório completo (revisão D), foi dividido em duas novas revisões: E e F.

A revisão E considerou apenas a Análise de Tensões de Restabelecimento Transitórias (TRTs) para os disjuntores da Transpetro, tanto no 138 kV (capítulo2) como no Sistema MT (capítulo3).

A presente revisão (F) apresenta a Análise das Sobretensões de Manobras (capítulo2) e de Impulsos Atmosféricos (capítulo 3).

2. ANÁLISE DE SOBRETENSÕES DE MANOBRA NA SE DA TRANSPETRO

2.1 Introdução

Este capítulo contempla as sobretensões de manobra que podem ser esperadas na SE da Transpetro.

As simulações foram realizadas com o programa ATP e compreenderam, basicamente, aplicação de séries de ensaios de manobras, os quais são realizados por chaves estatísticas.

As chaves estatísticas foram consideradas com dispersão máxima entre os contatos do disjuntor manobrado de 4 ms. O desvio padrão correspondente, considerando-se intervalo de ± 3 desvios padrão, foi de 0,667 ms.

A rede do Tebar que foi utilizada nas simulações de manobras é a da figura 2.1, contemplando cabos aéreos e subterrâneos. A rede do Tebar é rigidamente aterrada.

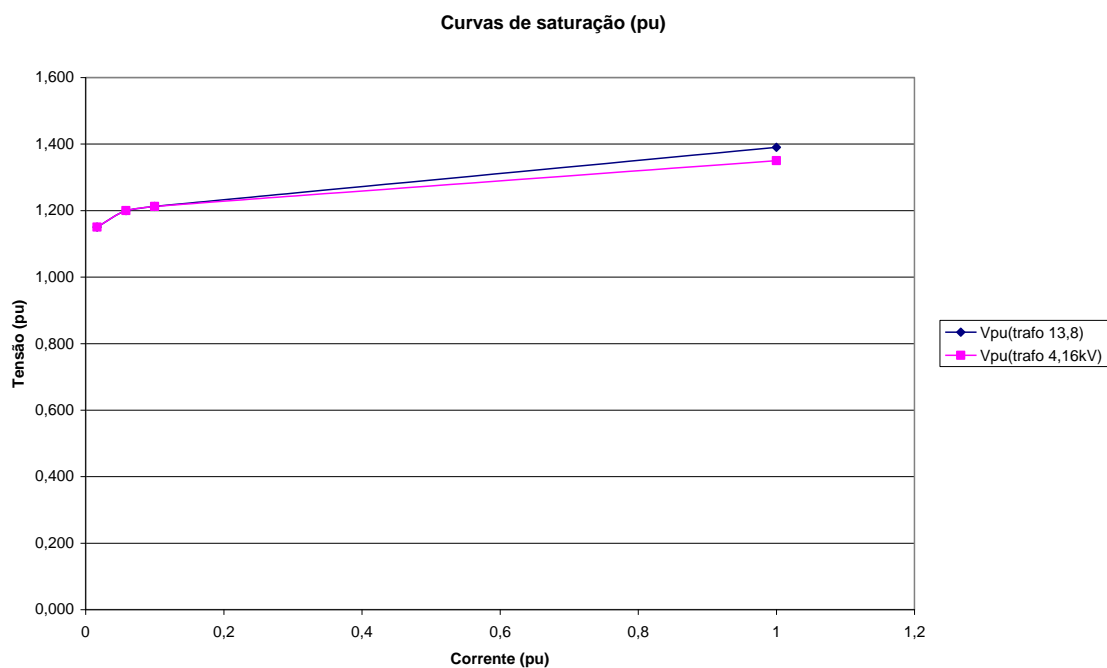
A rede de subtransmissão responsável pelo suprimento ao Tebar é apresentada na figura 2.2.

2.2 Dados Utilizados

São apresentados a seguir os dados considerados relevantes aos estudos de manobras:

2.2.1 Curvas de Saturação dos Transformadores

São apresentadas, na figura abaixo, as curvas de saturação para os transformadores de 138/13.8 kV e 138/4.16 kV. A partir destes valores obtém-se as curvas de histerese que foram utilizadas nos processamentos para determinação das sobretensões de manobra.



2.2.2 Curvas de Histerese

São apresentadas abaixo as curvas de histerese, obtidas com a subrotina HYSTERESIS, do programa ATP, para os transformadores de 138 kV/13.8 kV e 138 kV/4.16 kV, da SE analisada.

a) Para os transformadores 138/13.8 kV

Current	Flux
-6.96937500E-02	-7.02648706E-01
-4.64625000E-02	-6.98415882E-01
-2.09081250E-02	-6.83601000E-01
-9.29250000E-03	-6.68786118E-01
-3.48468750E-03	-6.56087647E-01
1.16156250E-03	-6.30690706E-01
4.06546875E-03	-6.01060941E-01
6.73706250E-03	-5.50267059E-01
8.13093750E-03	-4.65610588E-01
9.29250000E-03	-3.38625882E-01
1.16156250E-02	2.26456059E-01
1.27771875E-02	3.13228941E-01
1.62618750E-02	4.23282353E-01
2.09081250E-02	5.07938824E-01
2.53220625E-02	5.50267059E-01
3.31045312E-02	5.92595294E-01
4.53009375E-02	6.30690706E-01
6.21435938E-02	6.60320471E-01
8.13093750E-02	6.81484588E-01
1.16156250E-01	7.02648706E-01
1.85850000E-01	7.19580000E-01
2.55543750E-01	7.23812824E-01
9999.	

Obs: Correntes em kA e fluxos em kVs, referidos ao lado de 138 kV

b) Para os transformadores 138/4.16 kV

Current	Flux
-2.21700000E-02	-6.82426000E-01
-1.47800000E-02	-6.78315000E-01
-6.65100000E-03	-6.63926500E-01
-2.95600000E-03	-6.49538000E-01
-1.10850000E-03	-6.37205000E-01
3.69500000E-04	-6.12539000E-01
1.29325000E-03	-5.83762000E-01
2.14310000E-03	-5.34430000E-01
2.58650000E-03	-4.52210000E-01
2.95600000E-03	-3.28880000E-01
3.69500000E-03	2.19938500E-01
4.06450000E-03	3.04214000E-01
5.17300000E-03	4.11100000E-01
6.65100000E-03	4.93320000E-01
8.05510000E-03	5.34430000E-01
1.05307500E-02	5.75540000E-01
1.44105000E-02	6.12539000E-01
1.97682500E-02	6.41316000E-01
2.58650000E-02	6.61871000E-01
3.69500000E-02	6.82426000E-01
5.91200000E-02	6.98870000E-01
8.12900000E-02	7.02981000E-01
9999.	

Obs: Correntes em kA e fluxos em kVs, referidos ao lado de 138 kV

2.2.3 Sistema Representativo

As figuras abaixo mostram a rede elétrica do Tebar, que foi representada nas simulações com o ATP, e também o sistema de Subtransmissão que supre a rede do Tebar:

Versão 27-04-2011

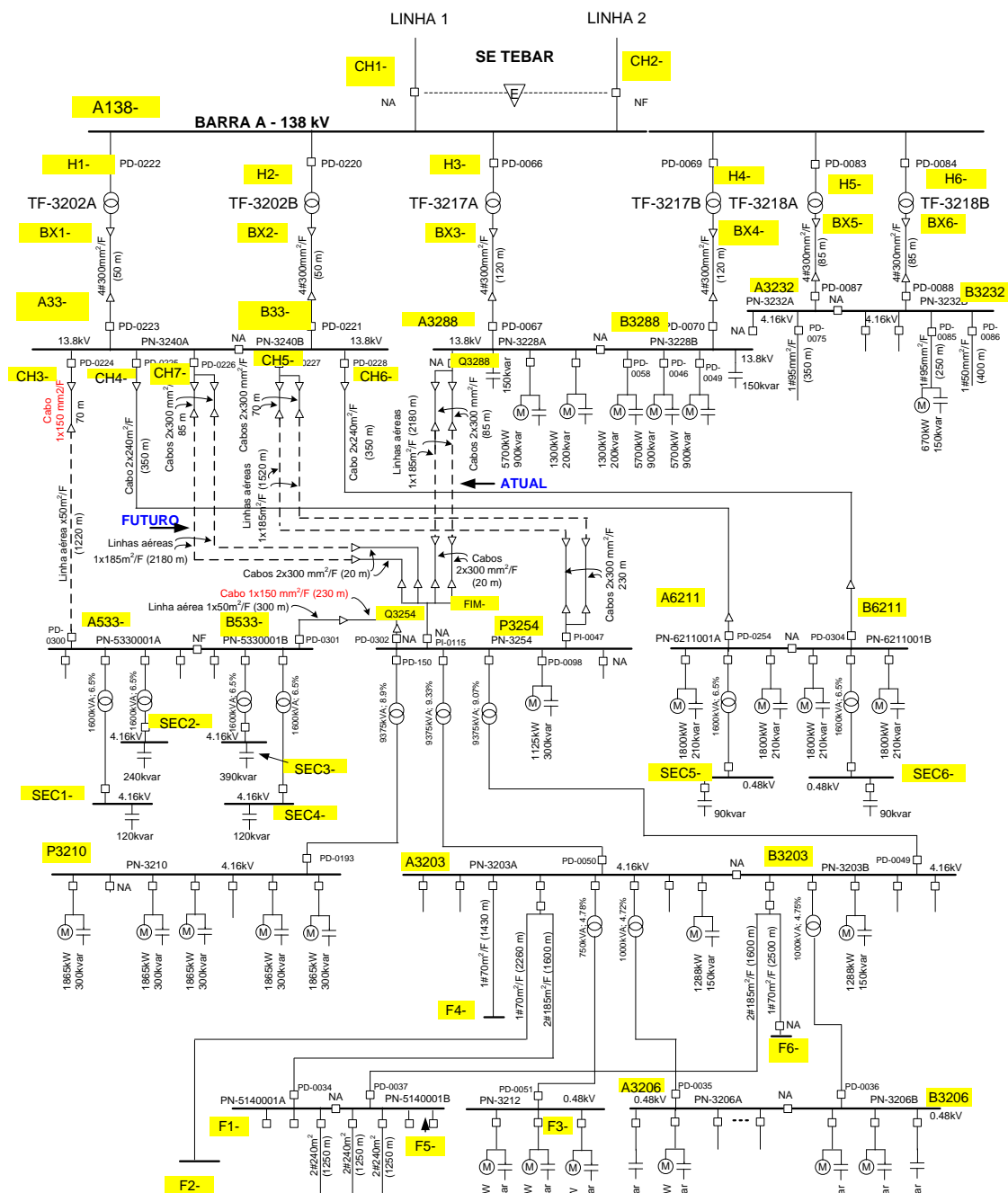


Figura 2.1 – Rede do Tebar utilizada nos Estudo de Manobras

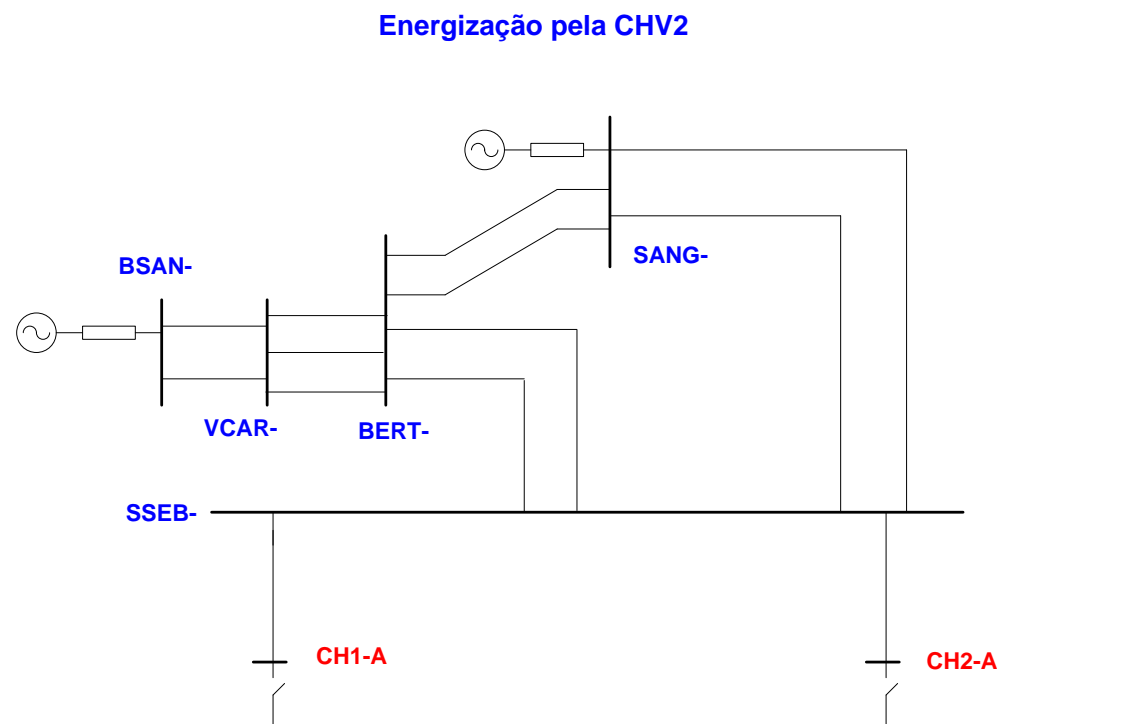


Figura 2.2 – Sistema de Subtransmissão associado à Rede do Tebar

A modelagem do ATP considerou os parâmetros seqüenciais, de seqüência zero e positiva, e a modelagem por ondas tráfegantes.

O sistema supridor foi considerado com seus equivalentes em Santo Ângelo 138 kV e na barra de Baixada Santista 138 kV.

Foram utilizados os documentos abaixo para o estabelecimento da configuração acima, que serviu de base aos ensaios de manobra:

- Esquema Unifilar Geral – Subestação de Entrada 138/13.8/4,16kV Terminal Aquiviário de São Sebastião Ampliação da Subestação Principal Transpetro - Doc Nº: ME-4250.01-5142-946-PEN-001 Rev. B de 28/10/09.
- Informações da da SE Transpetro - São Sebastião; informações da concessionária Bandeirantes: documentos com parâmetros do ramal Petrobras (São Sebastião) e Relatório de curto-circuito - email de 30/11/10.
- Dados do ONS: diagramas de impedâncias e dados do Sistema Interligado.
- Diagrama de impedâncias entregue pela Petrobras à ABB em formato PTW.

2.2.4 Pára-raios

Os pára-raios foram modelados por elementos tipo 99 (resistências pseudo não lineares). Foram considerados os pára-raios existentes no sistema de 138 kV e também na média tensão (MT).

Apresentam-se abaixo as curvas consideradas para os pára-raios dos sistema de 138 kV e 13.8 kV.

a) Exemplo de um para-raios de tensão nominal 120 kV (sistema de 138 kV)

99H1-A		1	4
	1.0E-6	159.0	
	1.0E-5	183.6	
	1.0E-4	197.5	
	1.0E-3	226.0	
	0.100	240.0	
	0.125	243.0	
	0.50	258.0	
	1.0	283.0	
	5.0	304.0	
	10.0	327.0	
	20.0	360.0	
	9999		
99H1-B	H1-A	1	4
99H1-C	H1-A	1	4
C			

b) Exemplo de um para-raios de tensão nominal 12 kV (sistema de 13.8 kV)

99I1-A			4
	1.0E-6	15.9	
	1.0E-5	18.4	
	1.0E-4	19.8	
	1.0E-3	22.6	
	0.100	24.0	
	0.125	24.3	
	0.50	25.8	
	1.0	28.3	
	5.0	30.4	
	10.0	32.7	
	20.0	36.0	
	9999		
99I1-B	I1-A		4
99I1-C	I1-A		4
C			

2.3 Critérios para as Sobretensões de Manobra

2.3.1 Critérios para Análise

Neste trabalho considera-se, de forma conservativa, que sobretensões de manobra superiores a 2.0 pu seriam indesejáveis na rede do Tebar.

De forma geral, apenas para tensões superiores a 245 kV são definidos valores de tensão suportável nominal para impulsos de manobra. Em sistemas de 3.6 kV até 245 kV é definida a tensão suportável nominal à frequência nominal durante 1 minuto.

Nos itens abaixo são descritos os critérios usualmente encontrados na análise de sobretensões de manobra para os três níveis de tensões encontrados na rede do Tebar (13.8 kV, 4.16 kV e 138 kV).

a) Sistema de 13.8 kV

Considerando-se os níveis de isolamento normalizados para $1 \text{ kV} < U_m \leq 52 \text{ kV}$, segundo a NBR-6939 (ou IEC 71.1) a tensão máxima do equipamento para o sistema de 13.8 kVef é de 15 kVef.

Define-se também, além da tensão suportável nominal a impulso atmosférico, a tensão suportável nominal à frequência industrial durante 1 minuto que é de 34 kVef.

Convém ressaltar que existem alguns trabalhos mencionando sobretensões de cerca de 3 pu, no sistema de MT, o que representaria 41.4 kVef (cerca de 22% superior ao valor de referência de 34 kVef). A referência [2.1] menciona, no capítulo 6, valores de sobretensões de cerca de 3 pu, que são referentes ao restriking de capacitores.

Já pela referência [2.2] observa-se que para as tensões de 3.6 kVef até 242 kVef não são definidas as tensões suportáveis nominais de impulso de manobra. Para estas tensões são definidas as tensões suportáveis a impulsos atmosféricos e para frequência industrial durante 1 minuto.

Conforme a referência [2.2] somente para para tensões iguais ou superiores a 362 kVef são definidas as tensões suportáveis a impulsos de manobra.

Ainda considerando-se a referência [2.2] e tensões iguais ou superiores a 362 kVef (níveis de tensões onde se define claramente as sobretensões a impulsos de manobra) obtém-se a tabela 2.1, que estabelece as sobretensões suportáveis nominais de impulsos de manobra e as relações entre as tensões nominais de impulsos atmosféricos e de manobra.

Tensão máxima do Equipamento (kVef)	Tensão suportável nominal de impulso de manobra (pu)	Relação entre as tensões suportáveis nominais de impulso atmosférico e de manobra
362	2.87 a 3.55	1.12 a 1.24
460	2.53 a 3.13	1.11 a 1.43
550	2.34 a 3.17	1.12 a 1.38
800	1.99 a 2.37	1.10 a 1.55

Tabela 2.1 - Relação entre as tensões suportáveis nominais de impulso atmosférico e de manobra para tensões acima de 362 kVef

Uma breve análise da tabela 2.1 mostra que:

a.1) à medida que se aumenta os níveis de tensões máximas do equipamento maiores são as relações entre as tensões suportáveis nominais de impulso atmosférico e de manobra (coluna 3 da tabela).

Se os valores da tabela 2.1 pudessem ser extrapolados para tensões máximas de equipamentos inferiores ao 362 kVef, poderia ser suposto que a relação entre as tensões suportáveis de impulso atmosférico e de manobra fosse, na hipótese mais conservadora, igual ao valor 1.24 (do sistema de 362 kVef). Neste caso para nível de impulso atmosférico de 95 kVp (no sistema de 15 kVef), ter-se-ia nível de manobra de 95 kVp/1.24, ou seja 76.6 kVp (54.2 kVef).

a.2) quanto menores as tensões máximas do equipamento maiores serão as tensões suportáveis de impulso de manobra, em valores pu (coluna 2).

Considerando-se que para 362 kVef as tensões de manobra possam atingir entre 2.87 pu e 3.55 pu, a extrapolação para sistemas com tensões de menores níveis, como por exemplo de 15 kVef, parece indicar que valores de 3.0 pu, para impulso de manobra, poderiam ser perfeitamente aceitáveis.

A referência [2.3], da CELG, considera que a máxima sobretensão de manobra para a terra, no sistema de 15 kV é de 4 pu. A abaixo foi extraída da referência [2.3].

TABELA 2

CAPACIDADE DE INTERRUPÇÃO NOMINAL DE
LINHAS EM VAZIO À TENSÃO NOMINAL

Tensão nominal (kV eficaz)	Capacidade de interrupção nominal de linhas em vazio (A eficaz)	Máxima sobretensão de manobra para terra (pu)
15	-	4,0
36,2	-	3,1
72,5	30	3,5
145	75	3,0
242	130	3,0

b) Sistema de 4.16 kVef

Estão normalizadas as tensões máximas de 3.6 kVef e 7 kVef. As tensões máximas suportáveis de 1 minuto são respectivamente 10 kVef e 20 kVef.

c) Sistema de 145 kVef

São normalizados valores de 230 kVef e 275 kVef para tensão suportável à frequência industrial durante 1 minuto. O valor de 275 kVef é correspondente à tensão suportável nominal de impulso atmosférico de 650 kVp.

Assim, nesta análise, o valor de 275 kVef foi tomado como referência para máxima tensão suportável nominal com duração de 1 minuto.

2.4 Configurações Analisadas

As configurações analisadas contemplam energizações a partir da rede de 138 kV (pela CHV2); de transformadores alocados no 138 kV (como o TF3202); e pelas chaves CH3 a CH7 (conforme a figura 4.1).

2.5 Conclusões

Os resultados obtidos permitem que se extraiam as seguintes conclusões de maior relevância:

- as energizações pelo sistema de subtransmissão (CH2) ou por CH3 resultam nos maiores valores de sobretensões máximas estatísticas.
- as energizações pelas demais chaves (CH4 a CH7) apresentam grau de severidade mais reduzido
- a existência de cargas resistivas, na rede da Transpetro, no instante da ocorrência das manobras reduz substancialmente as sobretensões nos diversos pontos da rede

2.6 Análise e Apresentação dos Resultados

Os resultados estatísticos, de todos os ensaios realizados são apresentados em forma de tabelas, onde se destacam as sobretensões FT e FF. São apresentados os valores médios, o desvio padrão e os valores máximos encontrados em séries de 100 ensaios.

Ressalta-se que, em todas as tabelas deste relatório, são mostrados em destaque, para cada classe de tensão, os maiores valores de sobretensões FT e FF.

Considerou-se como referência mínima para este destaque o valor de 1.5 pu, embora o critério pré-estabelecido tenha sido de 2,0 pu.

As tabelas 2.2 a 2.8 mostram os casos de sobretensões analisados, para ensaios de energização na rede do Tebar, na situação de rede em vazio.

Sobretensões para a rede em vazio são as que apresentam resultados mais severos que manobras equivalentes para a rede com algum nível de carga.

A tabela 2.2 é relativa à energizações estatísticas pelo sistema de subtransmissão de 138 kV. Esta situação, também, é possível de ocorrer durante religamentos que possam acontecer no sistema de 138 kV.

São obtidos valores elevados de sobretensões (até 3.0 pu FT no sistema de 4.16 kV), mostrando ser bastante severa a condição de energização pelo sistema de subtransmissão, com a rede do Tebar, inicialmente em vazio.

Na tabela 2.3 é suposto que a chave CH2 já se encontra fechada à regime e é energizado o transformador TF3202A (figura 2.1). As sobretensões máximas fase-terra mais severas encontradas foram de 1.75 pu (13.8 kV); 2.05 pu (4.16 kV) e 2.15 pu (0.48 kV).

A tabela 2.4 apresenta a tabulação estatística quando as energizações são realizadas por CH3 (figura 2.1). Neste caso foram encontrados valores elevados de sobretensões máximas. Exemplificando: obteve-se para sobretensões FT, valores de até 3.3 pu (13.8 kV).

As energizações por CH4, CH5, CH6 e CH7 (conforme as tabelas 2.5 a 2.8, respectivamente) apresentam resultados de sobretensões máximas acima de 2.0 pu, porém jamais atingindo níveis tão elevados quanto resultados das tabelas 2.2 e 2.3.

Do exposto até este ponto, pode-se depreender que para a rede do Tebar em vazio, os níveis de sobretensões mais severos encontrados são os relativos às energizações através das chave CH2 (conforme tabela 2.2) e por CH3 (tabela 2.3).

Os casos 2.9 a 2.14 consideram algum nível de carga resistiva na rede do Tebar durante as energizações.

Foram alocadas cargas resistivas nos centros de cargas da rede, conforme descrito abaixo:

- Situação A: carga resistiva de 0.5 MW em cada uma das seguintes barras:

- 15 kV: A6211, B6211, A3288 e B3288

- 4.16 kV: P3210, A3203 e B3202

- Situação B: carga resistiva de 1.0 MW em cada uma das seguintes barras:

- 15 kV: A6211, B6211, A3288 e B3288

- 4.16 kV: P3210, A3203 e B3202

Convém ressaltar que as barras A3332 e B3332, de 4.16 kV, foram objeto de investigação adicional, que é apresentada no item 2.8.

As energizações, considerando presença de cargas resistivas na rede, contemplaram os casos mais severos de energizações para a rede em vazio, ou seja energizações por CH2 e CH3. Este expediente foi considerado para se ter uma idéia mais precisa das reduções de sobretensões, na rede do Tebar, considerando-se cargas na rede.

As tabelas 2.9 e 2.10 são referentes às energizações por CH2. Com a hipótese de carga na situação A algumas barras da rede do Tebar apresentam, ainda, superação do critério considerado (por exemplo a barra P3210 apresenta valor máximo de sobretensões FT de 2.25 pu).

Com a rede do Tebar mais carregada (situação B) as sobretensões FT atingem no máximo 1.95 pu (B3288). Lembra-se que os valores de sobretensões máximas em A3232 e B3232 são analisados com maior detalhamento no item 2.8.

Os resultados apresentados nas tabelas 2.11 a 2.14 são relativos às energizações por CH3.

Conforme a tabela 2.11, considerando cargas na situação B, as barras A533 e B533 apresentam sobretensões FT elevadas (3.2 pu). Isto ocorre porque as barras A533 e B533 não estão alimentando nenhuma carga do restante da rede. Assim considerou-se, nos casos da tabela 2.12, carga resistiva adicional de 1.0 MW, além de se considerar a situação B de cargas. Com essa medida o critério de 2.0 pu é respeitado, mostrando a influência da carga na rede durante as energizações.

Outra alternativa, para energizações por CH3, poderia ser a operação da chave P3254 – Q3254 na posição NF, o que foi feito nos casos das tabelas 2.13 e 2.14.

Para a tabela 2.13 foi considerada a situação B de carga, o que resultou em máxima sobretensão FT de 1.55 pu. Mesmo com carga de menor montante

(situação A) os resultados ficam abaixo do critério considerado, otendo-se como valor máximo 1,75 pu de sobretensão FT (conforme a tabela 2.14).

Foram ainda considerados alguns casos de energizações estatísticas sob defeito FT e rede em vazio. Os resultados não se mostram mais severos que aqueles obtidos com a rede sem defeito aplicado durante as energizações. Os casos analisados constam das tabelas 2.15 e 2.16.

<i>ponto</i>	Valores F-T (pu)			<i>nominal (kV)</i>	Valores F-F (pu)		
	<i>média</i>	<i>desvio</i>	<i>máximo</i>		<i>média</i>	<i>desvio</i>	<i>máximo</i>
H1	1,53	0,096	1,75	138 KV	1,452	0,091	1,65
H2	1,53	0,096	1,75		1,452	0,091	1,65
H3	1,53	0,096	1,75		1,452	0,091	1,65
H4	1,53	0,096	1,75		1,452	0,091	1,65
H5	1,53	0,096	1,75		1,452	0,091	1,65
H6	1,53	0,096	1,75		1,452	0,091	1,65
A33	1,621	0,096	1,8	13.8 KV	1,653	0,115	1,9
B33	1,7	0,104	1,95		1,788	0,092	2
A3288	1,799	0,246	2,35		1,766	0,276	2,55
B3288	1,966	0,283	2,45		2,118	0,361	2,7
CH3	1,621	0,096	1,8		1,653	0,115	1,9
CH4	1,621	0,096	1,8		1,653	0,115	1,9
CH5	1,7	0,104	1,95		1,788	0,092	2
CH6	1,7	0,104	1,95		1,788	0,092	2
A533	1,566	0,081	1,75		1,294	0,098	1,5
B533	1,566	0,081	1,75		1,294	0,098	1,5
P3254	1,738	0,088	1,95		1,833	0,096	2,1
A6211	1,617	0,095	1,8		1,646	0,119	1,95
B6211	1,708	0,112	1,95		1,797	0,102	2
Q3254	1,576	0,083	1,75		1,597	0,086	1,85
Q3288	1,633	0,1	1,8		1,622	0,102	1,95
FIM	1,654	0,098	1,85		1,68	0,113	1,9
A3232	1,543	0,148	1,95	4.16 KV	1,612	0,177	2,2
B3232	1,938	0,127	2,3		2,003	0,128	2,2
P3210	2,369	0,163	3		2,242	0,162	2,85
A3203	1,951	0,094	2,4		1,845	0,098	2,2
B3203	1,942	0,081	2,3		1,855	0,085	2,15
F1	1,962	0,094	2,4		1,852	0,096	2,2
F2	1,964	0,093	2,4		1,859	0,101	2,25
F4	1,959	0,097	2,4		1,848	0,094	2,2
F5	1,951	0,08	2,3	0.48 KV	1,858	0,087	2,15
F6	1,961	0,088	2,35		1,863	0,087	2,15
F3	2,015	0,189	2,65		2,046	0,243	2,95
A3206	1,963	0,167	2,55	0.48 KV	2,026	0,216	2,85
B3206	2,016	0,186	2,65		2,056	0,201	2,95

Tabela 2.2 – Energização Estatística por CH2 – Sem Carga

<i>ponto</i>	Valores F-T (pu)			<i>nominal (kV)</i>	Valores F-F (pu)		
	<i>média</i>	<i>desvio</i>	<i>máximo</i>		<i>média</i>	<i>desvio</i>	<i>máximo</i>
H1	1,35	0,206	1,75	138 KV	1,094	0,084	1,35
H2	1,167	0,059	1,35		1,088	0,006	1,2
H3	1,167	0,059	1,35		1,088	0,006	1,2
H4	1,167	0,059	1,35		1,088	0,006	1,2
H5	1,167	0,059	1,35		1,088	0,006	1,2
H6	1,167	0,059	1,35		1,088	0,006	1,2
A33	1,537	0,087	1,7	13.8 KV	1,594	0,112	1,85
B33	1,347	0,052	1,5		1,45	0,055	1,6
A3288	1,275	0,065	1,5		1,262	0,091	1,6
B3288	1,287	0,046	1,55		1,29	0,063	1,5
CH3	1,537	0,087	1,7		1,594	0,112	1,85
CH4	1,537	0,087	1,7		1,594	0,112	1,85
CH5	1,347	0,052	1,5		1,45	0,055	1,6
CH6	1,347	0,052	1,5		1,45	0,055	1,6
A533	1,514	0,088	1,7		1,352	0,099	1,55
B533	1,514	0,088	1,7		1,352	0,099	1,55
P3254	1,437	0,051	1,6		1,524	0,048	1,65
A6211	1,546	0,092	1,75		1,602	0,115	1,9
B6211	1,351	0,053	1,5		1,456	0,055	1,6
Q3254	1,522	0,089	1,7		1,59	0,089	1,75
Q3288	1,552	0,094	1,75		1,615	0,121	1,9
FIM	1,567	0,099	1,75		1,62	0,113	1,9
A3232	1,084	0,035	1,2	4.16 KV	1,163	0,057	1,35
B3232	1,17	0,043	1,3		1,261	0,055	1,4
P3210	1,811	0,089	2,05		1,774	0,114	2,1
A3203	1,707	0,068	1,85		1,696	0,073	1,85
B3203	1,646	0,069	1,75		1,607	0,063	1,75
F1	1,71	0,069	1,85		1,699	0,072	1,85
F2	1,71	0,069	1,85		1,701	0,072	1,85
F4	1,708	0,069	1,85		1,698	0,072	1,85
F5	1,646	0,069	1,75		1,609	0,065	1,75
F6	1,648	0,069	1,75		1,609	0,065	1,75
F3	1,999	0,075	2,15	0.48 KV	1,922	0,088	2,15
A3206	1,971	0,07	2,15		1,9	0,085	2,1
B3206	1,926	0,066	2,1		1,882	0,09	2,1

Tabela 2.3 – Energização Estatística por H1 – Sem Carga

<i>ponto</i>	Valores F-T (pu)			<i>nominal (kV)</i>	Valores F-F (pu)		
	<i>média</i>	<i>desvio</i>	<i>máximo</i>		<i>média</i>	<i>desvio</i>	<i>máximo</i>
H1	1,089	0,023	1,15	138 KV	1,075	0	1,1
H2	1,089	0,023	1,15		1,075	0	1,1
H3	1,089	0,023	1,15		1,075	0	1,1
H4	1,089	0,023	1,15		1,075	0	1,1
H5	1,089	0,023	1,15		1,075	0	1,1
H6	1,089	0,023	1,15		1,075	0	1,1
A33	1,266	0,046	1,4	13.8 KV	1,344	0,026	1,4
B33	1,271	0,014	1,3		1,389	0,023	1,45
A3288	1,175	0	1,2		1,225	0	1,25
B3288	1,275	0	1,3		1,225	0	1,25
CH3	1,73	0,045	2,65		1,416	0,131	1,8
CH4	1,266	0,046	1,4		1,344	0,026	1,4
CH5	1,271	0,014	1,3		1,389	0,023	1,45
CH6	1,271	0,014	1,3		1,389	0,023	1,45
A533	2,38	0,032	3,3		1,875	0,32	2,55
B533	2,38	0,032	3,3		1,875	0,32	2,55
P3254	1,333	0,019	1,4		1,493	0,024	1,55
A6211	1,216	0,04	1,35		1,327	0,023	1,4
B6211	1,273	0,009	1,3		1,391	0,024	1,45
Q3254	2,214	0,021	2,7		1,785	0,013	2,1
Q3288	1,276	0,065	1,5		1,351	0,032	1,45
FIM	1,304	0,072	1,5		1,371	0,039	1,5
A3232	1,075	0	1,1	4.16 KV	1,088	0,22	1,15
B3232	1,078	0,002	1,15		1,154	0,031	1,25
P3210	2,04	0,032	2,1		1,827	0,038	1,9
A3203	1,634	0,037	1,7		1,477	0,042	1,55
B3203	1,588	0,029	1,65		1,402	0,025	1,45
F1	1,635	0,038	1,7		1,477	0,043	1,55
F2	1,635	0,038	1,7		1,477	0,043	1,55
F4	1,634	0,037	1,7		1,477	0,043	1,55
F5	1,589	0,028	1,65		1,404	0,025	1,45
F6	1,59	0,029	1,65		1,404	0,025	1,45
F3	1,77	0,068	1,9	0.48 KV	1,856	0,081	2
A3206	1,741	0,052	1,9		1,844	0,078	2
B3206	1,719	0,053	1,85		1,797	0,072	1,95

Tabela 2.4 – Energização Estatística por CH3 – Sem Carga

<i>ponto</i>	Valores F-T (pu)			<i>nominal (kV)</i>	Valores F-F (pu)		
	<i>média</i>	<i>desvio</i>	<i>máximo</i>		<i>média</i>	<i>desvio</i>	<i>máximo</i>
H1	1,123	0,09	1,15	138 KV	1,075	0	1,1
H2	1,123	0,09	1,15		1,075	0	1,1
H3	1,123	0,09	1,15		1,075	0	1,1
H4	1,123	0,09	1,15		1,075	0	1,1
H5	1,123	0,09	1,15		1,075	0	1,1
H6	1,123	0,09	1,15		1,075	0	1,1
A33	1,945	0,135	2,25	13.8 KV	1,565	0	1,8
B33	1,265	0,023	1,35		1,408	0,026	1,5
A3288	1,126	0,007	1,2		1,235	0,02	1,3
B3288	1,225	0	1,25		1,184	0,019	1,25
CH3	1,995	0,135	2,25		1,72	0,137	2,05
CH4	1,995	0,135	2,25		1,72	0,137	2,05
CH5	1,264	0,023	1,35		1,408	0,026	1,5
CH6	1,264	0,023	1,35		1,408	0,026	1,5
A533	2,005	0,054	2,05		1,529	0,092	1,9
B533	2,005	0,054	2,05		1,529	0,092	1,9
P3254	1,337	0,022	1,4		1,511	0,023	1,55
A6211	1,774	0,108	2		1,555	0,104	1,75
B6211	1,272	0,022	1,35		1,409	0,025	1,5
Q3254	2,196	0,09	2,4		1,8	0,167	2,1
Q3288	2,103	0,057	2,25		1,906	0,159	2,4
FIM	2,055	0,03	2,1		1,953	0,178	2,4
A3232	1,075	0	1,1	4.16 KV	1,123	0,009	1,15
B3232	1,123	0,035	1,2		1,222	0,043	1,35
P3210	2,051	0,025	2,1		1,818	0,023	1,9
A3203	1,645	0,042	1,75		1,47	0,032	1,55
B3203	1,597	0,027	1,7		1,403	0,021	1,5
F1	1,652	0,043	1,75		1,474	0,036	1,55
F2	1,652	0,043	1,75		1,478	0,036	1,55
F4	1,652	0,043	1,75		1,472	0,034	1,55
F5	1,598	0,027	1,7		1,406	0,028	1,5
F6	1,6	0,027	1,7		1,41	0,027	1,5
F3	1,723	0,044	1,85	0.48 KV	1,823	0,014	1,9
A3206	1,696	0,038	1,8		1,798	0,027	1,85
B3206	1,698	0,042	1,8		1,826	0,012	1,9

Tabela 2.5 – Energização Estatística por CH4 – Sem Carga

<i>Ponto</i>	Valores F-T (pu)			<i>nominal (kV)</i>	Valores F-F (pu)		
	<i>média</i>	<i>desvio</i>	<i>máximo</i>		<i>média</i>	<i>desvio</i>	<i>máximo</i>
H1	1,136	0,021	1,2	138 KV	1,075	0	1,1
H2	1,136	0,021	1,2		1,075	0	1,1
H3	1,136	0,021	1,2		1,075	0	1,1
H4	1,136	0,021	1,2		1,075	0	1,1
H5	1,136	0,021	1,2		1,075	0	1,1
H6	1,136	0,021	1,2		1,075	0	1,1
A33	1,135	0,021	1,2	13.8 KV	1,262	0,024	1,3
B33	1,847	0,152	2,2		1,74	0,096	1,95
A3288	1,18	0,015	1,25		1,275	0	1,3
B3288	1,226	0,008	1,3		1,185	0,022	1,2
CH3	1,135	0,02	1,2		1,262	0,024	1,3
CH4	1,135	0,02	1,2		1,262	0,024	1,3
CH5	1,847	0,152	2,2		1,74	0,096	1,95
CH6	1,847	0,152	2,2		1,74	0,096	1,95
A533	1,184	0,036	1,3		1,319	0,03	1,4
B533	1,184	0,036	1,3		1,319	0,03	1,4
P3254	1,96	0,17	2,3		1,781	0,101	2
A6211	1,138	0,022	1,2		1,265	0,029	1,35
B6211	1,64	0,111	2		1,602	0,076	1,75
Q3254	1,184	0,036	1,3		1,319	0,029	1,4
Q3288	1,138	0,022	1,2		1,264	0,027	1,35
FIM	1,137	0,022	1,2		1,263	0,026	1,35
A3232	1,075	0	1,1	4.16 KV	1,136	0,021	1,2
B3232	1,083	0,018	1,15		1,191	0,024	1,25
P3210	2,162	0,188	2,55		2,007	0,187	2,55
A3203	1,815	0,117	2,15		1,735	0,099	2
B3203	1,769	0,104	2,1		1,738	0,126	1,95
F1	1,82	0,119	2,15		1,74	0,099	2
F2	1,822	0,119	2,15		1,748	0,098	2
F4	1,819	0,119	2,15		1,736	0,099	2
F5	1,773	0,104	2,1		1,743	0,128	2
F6	1,779	0,105	2,1		1,75	0,126	2
F3	1,895	0,13	2,15	0.48 KV	2,039	0,102	2,35
A3206	1,892	0,135	2,15		1,994	0,102	2,35
B3206	1,883	0,135	2,15		2,002	0,108	2,35

Tabela 2.6 – Energização Estatística por CH5 – Sem Carga

<i>ponto</i>	Valores F-T (pu)			<i>nominal (kV)</i>	Valores F-F (pu)		
	<i>média</i>	<i>desvio</i>	<i>máximo</i>		<i>média</i>	<i>desvio</i>	<i>máximo</i>
H1	1,142	0,024	1,2	138 KV	1,075	0	1,1
H2	1,142	0,024	1,2		1,075	0	1,1
H3	1,142	0,024	1,2		1,075	0	1,1
H4	1,142	0,024	1,2		1,075	0	1,1
H5	1,142	0,024	1,2		1,075	0	1,1
H6	0,142	0,024	1,2		1,075	0	1,1
A33	1,142	0,024	1,2	13.8 KV	1,266	0,031	1,35
B33	1,756	0,118	2,05		1,722	0,103	1,95
A3288	1,125	0	1,15		1,228	0,12	1,3
B3288	1,225	0	1,25		1,207	0,038	1,3
CH3	1,142	0,024	1,2		1,266	0,031	1,35
CH4	1,142	0,024	1,2		1,266	0,031	1,35
CH5	1,756	0,118	2,05		1,722	0,01	1,95
CH6	1,756	0,118	2,05		1,722	0,01	1,95
A533	1,181	0,02	1,25		1,3	0,025	1,35
B533	1,181	0,02	1,25		1,3	0,025	1,35
P3254	1,646	0,084	1,85		1,704	0,077	1,9
A6211	1,147	0,026	1,2		1,271	0,032	1,35
B6211	1,536	0,066	1,7		1,564	0,052	1,7
Q3254	1,181	0,019	1,25		1,3	0,025	1,35
Q3288	1,147	0,025	1,2		1,271	0,032	1,35
FIM	1,144	0,025	1,2		1,268	0,032	1,35
A3232	1,075	0	1,1	4.16 KV	1,142	0,024	1,2
B3232	1,088	0,024	1,2		1,193	0,036	1,3
P3210	1,967	0,031	2,05		1,765	0,035	1,9
A3203	1,751	0,094	1,95		1,635	0,084	1,85
B3203	1,732	0,08	2		1,628	0,074	1,8
F1	1,754	0,09	1,95		1,645	0,086	1,85
F2	1,756	0,094	1,95		1,647	0,083	1,85
F4	1,754	0,09	1,95		1,649	0,085	1,85
F5	1,739	0,078	2		1,635	0,077	1,85
F6	1,774	0,083	2,05		1,644	0,079	1,85
F3	1,785	0,084	1,95	0.48 KV	1,86	0,079	2
A3206	1,76	0,087	1,9		1,842	0,073	2
B3206	1,762	0,09	1,95		1,858	0,096	2,05

Tabela 2.7 – Energização Estatística por CH6 – Sem Carga

<i>ponto</i>	Valores F-T (pu)			<i>nominal (kV)</i>	Valores F-F (pu)		
	<i>média</i>	<i>desvio</i>	<i>máximo</i>		<i>média</i>	<i>desvio</i>	<i>máximo</i>
H1	1,125	0	1,15	138 KV	1,075	0	1,1
H2	1,125	0	1,15		1,075	0	1,1
H3	1,125	0	1,15		1,075	0	1,1
H4	1,125	0	1,15		1,075	0	1,1
H5	1,125	0	1,15		1,075	0	1,1
H6	1,125	0	1,15		1,075	0	1,1
A33	1,473	0,084	1,75	13.8 KV	1,338	0,044	1,5
B33	1,275	0	1,3		1,375	0	1,4
A3288	1,125	0	1,15		1,225	0	1,25
B3288	1,225	0	1,25		1,175	0	1,2
CH3	1,473	0,083	1,75		1,338	0,044	1,5
CH4	1,473	0,083	1,75		1,338	0,044	1,5
CH5	1,275	0	1,3		1,375	0	1,4
CH6	1,275	0	1,3		1,375	0	1,4
A533	2,16	0,135	2,6		1,843	0,263	2,35
B533	2,16	0,135	2,6		1,843	0,263	2,35
P3254	1,325	0	1,35		1,475	0	1,5
A6211	1,133	0,108	1,2		1,25	0,025	1,3
B6211	1,275	0	1,3		1,375	0	1,4
Q3254	1,408	0,079	1,65		1,309	0,034	1,45
Q3288	2,031	0,077	2,15		1,745	0,15	2,1
FIM	2,011	0,072	2,15		1,772	0,146	2,15
A3232	1,075	0	1,1	4.16 KV	1,125	0	1,15
B3232	1,075	0	1,1		1,165	0,02	1,2
P3210	2,075	0	2,1		1,825	0	1,85
A3203	1,625	0	1,65		1,425	0	1,45
B3203	1,601	0,025	1,65		1,375	0	1,4
F1	1,625	0,027	1,65		1,425	0	1,45
F2	1,625	0,027	1,65		1,425	0	1,45
F4	1,625	0,027	1,65		1,425	0	1,45
F5	1,605	0,024	1,65		1,375	0	1,4
F6	1,61	0,023	1,65		1,375	0	1,4
F3	1,728	0	1,75	0.48 KV	1,825	0	1,85
A3206	1,728	0	1,75		1,78	0,015	1,85
B3206	1,728	0	1,75		1,825	0	1,85

Tabela 2.8 – Energização Estatística por CH7 – Sem Carga

<i>ponto</i>	Valores F-T (pu)			<i>nominal (kV)</i>	Valores F-F (pu)		
	<i>média</i>	<i>desvio</i>	<i>máximo</i>		<i>média</i>	<i>desvio</i>	<i>máximo</i>
H1	1,554	0,095	1,8	138 KV	1,433	0,1	1,65
H2	1,554	0,095	1,8		1,433	0,1	1,65
H3	1,554	0,095	1,8		1,433	0,1	1,65
H4	1,554	0,095	1,8		1,433	0,1	1,65
H5	1,554	0,095	1,8		1,433	0,1	1,65
H6	1,544	0,095	1,8		1,433	0,1	1,65
A33	1,506	0,087	1,7	13.8 KV	1,586	0,098	1,75
B33	1,528	0,075	1,7		1,635	0,083	1,75
A3288	1,552	0,117	1,95		1,552	0,206	2,2
B3288	1,714	0,179	2,15		1,755	0,238	2,35
CH3	1,506	0,087	1,7		1,586	0,098	1,75
CH4	1,506	0,087	1,7		1,586	0,098	1,75
CH5	1,506	0,087	1,7		1,635	0,084	1,75
CH6	1,506	0,087	1,7		1,635	0,084	1,75
A533	1,465	0,069	1,6		1,155	0,069	1,35
B533	1,465	0,069	1,6		1,155	0,069	1,35
P3254	1,561	0,063	1,7		1,652	0,079	1,8
A6211	1,485	0,083	1,65		1,555	0,093	1,7
B6211	1,523	0,077	1,7		1,626	0,092	1,75
Q3254	1,469	0,068	1,6		1,545	0,07	1,65
Q3288	1,507	0,087	1,7		1,584	0,102	1,75
FIM	1,533	0,089	1,7		1,604	0,103	1,75
A3232	1,564	0,221	2,1	4.16 KV	1,666	0,268	2,40 (*)
B3232	1,952	0,116	2,15		2,001	0,152	2,25
P3210	2,128	0,093	2,25		1,997	0,098	2,35
A3203	1,685	0,057	1,85		1,605	0,074	1,75
B3203	1,722	0,07	1,85		1,665	0,077	1,8
F1	1,687	0,055	1,85		1,608	0,075	1,75
F2	1,688	0,054	1,85		1,612	0,078	1,8
F4	1,687	0,055	1,85		1,608	0,075	1,7
F5	1,725	0,067	1,85		1,667	0,076	1,8
F6	1,727	0,068	1,85		1,669	0,077	1,85
F3	1,609	0,081	2,05	0.48 KV	1,818	0,083	2,3
A3206	1,679	0,082	2		1,813	0,076	2,25
B3206	1,695	0,09	2,1		1,833	0,088	2,35

Tabela 2.9 – Energização Estatística por CH2 – Carga Situação A

(*) a análise específica dos transformadores 138 kV / 4.16 kV consta da seção 2.8

<i>ponto</i>	Valores F-T (pu)			<i>nominal (kV)</i>	Valores F-F (pu)		
	<i>média</i>	<i>desvio</i>	<i>máximo</i>		<i>média</i>	<i>desvio</i>	<i>máximo</i>
H1	1,514	0,11	1,75	138 KV	1,433	0,084	1,65
H2	1,514	0,11	1,75		1,433	0,084	1,65
H3	1,514	0,11	1,75		1,433	0,084	1,65
H4	1,514	0,11	1,75		1,433	0,084	1,65
H5	1,514	0,11	1,75		1,433	0,084	1,65
H6	1,514	0,11	1,75		1,433	0,084	1,65
A33	1,465	0,066	1,6	13.8 KV	1,497	0,082	1,65
B33	1,429	0,076	1,55		1,498	0,083	1,65
A3288	1,415	0,065	1,65		1,413	0,097	1,65
B3288	1,573	0,172	1,95		1,651	0,202	2,05
CH3	1,465	0,066	1,6		1,497	0,082	1,65
CH4	1,465	0,066	1,6		1,497	0,082	1,65
CH5	1,429	0,076	1,55		1,498	0,083	1,65
CH6	1,429	0,076	1,55		1,498	0,083	1,65
A533	1,437	0,059	1,55		1,171	0,071	1,3
B533	1,437	0,059	1,55		1,171	0,071	1,3
P3254	1,456	0,063	1,6		1,522	0,066	1,7
A6211	1,444	0,067	1,55		1,475	0,078	1,6
B6211	1,422	0,075	1,55		1,492	0,085	1,65
Q3254	1,445	0,058	1,55		1,476	0,062	1,6
Q3288	1,466	0,069	1,6		1,498	0,084	1,65
FIM	1,493	0,071	1,65		1,52	0,089	1,65
A3232	1,554	0,195	2,05	4.16 KV	1,61	0,241	2,35 (*)
B3232	1,87	0,19	2,2 (*)		1,947	0,16	2,25
P3210	1,531	0,07	1,75		1,873	0,072	2,1
A3203	1,563	0,056	1,7		1,479	0,063	1,6
B3203	1,537	0,067	1,7		1,527	0,059	1,65
F1	1,537	0,057	1,7		1,483	0,065	1,6
F2	1,537	0,057	1,7		1,486	0,068	1,65
F4	1,565	0,056	1,7		1,481	0,064	1,6
F5	1,588	0,067	1,7		1,513	0,063	1,65
F6	1,591	0,066	1,7		1,533	0,063	1,65
F3	1,567	0,067	1,75	0.48 KV	1,714	0,072	2
A3206	1,556	0,065	1,7		1,704	0,059	1,9
B3206	1,569	0,077	1,8		1,713	0,085	2,05

Tabela 2.10 – Energização Estatística por CH2 – Carga Situação B

(*) a análise específica dos transformadores 138 kV / 4.16 kV consta da seção 2.8

	Valores F-T (pu)				Valores F-F (pu)		
<i>ponto</i>	<i>média</i>	<i>desvio</i>	<i>máximo</i>	<i>nominal (kV)</i>	<i>média</i>	<i>desvio</i>	<i>máximo</i>
H1	1,075	0	1,1	138 KV	1,075	0	1,1
H2	1,075	0	1,1		1,075	0	1,1
H3	1,075	0	1,1		1,075	0	1,1
H4	1,075	0	1,1		1,075	0	1,1
H5	1,075	0	1,1		1,075	0	1,1
H6	1,075	0	1,1		1,075	0	1,1
A33	1,224	0,034	1,3	13.8 KV	1,277	0,035	1,35
B33	1,125	0	1,15		1,169	0,025	1,15
A3288	1,125	0	1,15		1,175	0	1,2
B3288	1,175	0	1,2		1,125	0	1,15
CH3	1,634	0,258	2,35		1,334	0,129	1,85
CH4	1,224	0,034	1,35		1,277	0,035	1,35
CH5	1,125	0	1,15		1,169	0,016	1,2
CH6	1,125	0	1,15		1,169	0,016	1,2
A533	2,287	0,241	3,2		1,951	0,291	2,5
B533	2,287	0,241	3,2		1,951	0,291	2,5
P3254	1,125	0	1,15		1,221	0,014	1,25
A6211	1,148	0,027	1,25		1,261	0,027	1,35
B6211	1,125	0	1,15		1,172	0,02	1,2
Q3254	2,24	0,183	2,6		1,747	0,153	2,2
Q3288	1,225	0,059	1,4		1,275	0,035	1,4
FIM	1,248	0,069	1,45		1,296	0,044	1,45
A3232	1,075	0	1,1	4.16 KV	1,075	0	1,1
B3232	1,075	0	1,1		1,077	0,009	1,25
P3210	1,49	0,025	1,6		1,433	0,018	1,5
A3203	1,278	0,02	1,35		1,175	0	1,2
B3203	1,233	0,02	1,35		1,175	0	1,2
F1	1,278	0,02	1,35		1,175	0	1,2
F2	1,278	0,02	1,35		1,175	0	1,2
F4	1,278	0,02	1,35		1,175	0	1,2
F5	1,233	0,018	1,3		1,175	0	1,2
F6	1,233	0,018	1,3		1,175	0	1,2
F3	1,328	0,02	1,4	0.48 KV	1,428	0,02	1,5
A3206	1,281	0,019	1,4		1,425	0	1,45
B3206	1,326	0,007	1,4		1,425	0	1,45

Tabela 2.11 – Energização Estatística por CH3 – Carga Situação B

<i>ponto</i>	Valores F-T (pu)			<i>nominal (kV)</i>	Valores F-F (pu)		
	<i>média</i>	<i>desvio</i>	<i>máximo</i>		<i>média</i>	<i>desvio</i>	<i>máximo</i>
H1	1,075	0	1,1	138 KV	1,075	0	1,1
H2	1,075	0	1,1		1,075	0	1,1
H3	1,075	0	1,1		1,075	0	1,1
H4	1,075	0	1,1		1,075	0	1,1
H5	1,075	0	1,1		1,075	0	1,1
H6	1,075	0	1,1		1,075	0	1,1
A33	1,135	0,02	1,2	13.8 KV	1,226	0,033	1,3
B33	1,125	0	1,15		1,173	0,01	1,2
A3288	1,125	0	1,15		1,175	0	1,2
B3288	1,175	0	1,2		1,125	0	1,15
CH3	1,126	0,03	1,2		1,226	0,033	1,3
CH4	1,135	0,02	1,2		1,226	0,033	1,3
CH5	1,125	0,1	1,15		1,173	0,01	1,2
CH6	1,125	0,1	1,15		1,173	0,01	1,2
A533	1,24	0,171	1,6		1,146	0,059	1,3
B533	1,24	0,171	1,6		1,146	0,059	1,3
P3254	1,125	0,171	1,15		1,223	0,01	1,25
A6211	1,129	0,014	1,2		1,214	0,031	1,3
B6211	1,125	0	1,15		1,175	0	1,2
Q3254	1,272	0,155	1,7		1,253	0,033	1,3
Q3288	1,15	0	1,15		1,227	0,032	1,3
FIM	1,165	0,032	1,15		1,249	0,039	1,3
A3232	1,075	0	1,1	4.16 KV	1,075	0	1,1
B3232	1,075	0	1,1		1,076	0,007	1,15
P3210	1,486	0,021	1,55		1,43	0,015	1,5
A3203	1,275	0	1,3		1,175	0	1,2
B3203	1,23	0,015	1,3		1,175	0	1,2
F1	1,276	0,007	1,35		1,175	0	1,2
F2	1,276	0,007	1,35		1,175	0	1,2
F4	1,276	0,007	1,35		1,175	0	1,2
F5	1,23	0,015	1,3		1,175	0	1,2
F6	1,23	0,015	1,3		1,175	0	1,2
F3	1,327	0,009	1,4	0.48 KV	1,426	0,007	1,5
A3206	1,279	0,013	1,35		1,425	0	1,45
B3206	1,325	0	1,35		1,425	0	1,45

Tabela 2.12 – Energização Estatística por CH3 – Carga Situação B + 1 MW em A533

<i>ponto</i>	Valores F-T (pu)			<i>nominal (kV)</i>	Valores F-F (pu)		
	<i>média</i>	<i>desvio</i>	<i>máximo</i>		<i>média</i>	<i>desvio</i>	<i>máximo</i>
H1	1,075	0	1,1	138 KV	1,075	0	1,1
H2	1,075	0	1,1		1,075	0	1,1
H3	1,075	0	1,1		1,075	0	1,1
H4	1,075	0	1,1		1,075	0	1,1
H5	1,075	0	1,1		1,075	0	1,1
H6	1,075	0	1,1		1,075	0	1,1
A33	1,125	0	1,15	13.8 KV	1,161	0,023	1,2
B33	1,175	0	1,2		1,175	0	1,2
A3288	1,175	0	1,2		1,175	0	1,2
B3288	1,175	0	1,2		1,175	0	1,2
CH3	1,229	0,014	1,3		1,225	0,023	1,25
CH4	1,125	0	1,15		1,161	0,023	1,2
CH5	1,175	0	1,2		1,175	0	1,2
CH6	1,175	0	1,2		1,175	0	1,2
A533	1,232	0,023	1,35		1,225	0	1,25
B533	1,232	0,023	1,35		1,225	0	1,25
P3254	1,225	0	1,25		1,225	0	1,25
A6211	1,125	0	1,15		1,169	0,016	1,2
B6211	1,175	0	1,2		1,175	0	1,2
Q3254	1,225	0	1,25		1,225	0	1,25
Q3288	1,125	0	1,15		1,172	0,012	1,2
FIM	1,125	0	1,15		1,169	0,016	1,2
A3232	1,075	0	1,1	4.16 KV	1,075	0	1,1
B3222	1,075	0	1,1		1,075	0	1,1
P3210	1,525	0	1,55		1,475	0	1,5
A3203	1,275	0	1,3		1,225	0	1,25
B3203	1,275	0	1,3		1,225	0	1,25
F1	1,275	0	1,3		1,225	0	1,25
F2	1,275	0	1,3		1,225	0	1,25
F4	1,275	0	1,3		1,225	0	1,25
F5	1,275	0	1,3		1,225	0	1,25
F6	1,275	0	1,3		1,225	0	1,25
F3	1,325	0	1,35	0.48 KV	1,425	0	1,45
A3206	1,275	0	1,3		1,375	0	1,4
B3206	1,275	0	1,3		1,375	0	1,4

Tabela 2.13 – Energização Estatística por CH3 – Carga Situação B – Chave NF em P3254 – Q3254

<i>ponto</i>	Valores F-T (pu)			<i>nominal (kV)</i>	Valores F-F (pu)		
	<i>média</i>	<i>desvio</i>	<i>máximo</i>		<i>média</i>	<i>desvio</i>	<i>máximo</i>
H1	1,075	0	1,1	138 KV	1,075	0	1,1
H2	1,075	0	1,1		1,075	0	1,1
H3	1,075	0	1,1		1,075	0	1,1
H4	1,075	0	1,1		1,075	0	1,1
H5	1,075	0	1,1		1,075	0	1,1
H6	1,075	0	1,1		1,075	0	1,1
A33	1,125	0	1,15	13.8 KV	1,225	0	1,25
B33	1,225	0	1,25		1,225	0	1,25
A3288	1,225	0	1,25		1,175	0	1,2
B3288	1,225	0	1,25		1,225	0	1,25
CH3	1,281	0,026	1,45		1,225	0	1,25
CH4	1,125	0	1,15		1,225	0	1,25
CH5	1,225	0	1,25		1,225	0	1,25
CH6	1,225	0	1,25		1,275	0	1,3
A533	1,284	0,036	1,5		1,275	0	1,3
B533	1,284	0,036	1,5		1,275	0	1,3
P3254	1,275	0	1,3		1,275	0	1,3
A6211	1,125	0	1,15		1,225	0	1,25
B6211	1,225	0	1,25		1,225	0	1,25
Q3254	1,275	0	1,3		1,275	0	1,3
Q3288	1,125	0	1,15		1,275	0	1,3
FIM	1,125	0	1,15		1,225	0	1,25
A3232	1,075	0	1,1	4.16 KV	1,075	0	1,1
B3232	1,075	0	1,1		1,076	0,007	1,15
P3210	1,692	0,024	1,75		1,575	0	1,6
A3203	1,375	0	1,4		1,275	0	1,3
B3203	1,375	0	1,4		1,275	0	1,3
F1	1,375	0	1,4		1,275	0	1,3
F2	1,375	0	1,4		1,275	0	1,3
F4	1,375	0	1,4		1,275	0	1,3
F5	1,375	0	1,4		1,275	0	1,3
F6	1,375	0	1,4		1,275	0	1,3
F3	1,425	0	1,45	0.48 KV	1,525	0	1,55
A3206	1,375	0	1,4		1,475	0	1,5
B3206	1,375	0	1,4		1,521	0,014	1,55

Tabela 2.14 – Energização Estatística por CH3 – Carga Situação A – Chave NF em P3254 – Q3254

<i>Ponto</i>	Valores F-T (pu)			<i>nominal (kV)</i>	Valores F-F (pu)		
	<i>média</i>	<i>desvio</i>	<i>máximo</i>		<i>média</i>	<i>desvio</i>	<i>máximo</i>
H1	1,538	0,101	1,85	138 KV	1,452	0,091	1,65
H2	1,538	0,101	1,85		1,452	0,091	1,65
H3	1,538	0,101	1,85		1,452	0,091	1,65
H4	1,538	0,101	1,85		1,452	0,091	1,65
H5	1,538	0,101	1,85		1,452	0,091	1,65
H6	1,538	0,101	1,85		1,452	0,091	1,65
A33	1,525	0,095	1,7	13.8 KV	1,626	0,121	1,8
B33	1,675	0,094	1,9		1,756	0,099	1,95
A3288	1,823	0,229	2,3		1,726	0,193	2,25
B3288	1,941	0,075	2,4		2,068	0,345	2,6
CH3	1,525	0,095	1,7		1,626	0,12	1,8
CH4	1,525	0,095	1,7		1,626	0,12	1,8
CH5	1,675	0,094	1,9		1,756	0,099	1,95
CH6	1,675	0,094	1,9		1,756	0,099	1,95
A533	1,484	0,077	1,65		1,132	0,006	1,25
B533	1,484	0,077	1,65		1,132	0,006	1,25
P3254	1,713	0,088	1,9		1,797	0,089	2
A6211	1,501	0,099	1,7		1,619	0,125	1,85
B6211	1,68	0,102	1,9		1,76	0,107	1,95
Q3254	1,491	0,079	1,65		1,579	0,093	1,75
Q3288	1,756	0,113	2,05		1,638	0,128	1,85
FIM	1,639	0,112	1,9		1,652	0,127	1,85
A3232	1,567	0,205	2,15	4.16 KV	1,66	0,244	2,4
B3232	1,92	0,166	2,2		1,954	0,173	2,25
P3210	2,309	0,113	2,9		2,13	0,103	2,7
A3203	1,909	0,084	2,15		1,817	0,096	2
B3203	1,89	0,076	2,05		1,823	0,078	2
F1	1,918	0,088	2,15		1,831	0,099	2
F2	1,929	0,094	2,15		1,838	0,101	2,05
F4	1,916	0,085	2,15		1,827	0,1	2
F5	1,912	0,083	2,1		1,828	0,079	2
F6	1,914	0,085	2,1		1,939	0,096	2,05
F3	1,956	0,126	2,45	0.48 KV	1,973	0,156	2,65
A3206	1,915	0,112	2,35		1,958	0,142	2,55
B3206	1,957	0,124	2,45		1,975	0,156	2,65

Tabela 2.15 – Energização Estatística por CH2 – Sem Carga – CFT em Q3288

<i>ponto</i>	Valores F-T (pu)			<i>nominal (kV)</i>	Valores F-F (pu)		
	<i>média</i>	<i>desvio</i>	<i>máximo</i>		<i>média</i>	<i>desvio</i>	<i>máximo</i>
H1	1,543	0,091	1,7	138 KV	1,453	0,088	1,65
H2	1,543	0,091	1,7		1,453	0,088	1,65
H3	1,543	0,091	1,7		1,453	0,088	1,65
H4	1,543	0,091	1,7		1,453	0,088	1,65
H5	1,543	0,091	1,7		1,453	0,088	1,65
H6	1,543	0,091	1,7		1,453	0,088	1,65
A33	1,553	0,076	1,7	13.8 KV	1,658	0,102	1,85
B33	1,672	0,093	1,9		1,782	0,099	2
A3288	1,828	0,24	2,35		1,729	0,185	2,2
B3288	1,918	0,239	2,35		2,038	0,29	2,55
CH3	1,553	0,076	1,7		1,658	0,102	1,85
CH4	1,553	0,076	1,7		1,658	0,102	1,85
CH5	1,672	0,093	1,9		1,782	0,098	2
CH6	1,672	0,093	1,9		1,782	0,098	2
A533	1,596	0,104	1,85		0,98	0,066	1,15
B533	1,596	0,104	1,85		0,98	0,066	1,15
P3254	1,711	0,081	1,9		1,809	0,096	2
A6211	1,53	0,071	1,7		1,653	0,103	1,9
B6211	1,679	0,094	1,9		1,79	0,102	2
Q3254	1,651	0,117	1,9		1,605	0,079	1,75
Q3288	1,562	0,075	1,7		1,665	0,103	1,9
FIM	1,578	0,075	1,75		1,68	0,107	1,85
A3232	1,584	0,209	2,1	4.16 KV	1,681	0,244	2,35
B3232	1,954	0,14	2,2		2,006	0,152	2,25
P3210	2,303	0,096	2,65		2,143	0,089	2,4
A3203	1,915	0,087	2,2		1,832	0,098	2
B3203	1,924	0,073	2,1		1,85	0,075	2
F1	1,927	0,086	2,2		1,836	0,096	2,05
F2	1,931	0,091	2,25		1,839	0,098	2,05
F4	1,921	0,087	2,2		1,832	0,097	2
F5	1,931	0,073	2,1		1,855	0,073	2,05
F6	1,937	0,073	2,15		1,836	0,079	2,05
F3	1,958	0,095	2,2	0.48 KV	1,961	0,079	2,3
A3206	1,908	0,088	2,15		1,951	0,074	2,25
B3206	1,954	0,087	2,2		1,975	0,087	2,3

Tabela 2.16 – Energização Estatística por CH2 – Sem Carga – CFT em Q3254

2.7 Caso Determinístico

Com objetivo de se conhecer a tipologia das formas de ondas esperadas, durante os ensaios de manobras, foi selecionado um dos ensaios mais severos da tabela 2.4 que é relativa aos ensaios de energizações estatísticas através da CHV3 com a rede do Tebar em vazio.

Observa-se que as sobretensões máximas encontradas ocorrem no início dos transitórios e tem duração de poucos ciclos.

Por este motivo não se julga pertinente considerar como critério o valor de tensão suportável nominal à frequência industrial durante 1 minuto.

As figuras abaixo mostram as formas de onda encontradas:

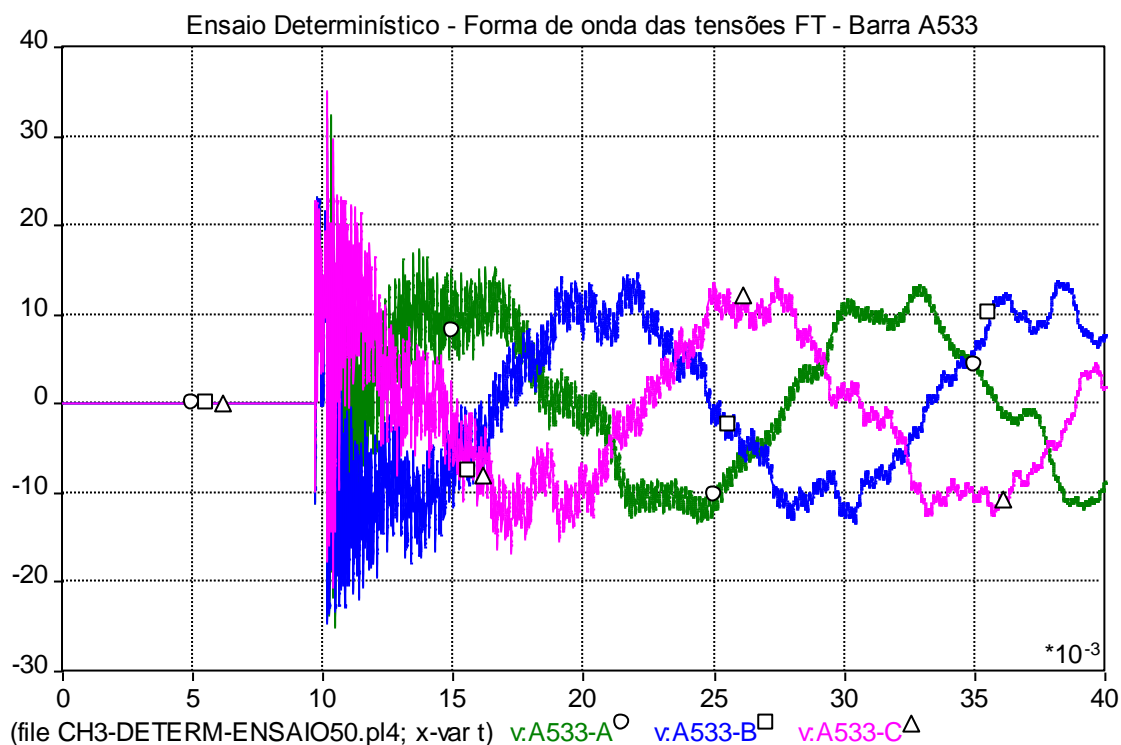


Figura 2.3 – Tensões FT na barra A533

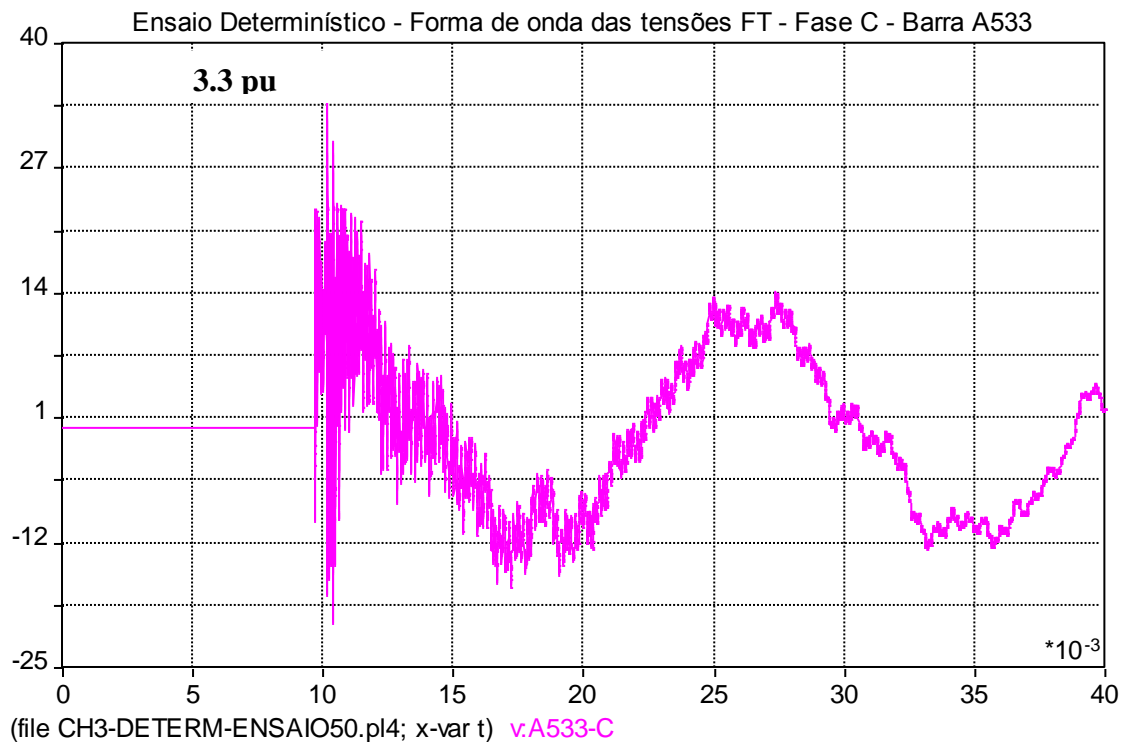
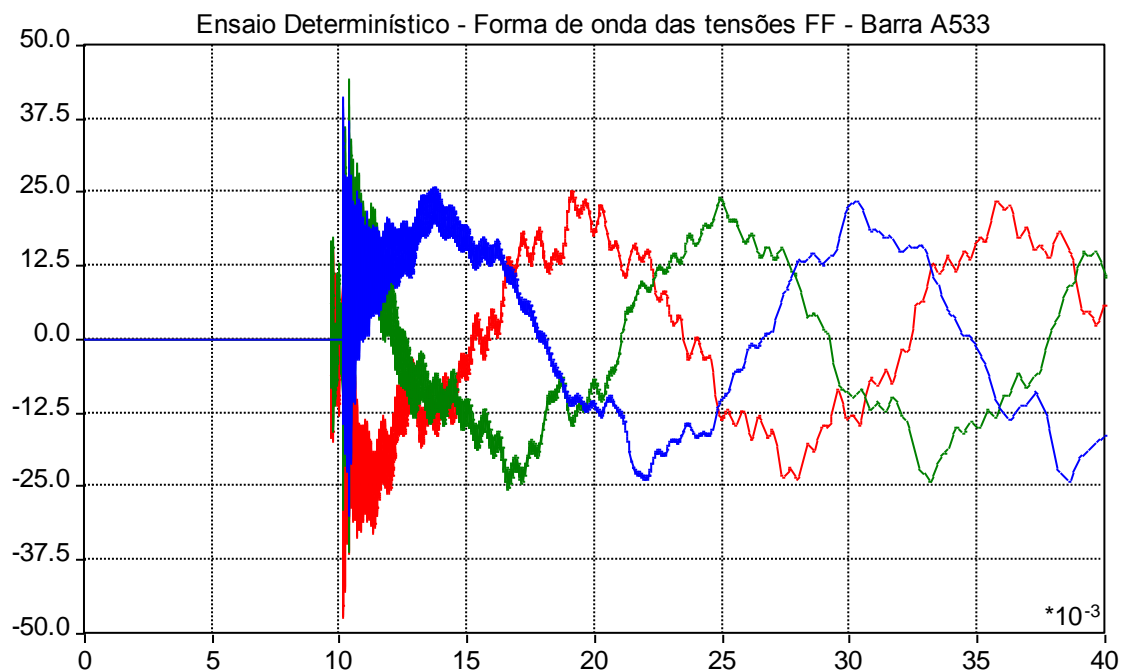
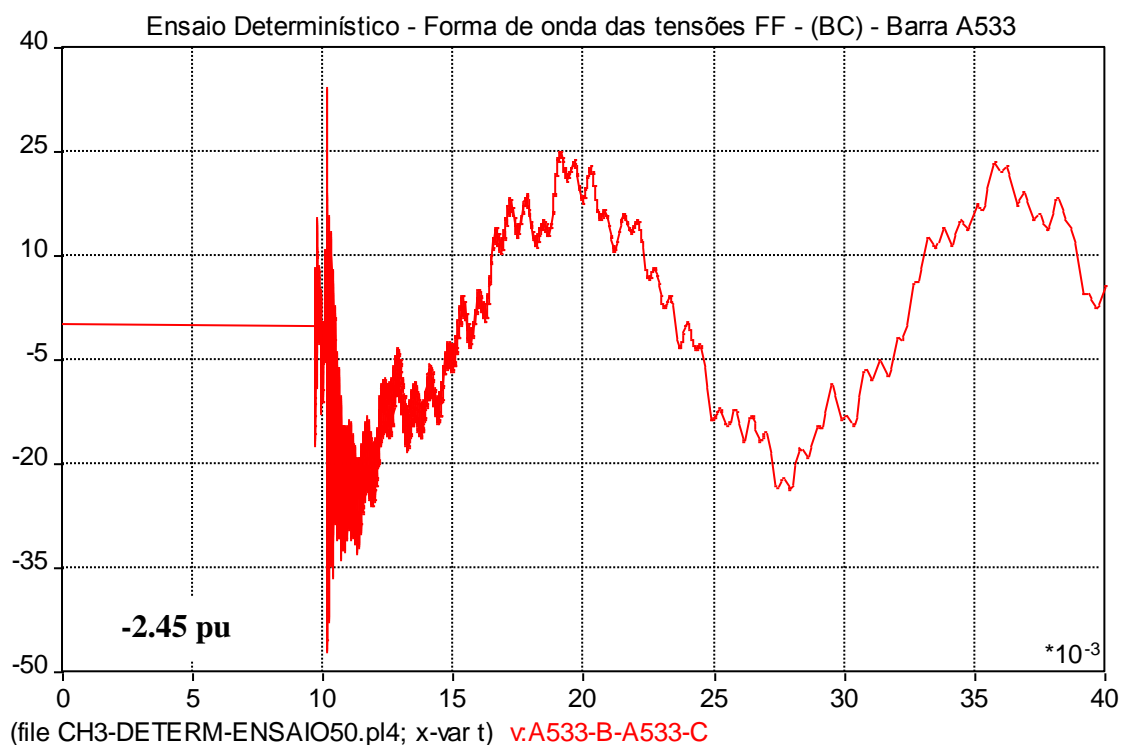


Figura 2.4 – Tensões FT na barra A533 (fase C)



(file CH3-DETERM-ENSAIO50.pl4; x-var t) v.A533-B-A533-C v.A533-C-A533-A

Figura 2.5 - Tensões FF na barra A533



(file CH3-DETERM-ENSAIO50.pl4; x-var t) v.A533-B-A533-C

Figura 2.6 – Tensões FF (BC)- na barra A533

2.8 Investigação da Sensibilidade da Situação das Chaves no Barramento 4.16 kV durante Manobras de Energização

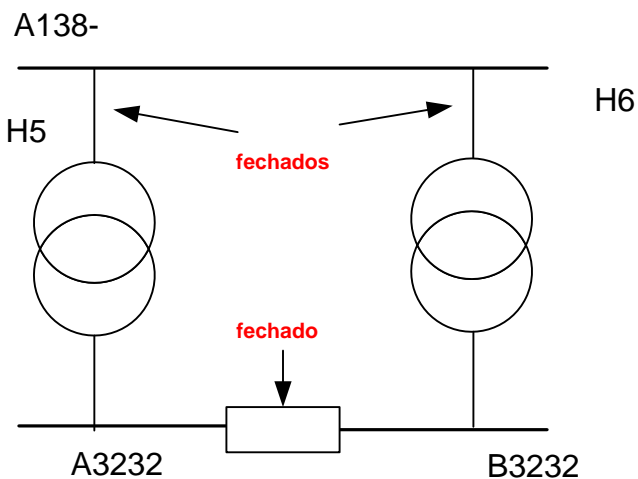
As sobretensões de manobras, resultantes nos barramento de 4.16 kV, para energizações estatísticas a partir do sistema 138 kV (CH2), se mostraram, via de regra, acima de 2.0 pu. Por este motivo foram feitos novos ensaios considerando-se:

- presença de carga nas barras A3232 e B3232
- chave de operação das barras A3232 e B3232 na posição fechada. Observa-se que esta chave é prevista para operar normalmente aberta.

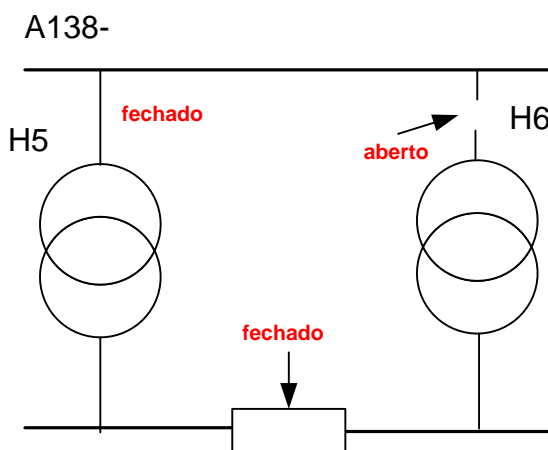
Nos casos que seguem foram consideradas as curvas de histerese de todos os transformadores de 138 kV para as tensões de 13.8 kV e 4.16 kV.

A carga alocada na barra A3232, para a realização dos ensaios deste item foi de 2 x 0.2 MW (0.4 MW) e de 3 x 0.2 MW (0.6 MW) em B3232. Foram considerados dois transformadores delta – estrela aterrado para a barra A3232 (4.16 kV / 0.48 kV) e três transformadores para a barra B3232 (4.16 kV / 0.48 kV). Cada secundário destes transformadores supriu um módulo de carga de 0.2 MW.

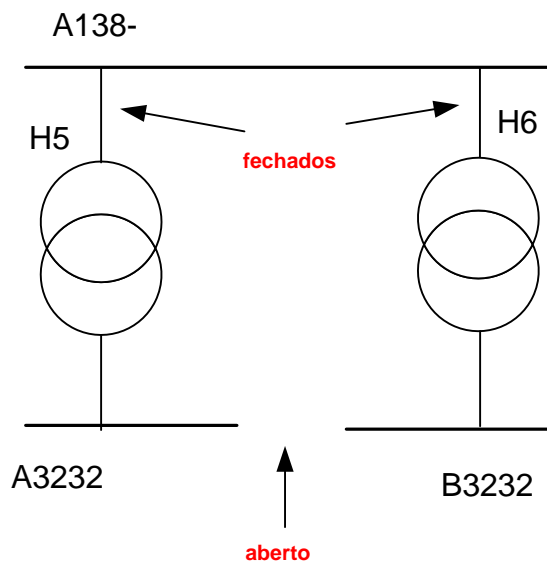
Para a energização estatística, pela chave CH2, foram consideradas as seguintes configurações abaixo:

Energização Estatística CH2


Caso a – Operação das barras A3232 e B3232 fechadas e os dois transformadores de 138 / 4.16 kV já em operação na energização estatística da CH2 – Funcionamento em Paralelo

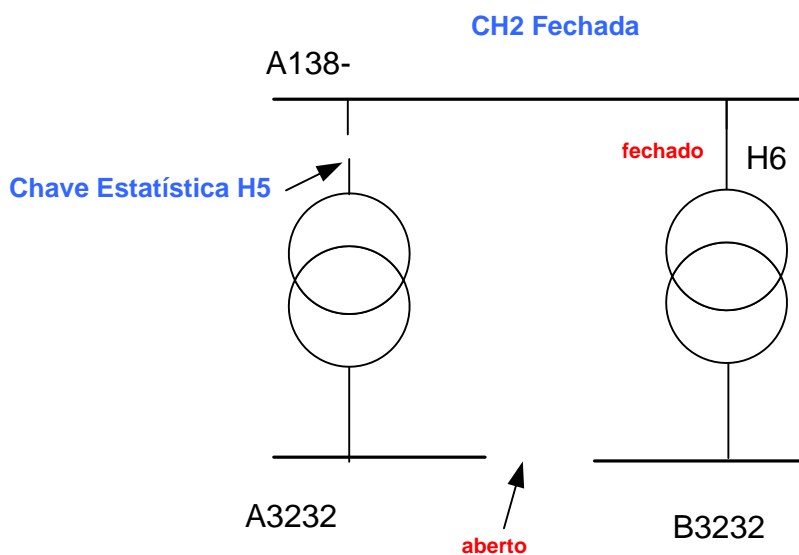
Energização Estatística CH2


Caso b – Operação das barras A3232 e B3232 fechadas e um dos transformadores de 138 / 4.16 kV já em operação na energização estatística da CH2 – Funcionamento em L

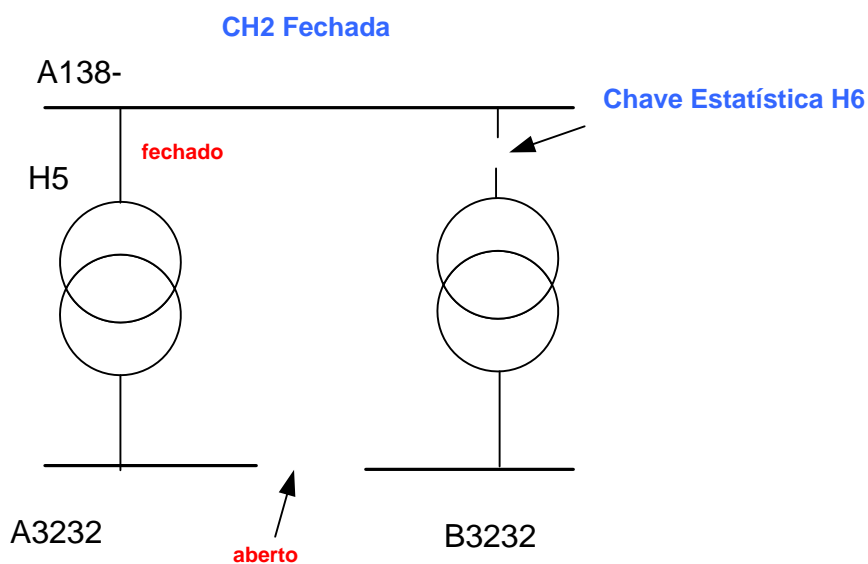
Energização Estatística CH2


Caso c – Operação das barras A3232 e B3232 separadas e os dois transformadores de 138 / 4.16 kV já em operação na energização estatística da CH2

Para os ensaios em que se considera a CH2 já fechada a regime, e energização estatística realizada através de um dos transformadores 138 kV / 4.16 kV tem-se as seguintes configurações:



Caso d – Operação das barras A3232 e B3232 separadas – CH2 fechada - Energização estatística por H5



Caso e – Operação das barras A3232 e B3232 separadas – CH2 fechada - Energização estatística por H6

A tabela abaixo apresenta as sobretensões máximas FT e FF nas duas barras do sistema de 4.16 kV:

Configuração	Sobretensões Máximas dos Ensaios (pu)				Observação
	A3232		B3232		
	FT	FF	FT	FF	
a	1,85	1,9	1,85	1,9	Energização pela CH2 - Operação em paralelo
b	1,6	1,7	1,6	1,7	Energização pela CH2 - Operação em L
c	2,1	2,4	1,7	1,8	Energização pela CH2 - Operação normal com barras separadas
d	1,95	2,15	-	-	Energização por H5 - Operação normal com barras separadas
e	-	-	1,80	1,90	Energização por H6 - Operação normal com barras separadas

Uma breve análise dos resultados mostra que energizações em L (caso b), onde as barras A3232 e B3232 operam fechadas, resulta em situação menos severa quando a energização é feita pela CH2, ou seja, diretamente pelo sistema de 138 kV. Uma situação assim poderia também poderia acontecer durante um religamento do Sistema 138 kV, após alguma falta temporária.

A operação normal das barras de 4.16 kV (caso c), operando em esquema NA, resulta em alguns valores de sobretensões máximas superiores a 2.0 pu.

Quando a chave CH2 já se encontra fechada e o sistema de 4.16 for energizado por um dos dois transformadores de 138 kV / 4.16 kV, estando o outro transformador já em operação, a energização pela barra B3232 mostra-se mais favorável, pois a possibilidade da carga alocada na B3232 ser superior à carga da barra A3232 é elevada.

Com H5 já funcionando (caso e) a energização de H6 resulta em sobretensões FT e FF menores que 2.0 pu (na barra B3232). No caso de H6 já em operação normal, a energização de H5, resulta em sobretensões FF superiores a 2.0 pu (2.15 pu) na barra A3232 (caso d). Obtem-se, neste caso, para a barra A3232, sobretensões FT ligeiramente inferiores a 2,0 pu (1,95 pu).

2.9 Referencias Bibliográficas

[2.1] - Final Report – ESEERCOO Project EP89-40- Distribution System Arrester Application (February de 1992), da POWER TECHNOLOGIES INC

[2.2] Equipamentos Elétricos – especificação e aplicação em subestações de alta tensão – Furnas Centrais Elétricas- 1985

[2.3] Norma Técnica CELG – “Disjuntor de Alta Tensão – E – NTC -45-revisão 1 - Fevereiro 2008

[2.4] Manuais do ATP – Alternative Transientes Program – Rule Book

3 ANÁLISE DE SOBRETENSÕES DEVIDAS A IMPULSOS ATMOSFÉRICOS

3.1 Introdução


Este capítulo apresenta estudos realizados para análise de impulsos atmosféricos na SE Tebar da Transpetro e nas instalações alimentadas por essa SE.

Em relação às simulações realizadas no primeiro estudo sobre o assunto, cabe ressaltar que as novas simulações realizadas e apresentadas no presente capítulo consideram informações adicionais e alterações no sistema elétrico representado, a saber: a) configurações mais precisas do sistema de subtransmissão, em função de novas informações da EDP Bandeirante e do ONS, e b) dados em formato PTW fornecidos pela Petrobrás à ABB com a ressalva de que haverá a instalação de trechos de circuitos aéreos de 13.8 kV conforme Diagrama DE-4250.01-5148-741-ADA-001 Rev. B.

3.2 Normas e Documentos de Referência

Para a elaboração deste relatório as seguintes normas e bibliografias foram consultadas:

- [3.1] IEC TR 60071-4-2004 – Insulation Co-ordination – Part 4: Computational Guide to Insulation Co-ordination and Modeling of Electrical Networks
- [3.2] IEEE Modeling and Analysis of System Transients Working Group – Modeling Guidelines for Fast Front Transients – IEEE Trans. On Power Delivery, Vol. 11, No. 1. January 1996
- [3.3] FURNAS (D'Ajuz, A., Fonseca, C. S e outros) – Transitórios Elétricos e Coordenação de Isolamento – Aplicação em Sistemas de Potência de Alta-Tensão – Editora Universitária - Furnas – 1987

	MEMÓRIA DE CALCULO	Nº MA-4250.01-5142-912-ABF-011	REV. F
	TRANSPETRO		FOLHA 47 de 85
	TÍTULO: MEMÓRIA DE DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS PRINCIPAIS DA SE		

[3.4] IEEE Std C37.011-1994 Application Guide for Transient Recovery Voltage for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis

[3.5] CIGRE – Guide to Procedures for Estimating the Lightning Performance of Transmission Lines - 1991

[3.6] Association Candiense de L'Electricité – ACE 077 D 184A – Guide d'Application des Parafoudres aux Réseaux de Distribution – 1988

[3.7] Power Technologies, Inc. – ESEERCO Project EP89-40 – Distribution System Arrester Application – 1992

3.3 Instalação Analisada e a Rede Alimentadora

Constituem focos principais deste estudo as partes do sistema elétrico do Tebar expostas à penetração de surtos de origem em raios que atingem linhas aéreas de subtransmissão e distribuição. Assim sendo, serão objetos de análise os surtos vindos de linha de subtransmissão de 138 kV e da linha interna de média tensão, de 13.8 kV.

A instalação estudada é mostrada esquematicamente na figura 3.1 e a rede de subtransmissão que alimenta a instalação é mostrada na figura 3.2.

Os dados referentes à subestação e à instalação interna do Tebar da figura 3.1 são baseados nos documentos] citados na seção 3.4. Merece destaque o fato de que o sistema de média tensão (MT) considerado nesta revisão é solidamente aterrado na origem, ao contrário do que foi considerado no primeiro estudo de impulsos. Esta alteração foi introduzida pela Petrobrás. Os posicionamentos de pára-raios considerados neste estudo são baseados nas indicações do documento DE-4250.01-5142-946-PEN-001 – B.

A configuração da rede de subtransmissão apresentada na figura 3.2 baseia-se em informações obtidas da EDP Bandeirante Energia e do site do ONS.

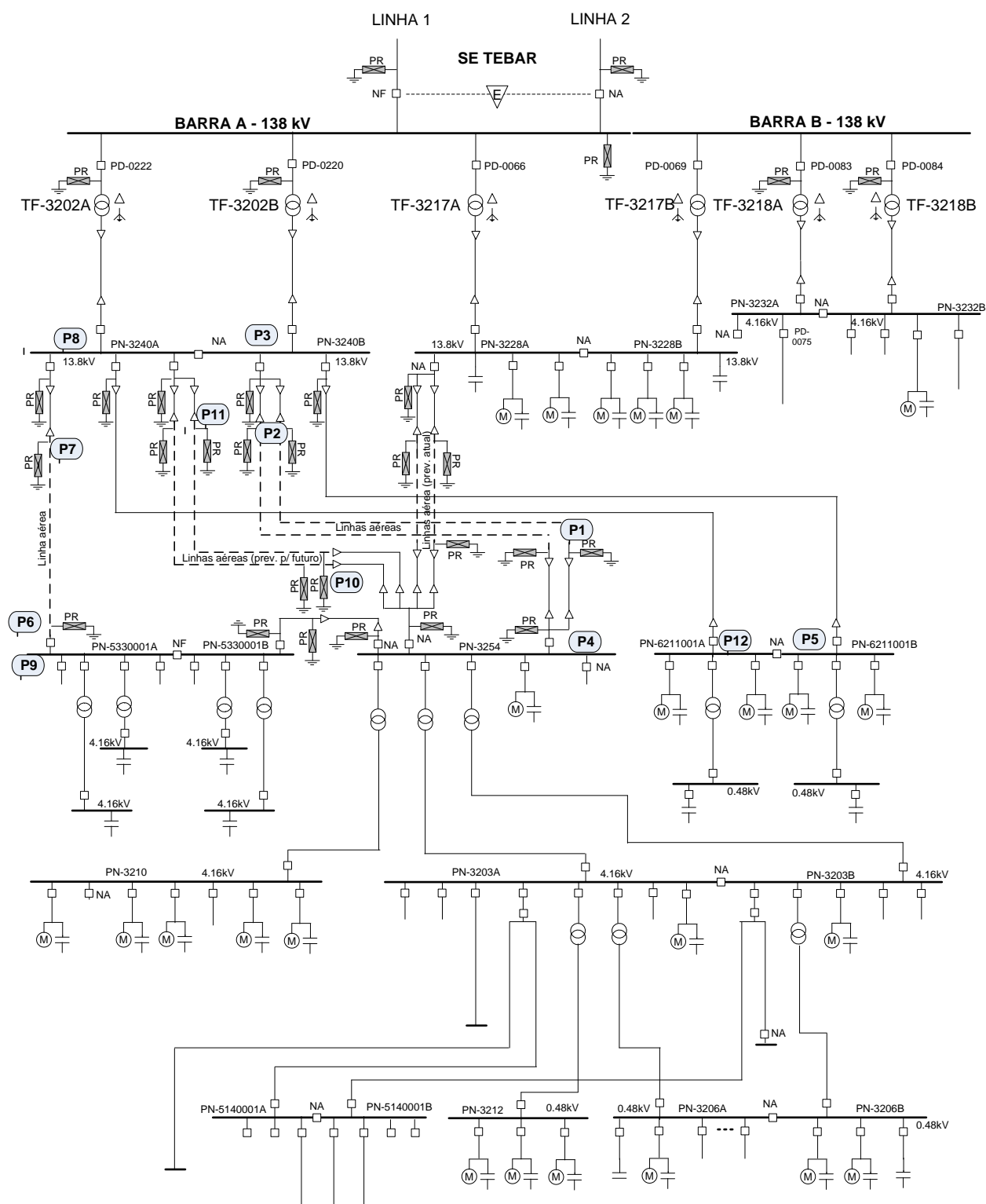


Figura 3.1 – Subestação Tebar e o sistema elétrico alimentado por essa subestação e o posicionamento dos para-raios

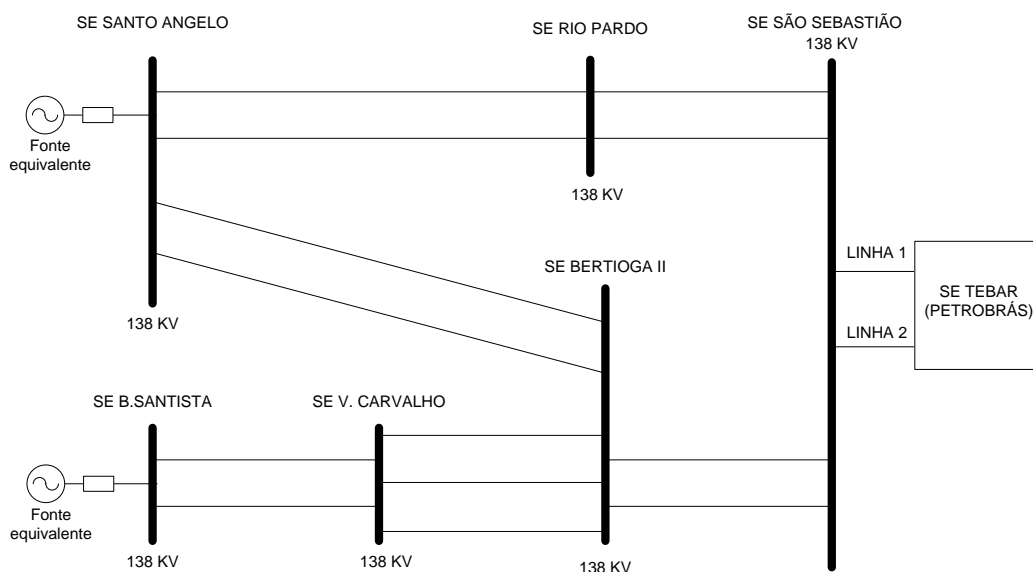



Figura 3.2 – Sistema de subtransmissão

3.4 Dados Utilizados

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos através de documentação originária da Transpetro, da concessionária EDP Bandeirante e do ONS (Operador Nacional do Sistema).

Documentos de referência:

- [a] Diagrama de impedâncias entregue pela Petrobrás à ABB em formato PTW
- [b] Esquema unifilar geral DE-4250.01-5142-946-PEN-001 – B
- [c] Documento DE-4250.10-5142-741-ATS-9002 - Esp. Técnica – Disjuntor 145 kV
- [d] Documento DE-4250.10-5142-741-ATS-9004 - Esp. Técnica – Pára-Raios 120 kV
- [e] Documento DE-4250.10-5142-741-ATS-9005 - Esp. Técnica – Transf. Corrente 145 kV
- [f] Documento DE-4250.10-5142-741-ATS-9006 - Esp. Técnica – Transf. Potencial 145 kV
- [g] Documento DE-4250.10-5142-741-ATS-9008 - Esp. Técnica – Pannel 17,5 kV
- [h] Documentos da concessionária Bandeirante
- [h.1] Parâmetros do ramal Petrobras São Sebastião.xls

	MEMÓRIA DE CALCULO	Nº MA-4250.01-5142-912-ABF-011	REV. F
	TRANSPETRO		FOLHA 50 de 85
	TÍTULO: MEMÓRIA DE DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS PRINCIPAIS DA SE		

[h.2] Relatório de curto-circuito.rel

[i] ONS: Diagramas de impedâncias – São Paulo 06/13 – Plano de Obras até 2011 – 15/06/2009 – <http://www.ons.org.br>

[j] ONS: Dados do Sistema Interligado – CONF JUN/2010 versão 08/09/2010 – BR1006B.ANA - <http://www.ons.org.br>

3.5 Metodologia Utilizada para Análise

O estudo foi realizado utilizando uma metodologia que consistiu basicamente nos seguintes passos:

a) Simulação da propagação de surtos impulsivos resultantes de quedas de raios em linhas aéreas ligadas à SE Tebar, utilizando um programa computacional para simulações digitais,

b) Verificação das sobretensões resultantes em relação a valores de referência que indicam a suportabilidade de equipamentos a impulsos atmosféricos,

c) Verificação da energia absorvida pelos pára-raios em relação à sua capacidade.

Desta maneira, é examinada a efetividade dos pára-raios existentes ou previstos na sua função protetora, bem como a adequação da suas características para a utilização no sistema elétrico ao qual está inserido.

3.6 Características Principais do Sistema Elétrico e de seus Equipamentos quanto à Proteção contra Sobretensões Impulsivas

3.6.1 Pára-Raios e Aterramento do Sistema

É uma condição primordial, para a utilização de pára-raios, levar em consideração o tipo de aterramento do sistema elétrico de forma a evitar falhas causadas por sobretensões temporárias do sistema.

a) Tensões nominais dos pára-raios

As características nominais dos pára-raios indicados no diagrama unifilar DE-425-.01-5142-946-PEN-001 do sistema elétrico do Tebar são as seguintes:

Tensão nominal da instalação	Tensão/corrente nominais de pára-raios
138 kV	120 kV / 10 kA
13.8 kV	7.95 kV

Cabem os seguintes comentários sobre essa questão:

▪ 138 kV

Para o sistema de 138 kV, as informações de curto-circuito no ponto de alimentação da SE Tebar contidas no Anexo 3.1 e fornecidas pela EDP Bandeirante Energia, indicam que a tensão nominal de pára-raios de 120 kV é compatível com o sistema de suprimento sob o ponto de vista de sobretensões temporárias.

▪ 13.8 kV

De acordo como a última definição sobre o aterramento dos sistemas de média tensão do Tebar, os neutros dos enrolamentos secundários de transformadores de 138/13.8 kV (assim como de 138/4.16 kV) serão solidamente aterrados, ao contrário da previsão inicial de se usar resistência de aterramento. Para o sistema de 13.8 kV com neutro solidamente aterrado o tensão nominal de pára-raios recomendável é de 12 kV. Portanto, cabe alertar quanto à necessidade de alterar a especificação da tensão nominal de pára-raios, de 7.97 kV para 12 kV. A corrente nominal recomendada é de 10 kA.

As simulações realizadas neste estudo consideram o uso de pára-raios de 12 kV no sistema de 13.8 kV.

O sistema de 13.8 kV é o foco de atenção nesta análise de sobretensões atmosféricas no lado de média tensão devido à previsão de instalação de linhas de distribuição aéreas, que são os locais principais onde a rede de média tensão do Tebar fica sujeita à penetração de surtos de origem atmosférica.

b) Características de proteção e de absorção de energia de pára-raios

Para o presente estudo foram consideradas as características V x I típicas de pára-raios de ZnO, constante no Anexo 3.4.

Para a análise da energia absorvida pelos pára-raios, foi considerada a capacidade típica igual a 5 kJ/kV, que resulta nas seguintes capacidades:

Tensão nominal do pára-raios	Capacidade de absorção de energia
120 kV	600 kJ
12 kV	60 kJ

3.6.2 Suportabilidade de Equipamentos da Instalação

Os seguintes valores de tensão suportável nominal de impulso atmosférico (TSNIA) foram tomados como referência para a suportabilidade de equipamentos a impulsos de tensão.

Tensão nominal do sistema	Tensão suportável nominal de impulso atmosférico (TSNIA)
138 kV	650 kV*
13.8 kV	95 kV*

* Nota: valores indicados nos documentos [c] a [g]

3.7 Simulações Computacionais

3.7.1 Programa Computacional para Simulações de Transitórios Eletromagnéticos em Rede de Potência

Para a realização das simulações foi utilizado o programa ATP (Alternative Transients Program), representando o sistema elétrico mostrado nas figuras 3.1 e 3.2.

3.7.2 Representação dos Componentes da Rede de Suprimento e da Instalação nas Simulações de Surtos Atmosféricos

Nas simulações foram adotadas as seguintes formas de representação:

a) Representação da Rede Elétrica

- Fonte equivalente do sistema de subtransmissão

As origens das linhas de subtransmissão que suprem o sistema onde se conecta a SE Tebar foram ligadas a fontes equivalentes de Thévenin que representam as SEs Santo Ângelo e Baixada Santista (figura 3.2).

- Linhas aéreas de subtransmissão

Foram representadas utilizando modelo de linha não transposta para ondas trafegantes com parâmetros distribuídos.

- Linhas aéreas e cabos subterrâneos de média tensão

Foram representados utilizando modelo de linha transposta para ondas trafegantes com parâmetros distribuídos.

- Torres das linhas de subtransmissão

Foram representadas por uma impedância de surto de 150Ω , considerando uma velocidade de propagação de $300 \text{ m}/\mu\text{s}$ [3.1].

- Transformadores

Foi utilizado o modelo de transformador ideal com reatância de dispersão e perda no cobre.

- Aterramento de torres

Foi representado por uma resistência concentrada.

- Aterramentos de subestações

Foi representado por uma resistência concentrada.

- Detalhamento das linhas de subtransmissão

Para a representação das linhas de subtransmissão da figura 3.2 foi usado o seguinte procedimento:

Nas proximidades da SE Tebar procurou-se um detalhamento maior, representando uma torre a cada 250 m (nos primeiros 10 km). Foi usado um valor de resistência de aterramento R_T para cada torre. Nos 20 km seguintes usou-se um espaçamento de 500 m entre torres, utilizando valor de resistência de aterramento $R_T/2$ em cada torre representada. Para locais mais distantes foram usados espaçamentos maiores entre torres, mas com valores de resistência de aterramento menores, na proporção inversa da distância, para levar em conta que na linha real existem vários aterramentos no trecho representado.

Nas simulações realizadas foram considerados dois valores para a resistência de aterramento por torre: $R_T = 10 \Omega$ e $R_T = 100 \Omega$.

▪ Pára-raios

Os pára-raios foram modelados como resistências não lineares variáveis com a tensão, utilizando o modelo 99 do programa ATP específico para modelagem de pára-raios ZnO. Os valores adotados para a tensão residual (característica $V \times I$) estão apresentados no Anexo 3.4.

Foram consideradas as ligações dos pára-raios à malha de terra da SE através de indutâncias concentradas, tendo sido adotado o valor de 4 μH . Para os pára-raios no sistema de distribuição foi adotado o valor de 2 μH .

▪ Capacitâncias parasitas dos elementos da rede (transformador de potência, TP, TC, pára-raios, barramento e disjuntor)

Para a adoção dos valores para utilização nas simulações foram consultadas as publicações [3.1, 3. 2, 3.3 e 3.4].

Os parâmetros referentes à representação dos componentes acima citados que foram utilizados nas simulações são apresentados no ANEXO 3.3.

b) Representação da Corrente de Descarga Atmosférica

A corrente de descarga (raio) foi modelada por uma fonte de corrente ideal com rampa dupla (onda triangular) injetada à rede elétrica no ponto de queda de raio. Foram consideradas descargas diretas (descarga no cabo de fase) e indiretas (descarga no cabo pára-raios) na linha. Para descarga diretas utilizou-se o valor de corrente máxima avaliada de acordo com o método que utiliza o modelo eletrogeométrico [3.3]. A figura 3.4 apresenta o cálculo dessa corrente. Para descargas indiretas utilizou-se um valor de corrente considerado de baixa probabilidade de ocorrência (150 kA). Para descarga no sistema de 13.8 kV foi utilizado um valor de intensidade média, para uma verificação. Em sistemas de distribuição não é usual considerar uma proteção total para as mais severas condições de descargas atmosféricas diretas na linha, tendo em vista os níveis de

isolamento menores em comparação aos sistemas de subtransmissão e transmissão. Por exemplo, no caso de descargas diretas, é praticamente inviável evitar disrupções resultantes de altas elevações de potencial, a menos que se utilizem dispositivos de proteção (pára-raios) em todos os postes e equipamentos. Assim, é comum assumir-se um certo risco na proteção em função da reduzida probabilidade de ocorrência de situações mais severas, sendo prática comum prever proteções para situações cuja probabilidade de ocorrência seja mais significativa.

Os tempos de frente considerados foram obtidos utilizando a expressão dada no documento IEC- TR 60071-4, válida para corrente maior que 20 kA:

$$T_f = 0.154 \times I_p^{0.624} \quad (3.1)$$

Foi adotada uma duração fixa de 160 μ s para as correntes de descarga, o que corresponde a um tempo de cauda até o meio valor de cerca de 80 μ s, que é um valor de duração típico. Este valor está de conformidade com IEC- TR 60071-4.

Os valores de pico e tempos de frente de utilizados para a avaliação foram os seguintes:

- Descarga direta na linha de subtransmissão (138 kV)

Utilizou-se o máximo valor de descarga direta avaliado pelo método de modelo eletrogeométrico, conforme mostrado na figuras 3.4. Adotou se conservativamente o seguinte valor:

$$I_p = 10 \text{ kA}$$

$$T_f = 0.5 \text{ us}^*$$

* Sendo $I_p < 20 \text{ kA}$, não foi usada a fórmula (3.1), mas foi adotado o valor 0.5 us, que é um tempo de subida baixo.

- Descarga indireta na linha de subtransmissão (138 kV)

$$I_p = 150 \text{ kA}$$

$$T_f = 3.5 \text{ us}$$

- Descarga direta na linha de média tensão (13.8 kV)

$$I_p = 33 \text{ kA}$$

$$T_f = 1.36 \text{ us}$$

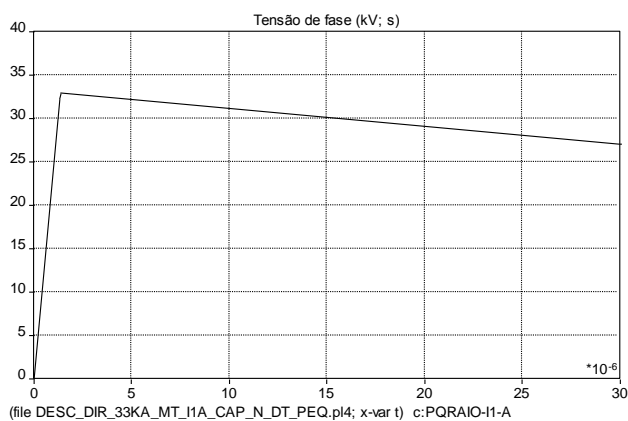


Figura 3.3 Ilustração da corrente de descarga de 33 kA

c) Determinação da máxima corrente para queda direta na rede de subtransmissão

A figura 3.4 apresenta o cálculo para a determinação da corrente máxima para queda direta.

Figura 3.4 – Cálculo da corrente máxima de descarga direta [3.3]

3.7.3 Simulações

Nas simulações, a corrente de descarga é injetada no ponto de queda de raio, no condutor em consideração.

Os seguintes pontos de queda de raio foram considerados:

a) Linha de 138 kV

- no ponto de chegada de linha de subtransmissão à SE Tebar (distância = 0 km)
- a uma distância de 5 km da SE Tebar, na linha entre a SE São Sebastião e a SE Rio Pardo.

b) Linha de 13.8 kV

- no início e/ou fim de linhas aéreas de 13.8 kV

As simulações foram realizadas sem a superposição das tensões de 60 Hz, avaliando-se basicamente as sobretensões de impulso atmosférico. Conforme mostrado a seguir, a influência da tensão de frequência industrial em surtos de tensão numa subestação protegida por pára-raios é pouco significativa, tendo em vista o efeito de proteção de pára-raios.

Verificação da Influência da Tensão de Frequência Industrial

A figura 3.5 mostra uma comparação entre os resultados de simulações com e sem a consideração da tensão de 60 Hz.

Pode ser observado que nos primeiros instantes das formas de ondas de tensão, que é a parte mais importante, a diferença entre as tensões em ambas as situações, ou seja, com e sem a superposição da tensão de 60 Hz, é muito pequena.

A figura 3.6 mostra que também para a energia absorvida por pára-raios a diferença de resultados com e sem a contribuição de 60 Hz é não é grande.

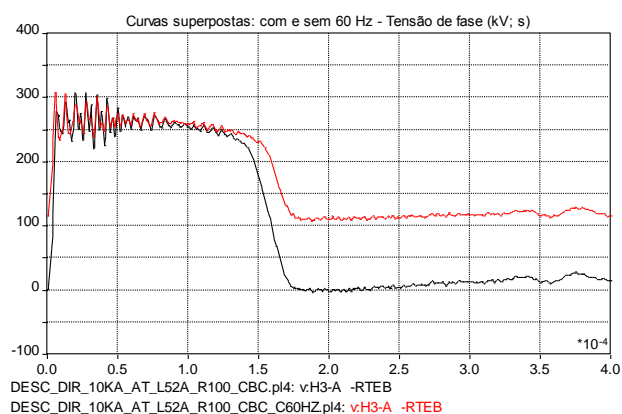
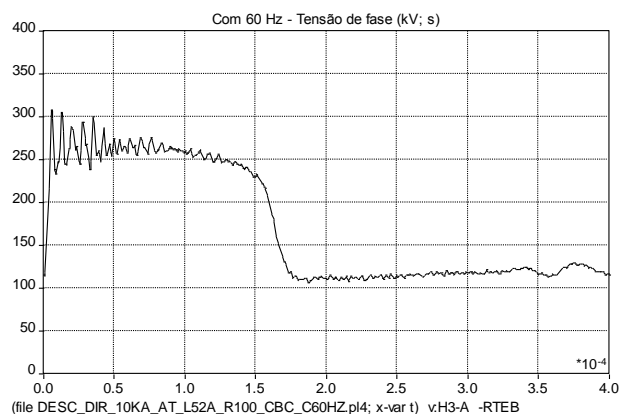
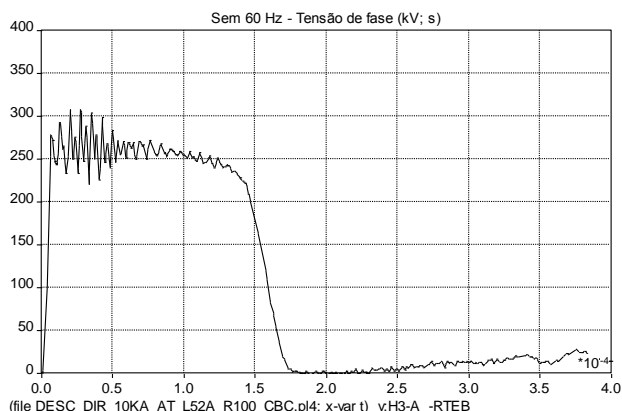


Figura 3.5 – (a) Tensão transitória sem a tensão de 60 Hz; (b) Efeito da superposição da tensão de 60 Hz na tensão transitória - Descarga direta a 0 km; RT = 10 Ohms - Transformador sem pára-raios próprios; (c) Curvas superpostas

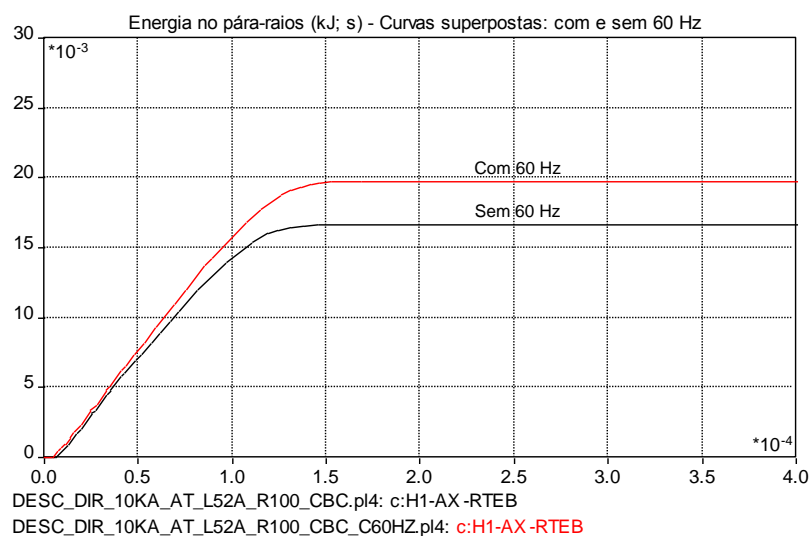


Figura 3.6 – Efeito da superposição da tensão de 60 Hz na energia absorvida por pára-raios - Descarga direta a 0 km; RT = 10 Ohms

3.8 Resultados das Simulações e Análise

Os resultados obtidos nas simulações são apresentados no Anexo 3.2, na forma de gráficos e com indicação dos valores de pico de tensão.

a) Sistema de 138 kV

Sobretensão

A tabela 3.1 apresenta o resumo dos resultados, mostrando os valores de pico das tensões na SE, mais precisamente no primário de transformadores de potência.

Tabela 3.1 - Sobretensões de impulso atmosférico resultantes no primário de transformadores, originárias de descargas em linhas de subtransmissão de 138 kV

Tipo de descarga	Local de queda do raio (km da SE Tebar)	Corrente de descarga (kA)	Resist. de aterr. por torre (Ω)	Pico de tensão no transformador sem pára-raios (kV)		Pico de tensão no transformador com pára-raios (kV)	
				Vfase	Vlinha	Vfase	Vlinha
direta	0 km	10	10	308	341	278	315
direta	5 km	10	10	276	458	268	453
direta	0 km	10	100	308	340	278	315
direta	5 km	10	100	277	460	268	454
indireta	0 km	150	10	22.4	6.4	23	6.3
indireta	5 km	150	10	8.5	3.4	8.4	3.4
indireta	0 km	150	100	22.1	6.4	23.2	6.3
indireta	5 km	150	100	66.7	14.8	66.7	14.8

0 km: ponto de chegada da linha de 138 kV à SE Tebar

5 km: na linha entre SE S. Sebastião e SE Rio Pardo, a 4.5 km da SE S. Sebastião

Energia absorvida pelos pára-raios

Para descarga direta, a energia absorvida pelo pára-raios do transformador, da fase atingida pelo raio, é da ordem de 16.6 kJ, que é um valor bem inferior à capacidade de pára-raios de 120 kV, que é 650 kJ. Mesmo considerando a superposição da tensão de 60 Hz, a energia resultante é de 19.7 kV.

Constatações

Verifica-se que os níveis de sobretensões são inferiores ao valor de TSNIA especificado para os equipamentos da instalação (550 ou 650 kV), com margens de proteção adequadas.

Quanto à energia absorvida pelos pára-raios, verifica-se que os níveis de energia associados aos impulsos são compatíveis com a capacidade de absorção de energia do pára-raios.

	MEMÓRIA DE CALCULO	Nº MA-4250.01-5142-912-ABF-011	REV. F
	TRANSPETRO		FOLHA 63 de 85
	TÍTULO: MEMÓRIA DE DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS PRINCIPAIS DA SE		

b) Sistema de 13.8 kV

Tensões

Como pode ser observado nos gráficos do Anexo 3.2, os resultados das simulações apresentaram uma componente de impulso principal com sobreposição de picos de curtíssima duração.

No ponto de queda de raio (no início da linha aérea), os valores de pico de tensões obtidos tanto para descarga no ponto P1 (ver figura 3.1) como no ponto P2 foram:

Vp com os picos de curtíssima duração = 157 kV

Vp desconsiderando os picos de curtíssima duração: cerca de 40 kV

As tensões resultantes no barramento do PN-3240B (ponto P3) foram menores.

Os valores máximos de pico observados superam o nível de TSNIA, de 95 kV. Entretanto, cabe observar que as formas de onda obtidas nas simulações diferem substancialmente da onda padrão utilizada para testes para a obtenção de TSNIA (1.5x50 μ s) e não cabe uma comparação direta entre o pico curtíssimo obtido nas simulações e TSNIA.

Propagação de Surtos a Locais Afastados e sem Proteção de Pára-Raios

Os surtos que se originam de descargas na linha aérea chegam aos barramentos ligados diretamente aos circuitos e se propagam a outras partes da instalação. Por esse motivo é pertinente examinar as tensões em locais onde não há proteção de pára-raios.

Examinando o diagrama unifilar da figura 3.1 constata-se que os barramentos denominados PN-6211001A e PN-6211001B (pontos indicados na figura como P12 e P5, respectivamente) podem ficar sujeitos à penetração de surtos vindos das linhas aéreas conectadas a outros barramentos.

As Figuras 3.7 e 3.8 mostram as tensões de surtos a que os barramentos PN-6211001A (P12) e PN-6211001B (P5) ficariam sujeitos no caso de quedas raios nos pontos P1 e P7, respectivamente.

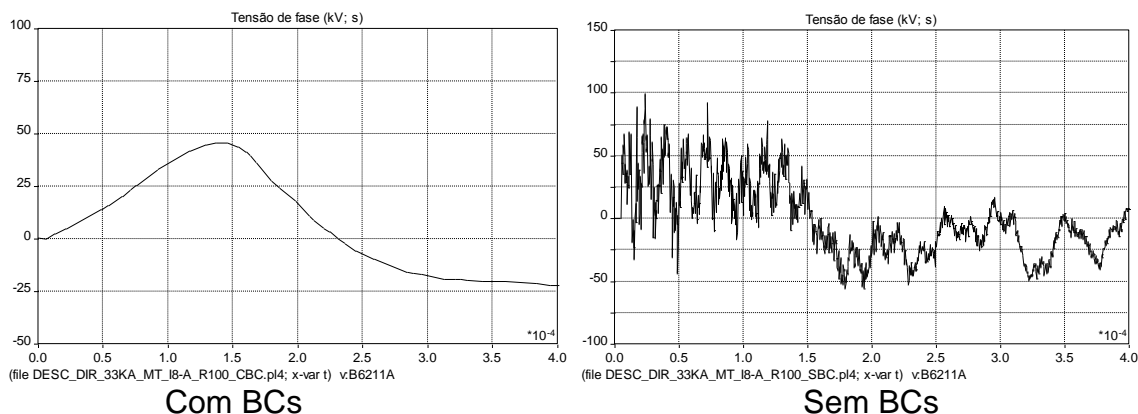


Figura 3.7 - Sobretensões no ponto P5 resultantes da descarga direta no ponto P1, com e sem bancos de capacitores da instalação

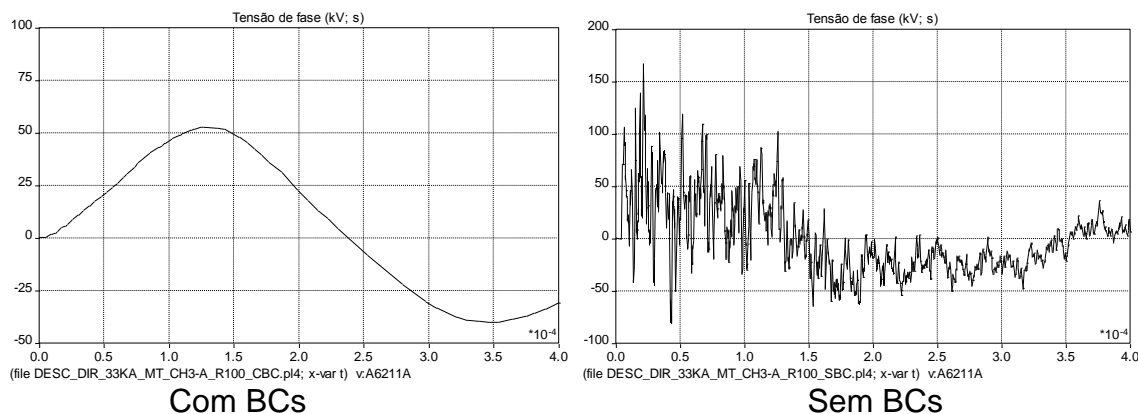


Figura 3.8 - Sobretensões no ponto P12 resultantes da descarga direta no ponto P7, com e sem bancos de capacitores da instalação

Os resultados indicam que há possibilidade de ocorrência de surtos próximos com picos que podem até ultrapassar o nível de TSNIA (95 kV, no sistema de 13.8 kV). Entretanto, devido ao fato de serem de curtíssima duração, esses picos não significam necessariamente o comprometimento da isolamento. Mas, como representam possibilidade de solicitações dielétricas indesejáveis, é recomendável a instalação de pára-raios nos barramentos PN-6211001A e PN-6211001B (pontos P12 e P5).

Energia no pára-raios

Os valores de energia obtidos no pára-raios do ponto de descarga foram:

- a. Descarga no ponto P1: 73.4 kJ
- b. Descarga no ponto P7: 49.4 kJ

Sendo a capacidade de absorção considerada para esse pára-raios 60 kJ, pode-se dizer que ela foi excedida nesta simulação. Entretanto, isso não será um fator crítico para o uso de pára-raios com as características consideradas, conforme explicado na seção seguinte.

Comentários sobre os resultados

Cabe frisar que na situação considerada (descarga direta em linha de distribuição), as condições resultantes são realmente muito severas para as isolações de equipamentos de média tensão e para o pára-raios (submetido à descarga diretamente no seu terminal), mas de baixa probabilidade de ocorrência.

Ressalta-se que em sistemas de distribuição o sistema de proteção contra surtos normalmente não é projetado para as situações extremas, mas sim levando em consideração a probabilidade de ocorrência e os procedimentos são baseados em experiências adquiridas na prática ao longo do tempo.

As simulações consideraram uma condição extremamente desfavorável, de se ter a linha atingida no ponto do pára-raios. Além do fato de ser uma situação de baixa probabilidade, se ocorrer uma descarga direta em linha de distribuição, ocorreriam interrupções nos isoladores (flashovers), que criam caminhos adicionais para a corrente de descarga, reduzindo as sobretensões no sistema, bem como as correntes e energias nos pára-raios. Essas interrupções não foram representadas nas simulações, o que leva a resultados extremamente conservadores.

Pode-se dizer que, os posicionamentos dos pára-raios considerados neste estudo do sistema de 13.8 kV do Tebar oferecem proteção adequada para a instalação,

atendendo aos requisitos normais de proteção de sistema de distribuição. O fato de que a energia em pára-raios excedeu sua capacidade na simulação não indica a necessidade de uso de pára-raios com características especiais para a instalação.

Apenas cabem as recomendações quanto à instalação de pára-raios nos painéis PN-6211001A e PN-6211001B (pontos P12 e P5) e a especificação de pára-raios de tensão nominal 12 kV para o sistema de 13.8 kV.

3.9 Conclusões e Recomendações

O estudo realizado permite concluir o seguinte:

a) Sistema de 138 kV

As características dos pára-raios e seu posicionamento na subestação permitem desempenhar adequadamente a função de proteger os equipamentos da SE Tebar.

Além disso, verificou-se que os níveis de energia absorvida pelos pára-raios ficam abaixo da capacidade de absorção de pára-raios típicos.

Portanto, o sistema de proteção contra surtos previsto para a SE Tebar no lado de 138 kV permite proteger adequadamente a SE de surtos oriundos de linhas do sistema supridor.

b) Sistema de 13.8 kV

Para esse sistema, faz-se necessário que a especificação da tensão nominal de pára-raios seja alterada de 7.97 kV para 12 kV. Recomenda-se, também, o uso da corrente nominal de impulso de 10 kA para os pára-raios.


Outra recomendação cabível é a instalação de pára-raios nos barramentos dos painéis PN-6211001A e PN-6211001B.

**MEMÓRIA DE CALCULO**Nº **MA-4250.01-5142-912-ABF-011**REV. **F****TRANSPETRO**FOLHA **67** de **85**

TÍTULO:

**MEMÓRIA DE DIMENSIONAMENTO DOS
EQUIPAMENTOS PRINCIPAIS DA SE**

Pode-se dizer que com essas alterações propostas, os posicionamentos dos demais pára-raios previstos no sistema de 13.8 kV da Tebar estão adequados.

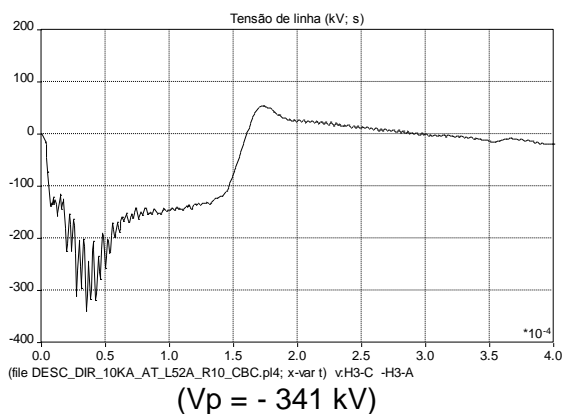
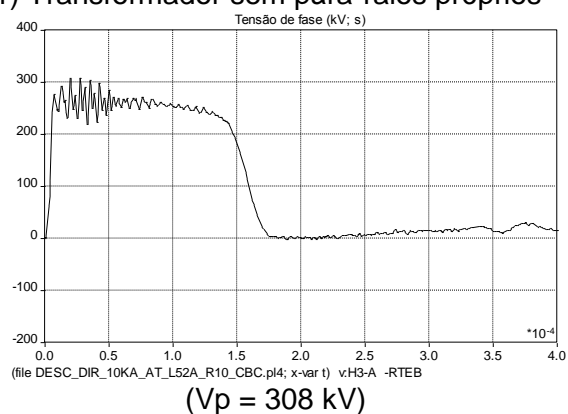
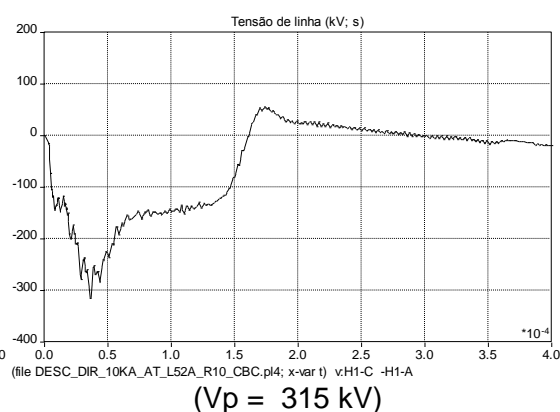
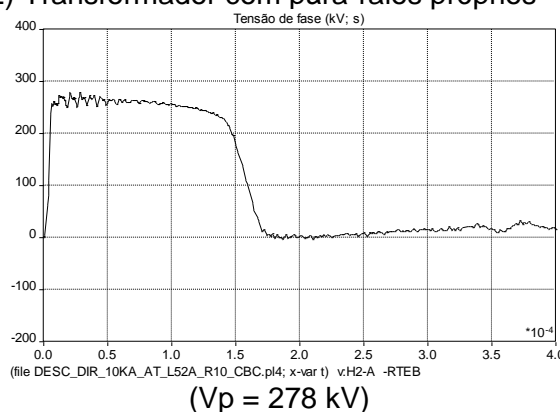
	MEMÓRIA DE CALCULO	Nº	MA-4250.01-5142-912-ABF-011	REV.	F
	TRANSPETRO			FOLHA	68 de 85
	TÍTULO: MEMÓRIA DE DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS PRINCIPAIS DA SE				

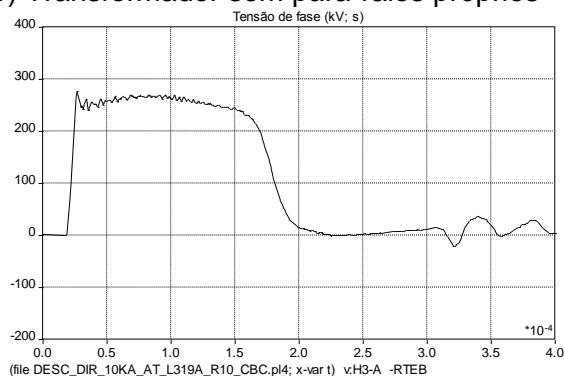
ANEXO 3.1

DADOS DE CURTO-CIRCUITO DO PONTO DE SUPRIMENTO DA SE TEBAR FORNECIDOS PELA EDP BANDEIRANTE

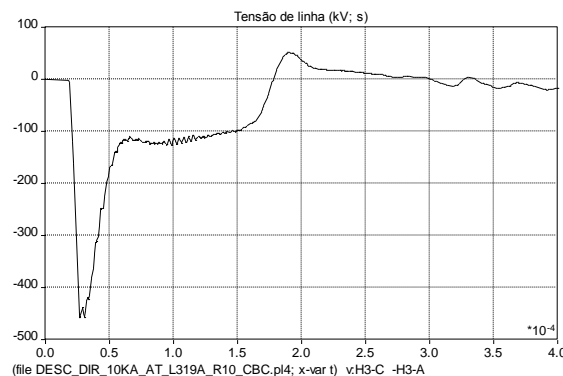
RELATORIO DE DADOS DE CURTO-CIRCUITO

IDENTIFICACAO		Z1		Z0		X0/X1	T R I F A S I C O		M O N O F A S I C O		R0/X1	KV	ATERR	
NUM.	NOME	MOD (pu)	ANG (gr)	MOD (pu)	ANG (gr)		MOD (MVA)	ANG (gr)	MOD (MVA)	ANG (gr)				
21029	GLEBA	138A	0.0707	74.65	0.1070	81.70	1.55	1414.56	-74.65	1209.99	-77.68	0.23	88.99	ATR
21030	GLEBA	138B	0.0707	74.65	0.1070	81.70	1.55	1414.56	-74.65	1209.99	-77.68	0.23	88.99	ATR

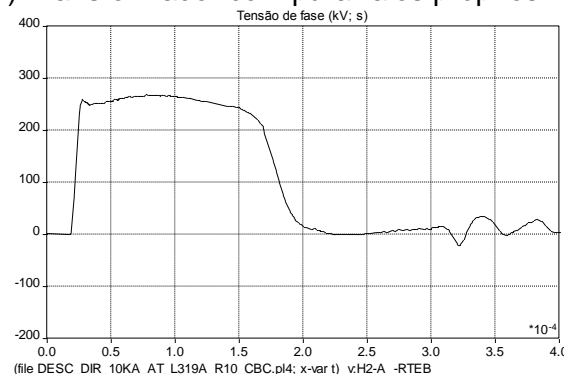
ANEXO 3.2
RESULTADOS OBTIDOS NAS SIMULAÇÕES
1. DESCARGA DIRETA NA LINHA DE 138 KV
1.1. TENSÕES
1.1.1. RT = 10 Ohms
a) Distância do Ponto de Descarga: 0 km
a.1) Transformador sem pára-raios próprios

A.2) Transformador com pára-raios próprios


b) Distância do Ponto de Descarga: 5 km
b.1) Transformador sem pára-raios próprios


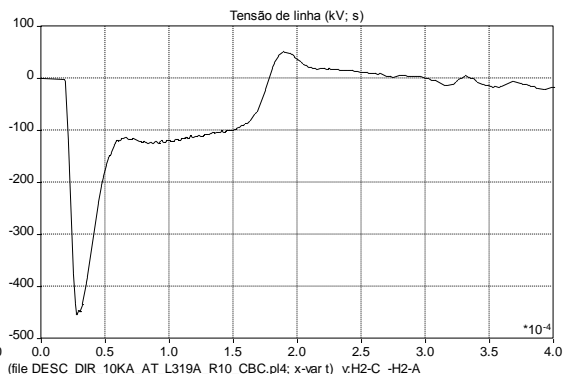
(Vp = 276 kV)



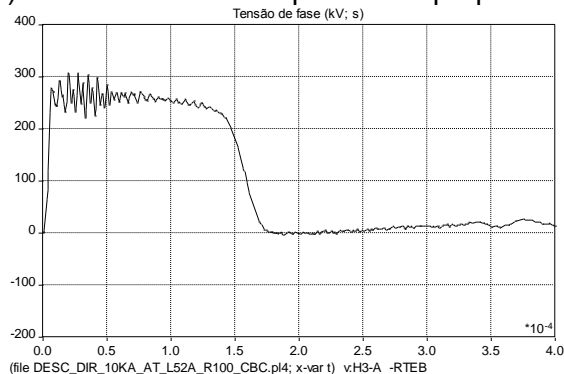
(Vp = - 458 kV)

b.2) Transformador com pára-raios próprios


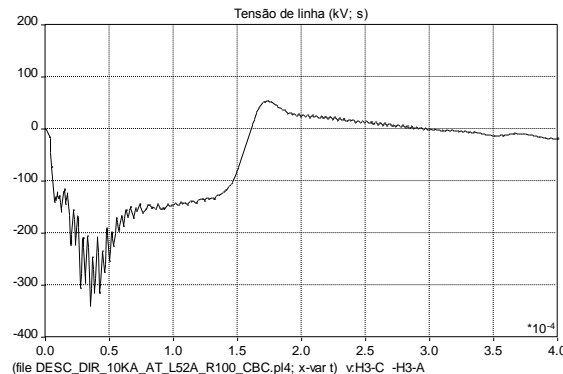
(Vp = 268 kV)



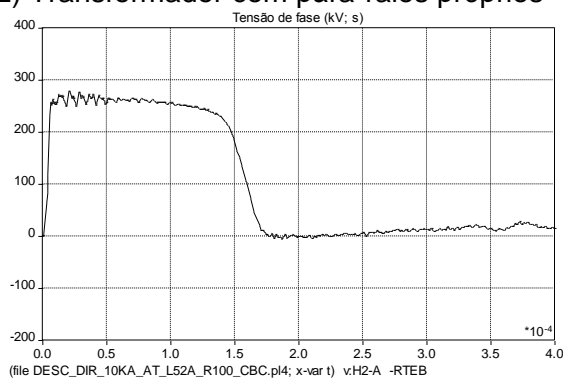
(Vp = - 453 kV)

1.1.2. RT = 100 Ohms
a) Distância do Ponto de Descarga: 0 km
a.1) Transformador sem pára-raios próprios


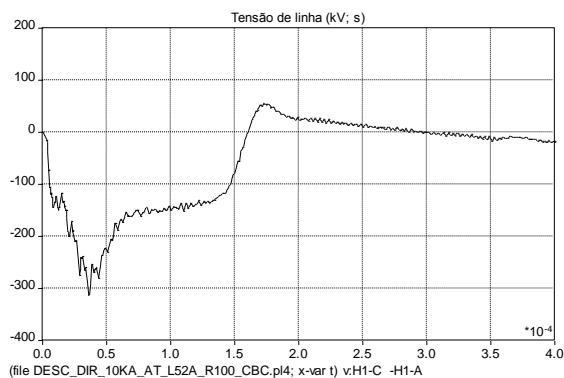
(Vp = 308 kV)



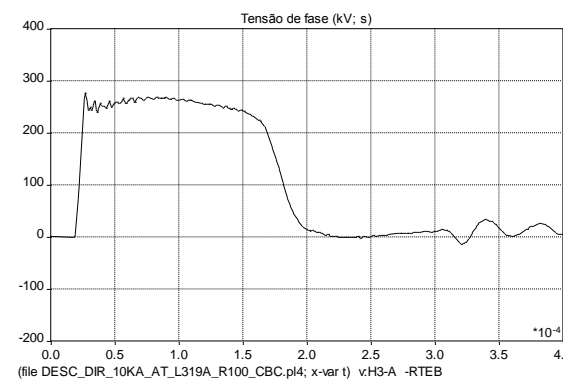
(Vp = - 340 kV)

a.2) Transformador com pára-raios próprios


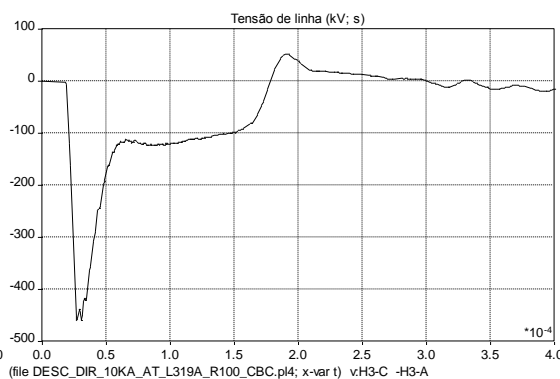
(Vp = 278 kV)



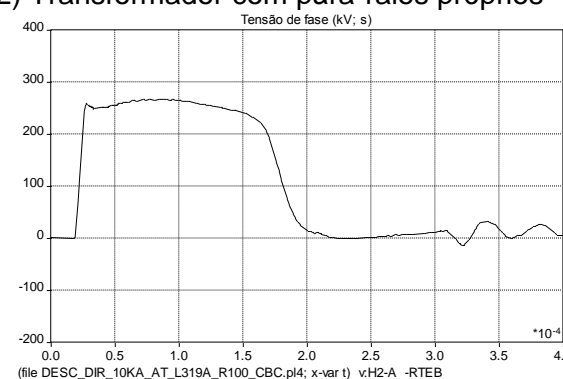
(Vp = - 313 kV)

b) Distância do Ponto de Descarga: 5 km
b.1) Transformador sem pára-raios próprios


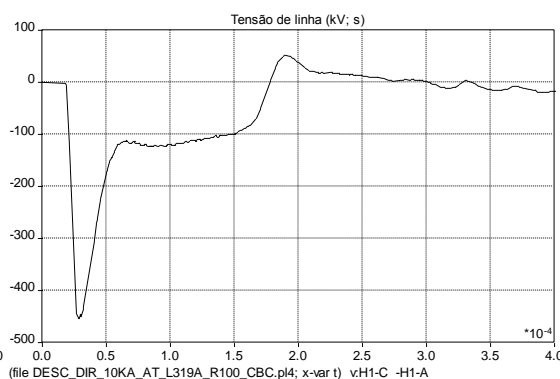
(Vp = 277 kV)



(Vp = - 460 kV)

b.2) Transformador com pára-raios próprios


(Vp = 268 kV)



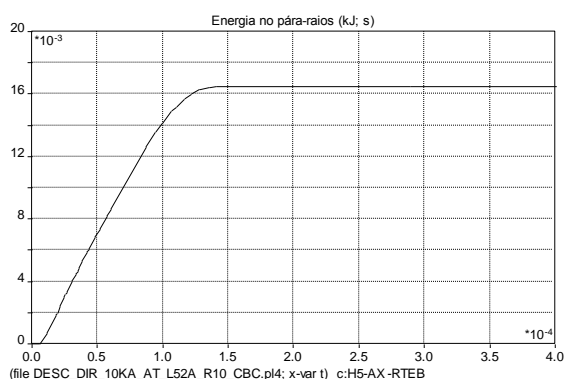
(Vp = - 454 kV)

1.2. ENERGIA NOS PÁRA-RAIOS DE AT

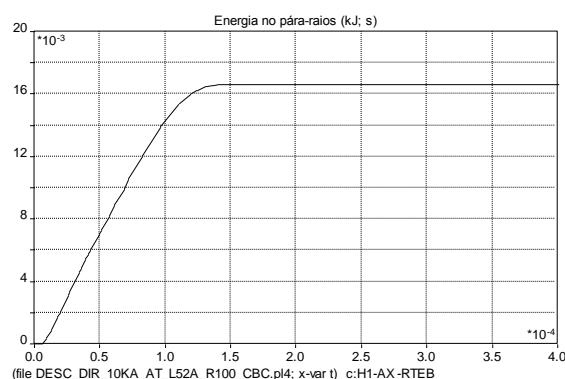
a) Local de descarga: 0 km da SE Tebar

Descarga direta (fase A)

Corrente de descarga = 10 kA



RT = 10 Ohms



RT = 100 Ohms

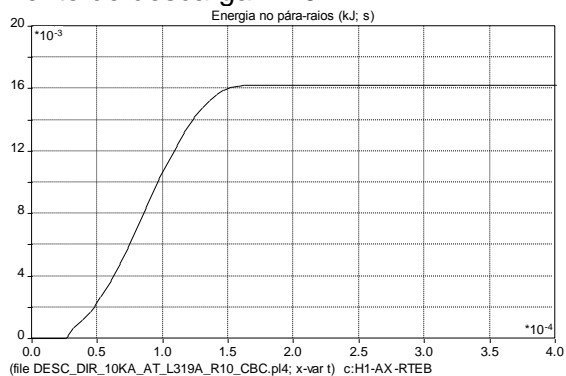
Energia no pára-raios da fase A:

Valor final = 16.5 kJ (RT = 10 Ohm) e 16.6 kJ (RT = 100 Ohm)

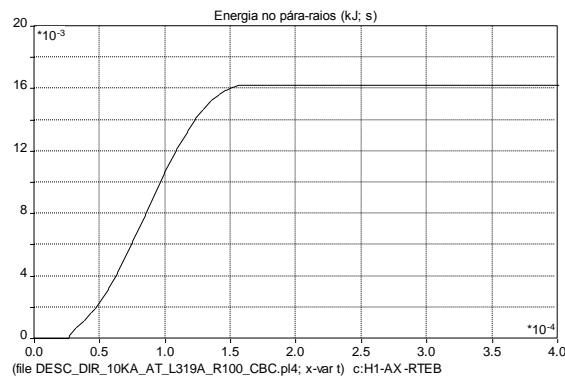
b) Local de descarga: 5 km da SE Tebar

Descarga direta (fase A)

Corrente de descarga = 10 kA



RT = 10 Ohms



RT = 100 Ohms

Energia no pára-raios da fase A:

Valor final = 16.2 kJ (RT = 10 Ohm) e 16.2 kJ (RT = 100 Ohm)

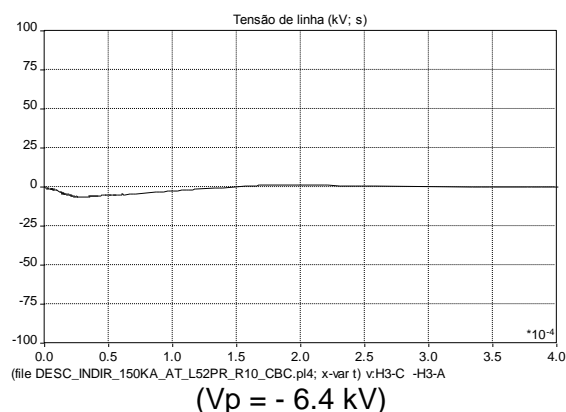
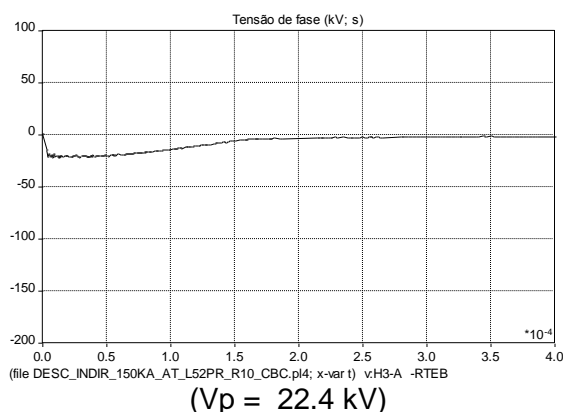
2. DESCARGA INDIRETA NA LINHA DE 138 KV (DESCARGA NO CABO PÁRA-RAIOS)

2.1. TENSÕES

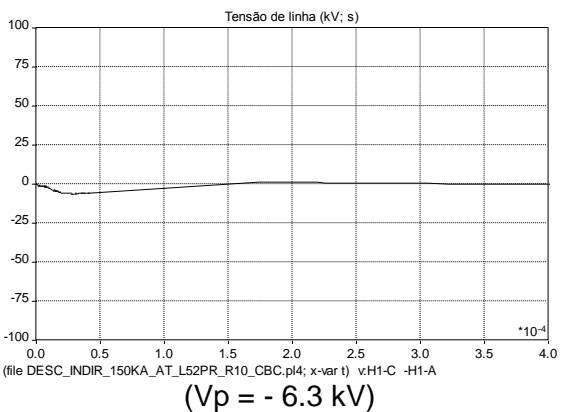
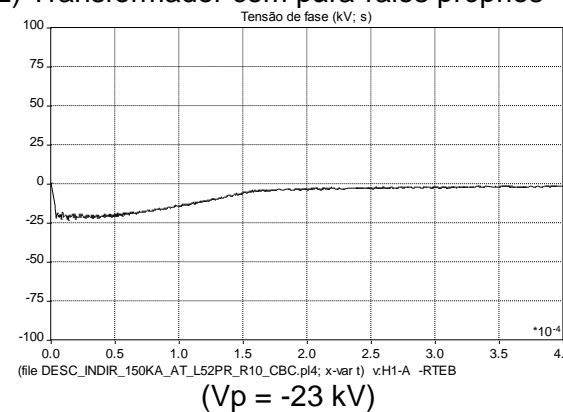
2.1.1. RT = 10 OHMS

a) Distância do Ponto de Descarga: 0 km

a.1) Transformador sem pára-raios próprios

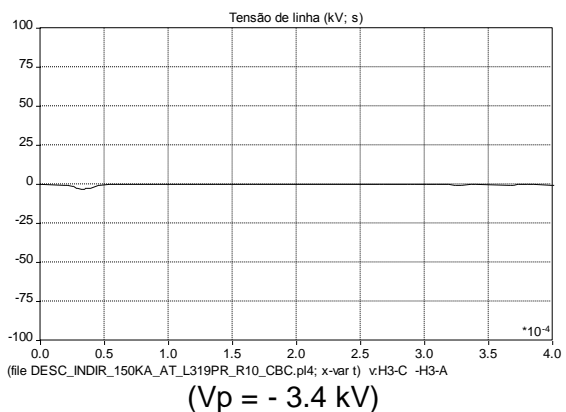
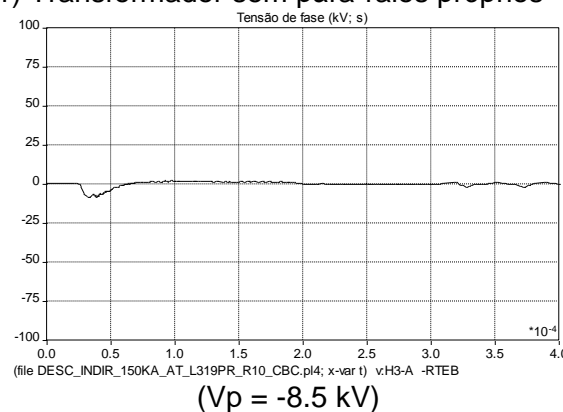


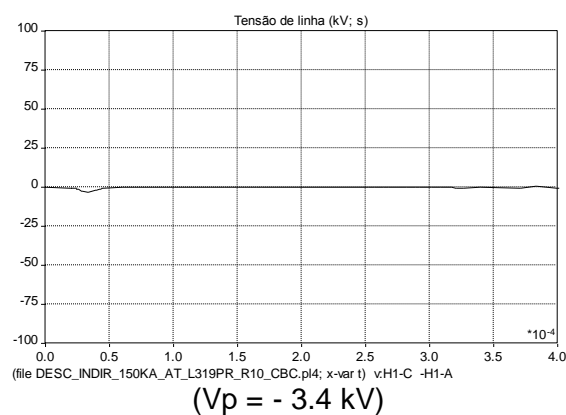
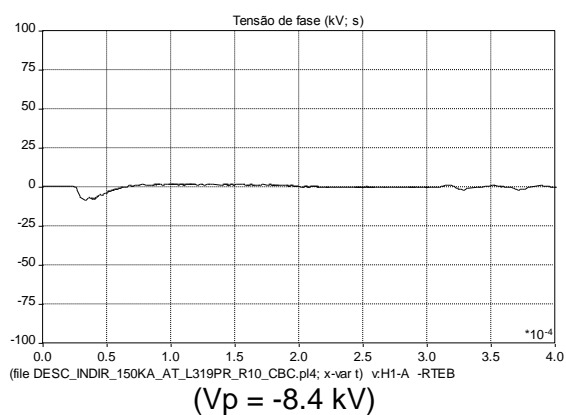
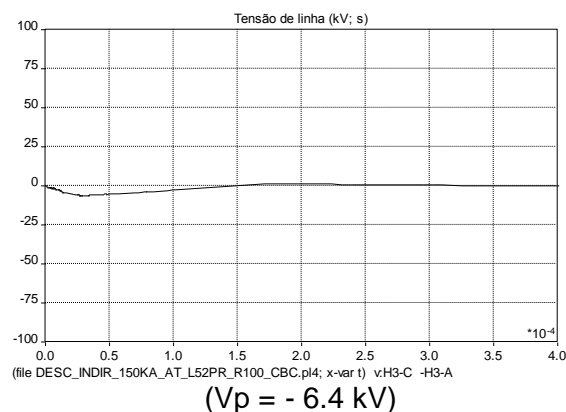
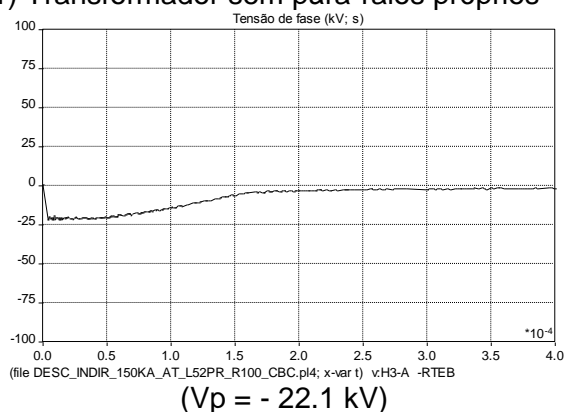
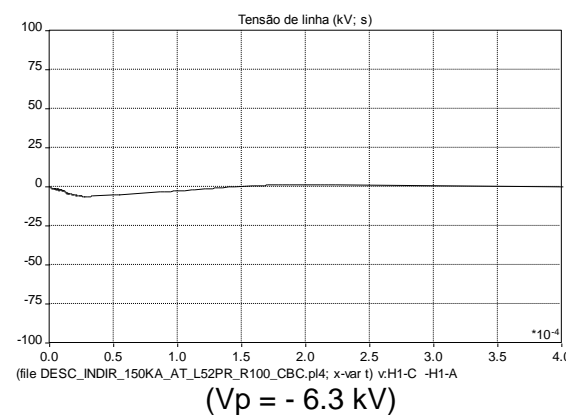
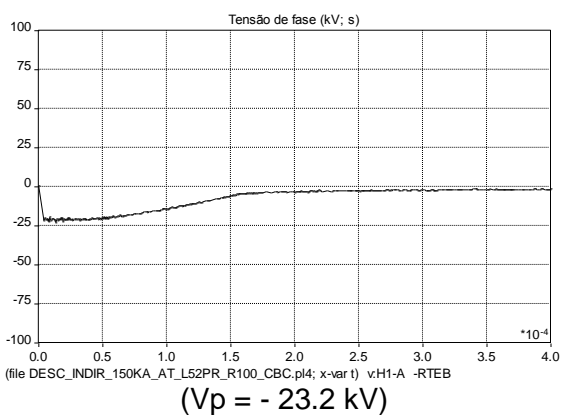
a.2) Transformador com pára-raios próprios

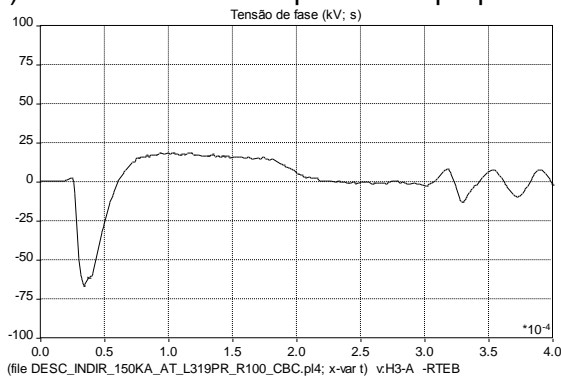


b) Distância do Ponto de Descarga: 5 km

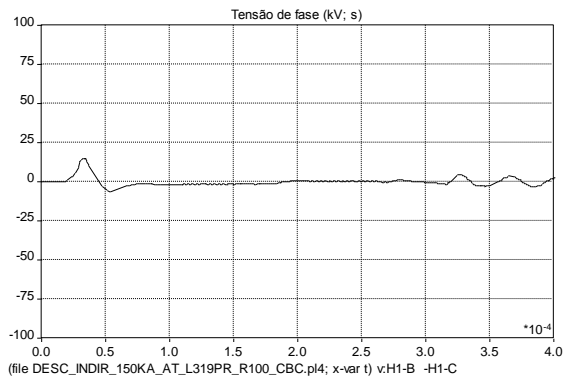
b.1) Transformador sem pára-raios próprios



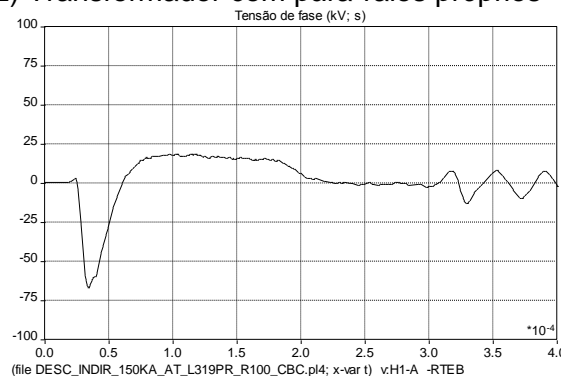
b.2) Transformador com pára-raios próprios

2.1.2. RT = 100 OHMS
a) Distância do Ponto de Descarga: 0 km
a.1) Transformador sem pára-raios próprios

a.2) Transformador com pára-raios próprios


b) Distância do Ponto de Descarga: 5 km
b.1) Transformador sem pára-raios próprios


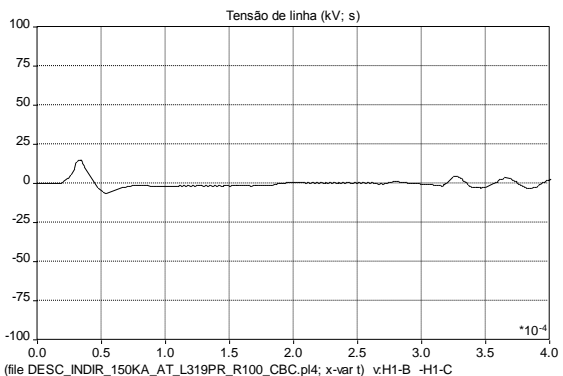
(Vp = - 66.7 kV)



(Vp = 14.8 kV)

b.2) Transformador com pára-raios próprios


(Vp = - 66.7 kV)



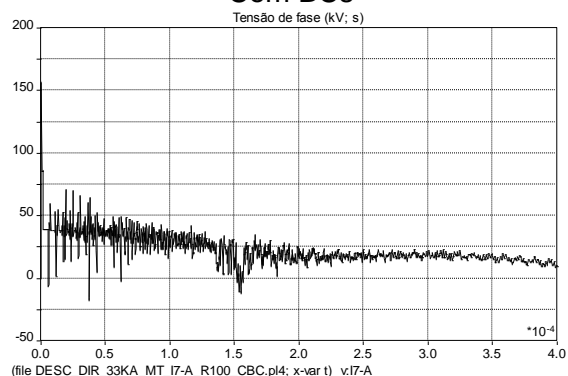
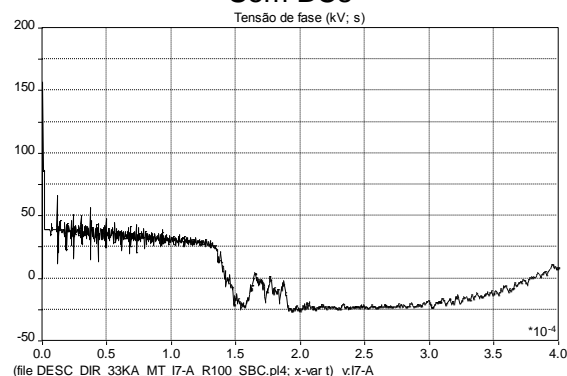
(Vp = 14.8 kV)

3. DESCARGA DIRETA NA LINHA AÉREA DE 13.8 KV

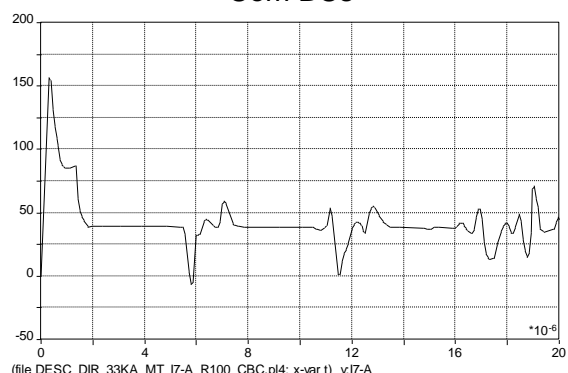
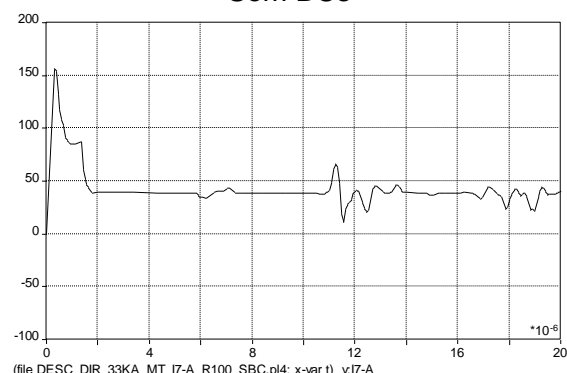
3.1. Descarga no início da linha aérea (Ponto P1)

a) Tensões

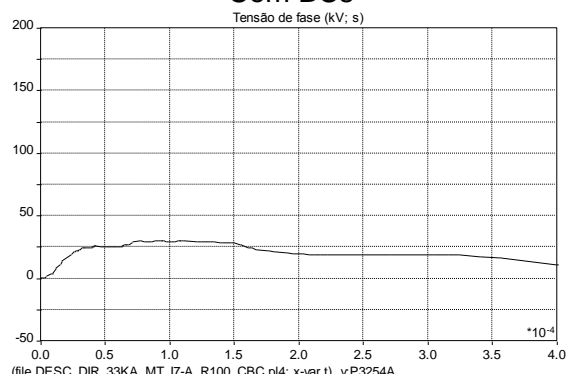
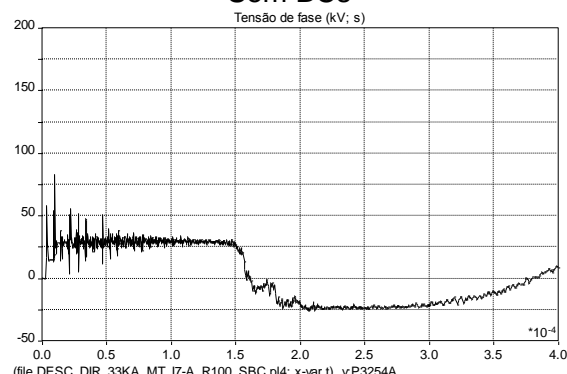
Tensão no ponto P1

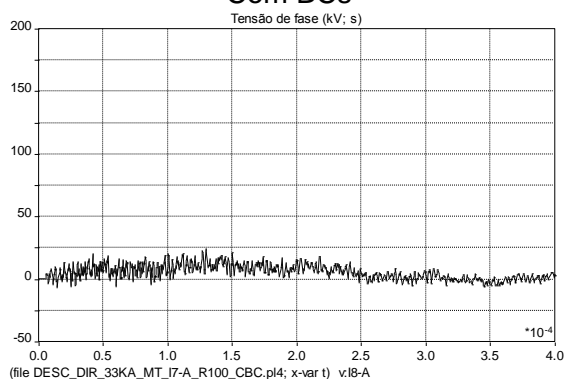
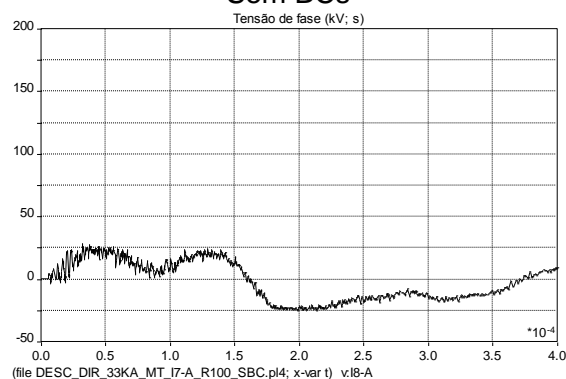
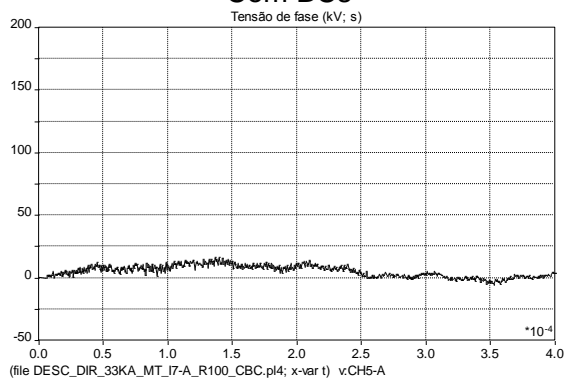
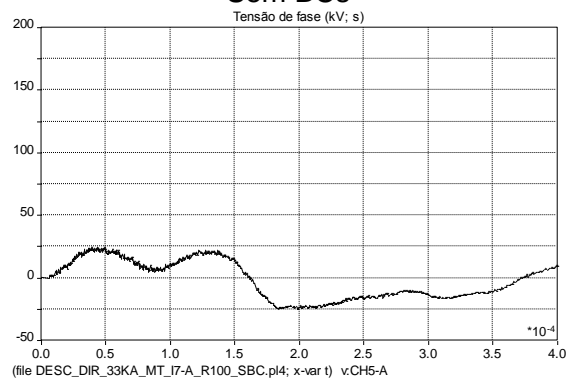
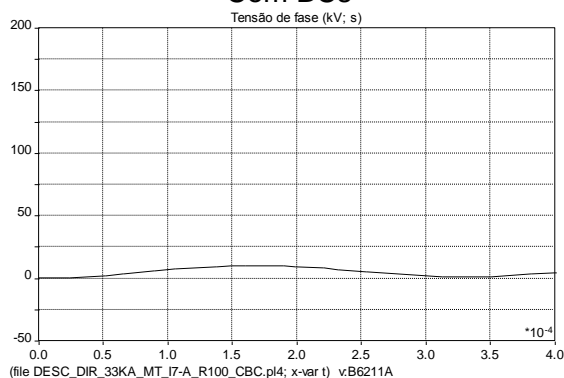
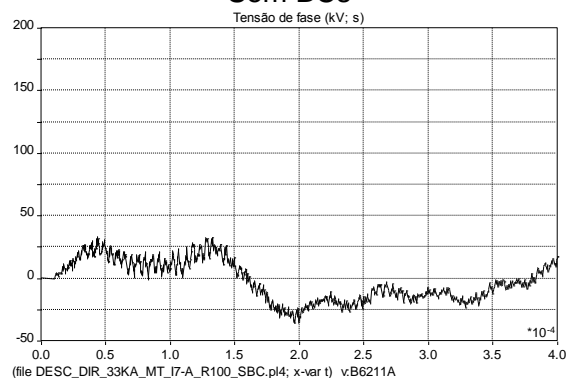
Com BCs

Vp = 157 kV
Sem BCs

Vp = kV

Detalhes iniciais

Com BCs

Vp = 157 kV
Sem BCs

Vp = 157 kV

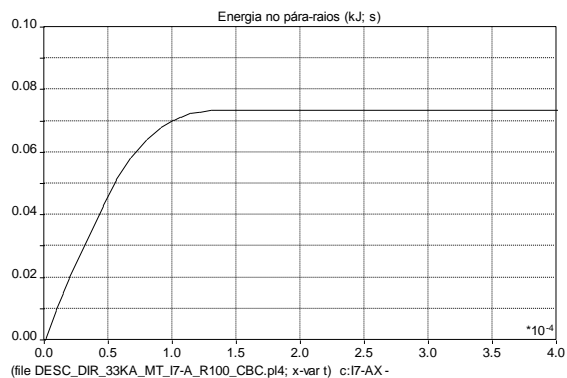
Tensão no ponto P4

Com BCs

Vp = 30.4 kV
Sem BCs

Vp = 83.5 kV

Tensão no ponto P2
Com BCs

Vp = 24 kV
Sem BCs

Vp = 28.5 kV
Tensão no ponto P3
Com BCs

Vp = 16.8 kV
Sem BCs

Vp = 24.4 kV
Tensão no ponto P5
Com BCs

Vp = 10.5 kV
Sem BCs

Vp = 33 kV

**MEMÓRIA DE CALCULO**Nº **MA-4250.01-5142-912-ABF-011**REV. **F****TRANSPETRO**FOLHA **78** de **85**

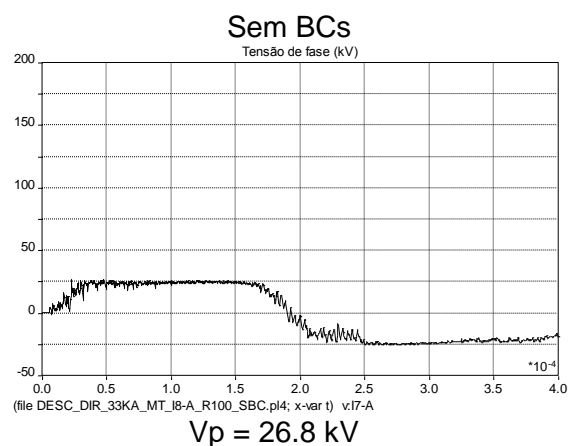
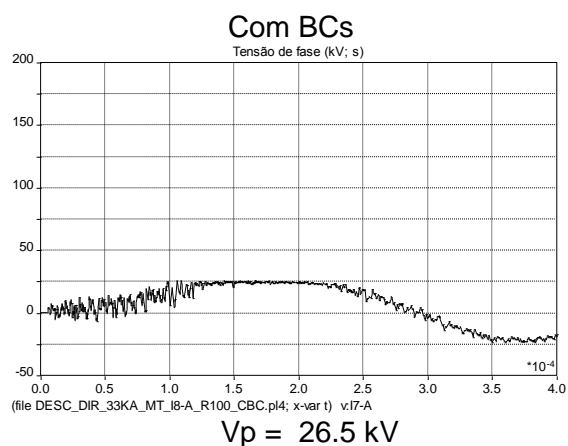
TÍTULO:

**MEMÓRIA DE DIMENSIONAMENTO DOS
EQUIPAMENTOS PRINCIPAIS DA SE****b) Energia no pára-raios do ponto de queda do raio (P1)**

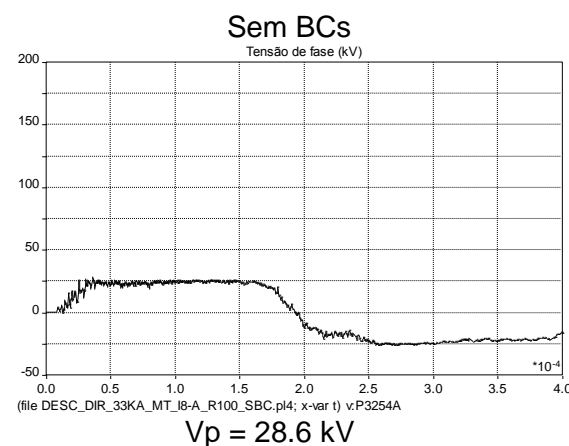
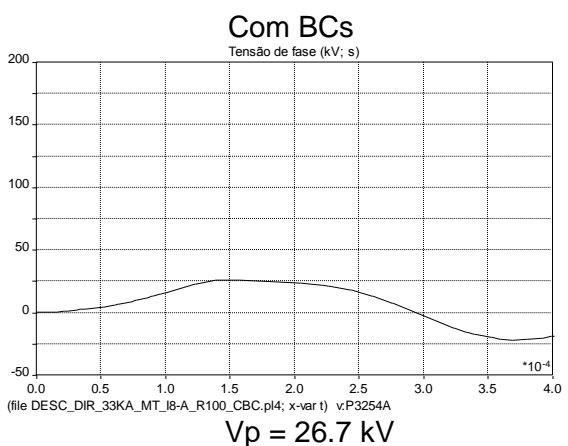
Valor final: 73.4 kJ

3. 2. Descarga no fim da linha aérea (ponto P2)

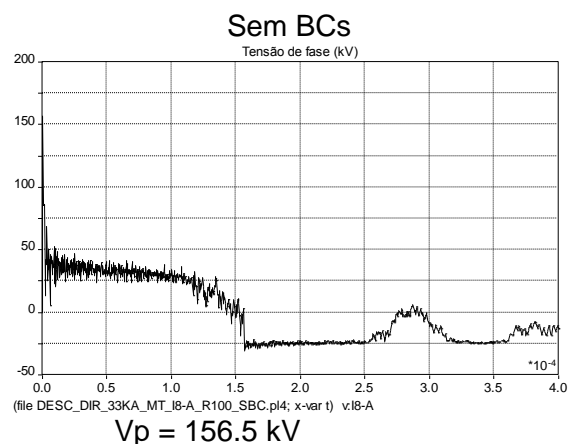
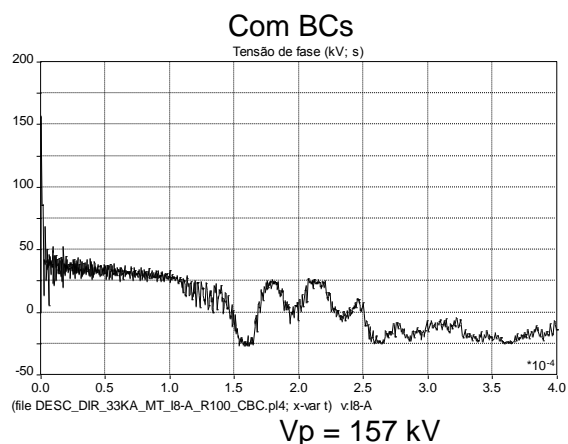
Tensão no ponto P1



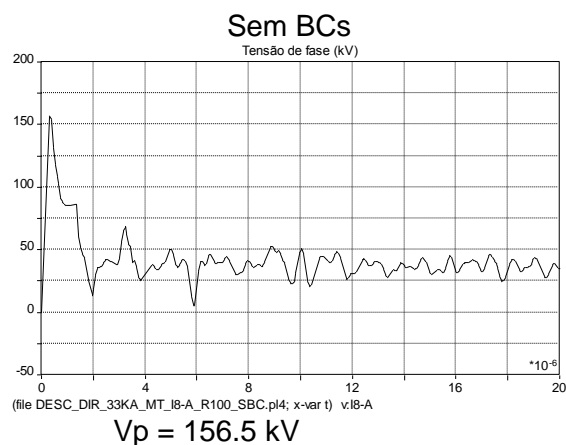
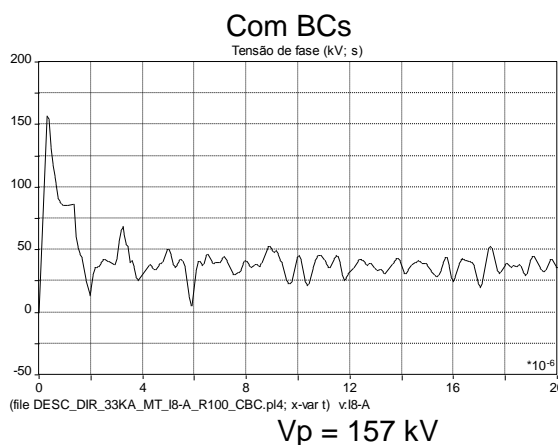
Tensão no ponto P4



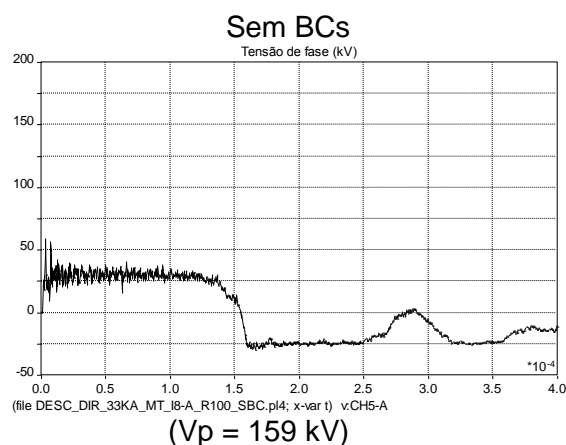
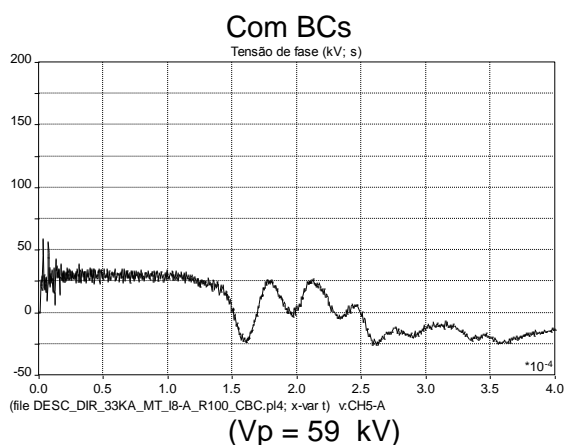
Tensão no ponto P2



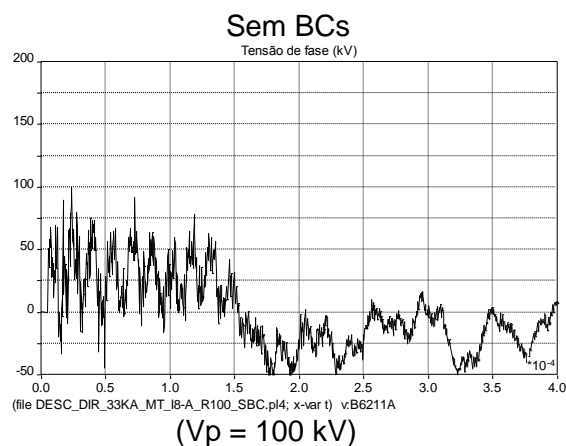
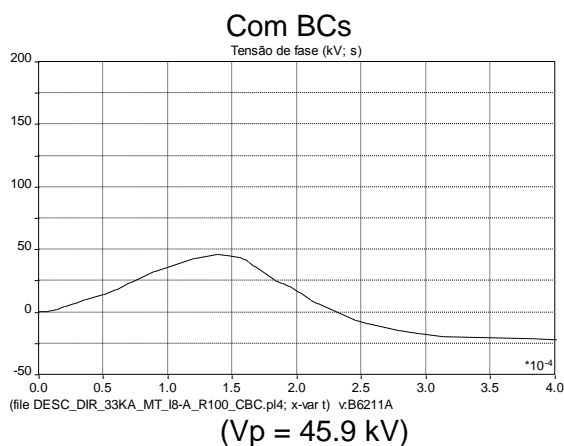
Detalhes iniciais



Tensão no ponto P3



Tensão no ponto P5





MEMÓRIA DE CALCULO

Nº MA-4250.01-5142-912-ABF-011

REV. F

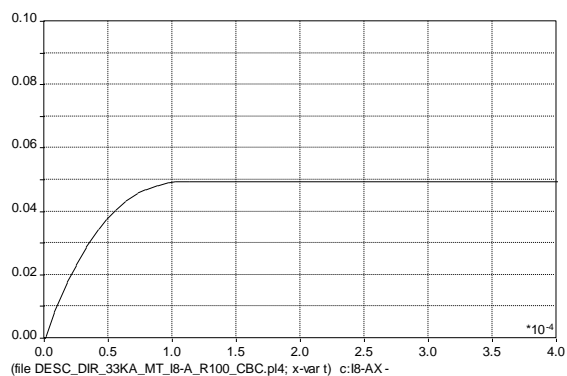
TRANSPETRO

FOLHA 81 de 85

TÍTULO:

MEMÓRIA DE DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS PRINCIPAIS DA SE

B) Energia no pára-raios do ponto de queda do raio (P2)



Valor final: 49.4 kJ

ANEXO 3.3 - PARÂMETROS DE REDE

1. Linha de Subtransmissão

Parâmetros distribuídos

a) Linha transposta

$r_0 = 0.543 \, \Omega/\text{km}$; $x_0 = 1.739 \, \Omega/\text{km}$; $c_0 = 5.8 \, \text{nF}/\text{km}$

$r_1 = 0.174 \, \Omega/\text{km}$; $x_1 = 0.4926 \, \Omega/\text{km}$; $c_1 = 9.2 \, \text{0F}/\text{km}$

b) Linha não transposta

C TRECHO DE 0.25 KM - PRIMEIRO TRECHO

\$VINTAGE, 1

-1SSEB-AL51-A	3.69449E+00	4.99383E+02	2.84432E+05	-0.25	1	8
-2SSEB-BL51-B	4.18445E+00	4.10628E+02	3.06912E+05	-0.25	1	8
-3SSEB-CL51-C	5.62001E-01	1.50816E+03	1.83939E+05	-0.25	1	8
-4SSEB-AL61-A	1.73907E-01	4.64463E+02	2.91606E+05	-0.25	1	8
-5SSEB-BL61-B	1.74212E-01	4.35425E+02	2.91531E+05	-0.25	1	8
-6SSEB-CL61-C	1.73792E-01	3.82923E+02	2.91418E+05	-0.25	1	8
-7SS-PR L51PR	1.73797E-01	3.48989E+02	2.90709E+05	-0.25	1	8
-8SS-PR L51PR	1.73838E-01	3.56700E+02	2.90888E+05	-0.25	1	8

\$VINTAGE, 0

-0.22896644	0.07318273	0.35588016	0.38237861	-0.50768774	-0.49650178
-0.32685650	-0.28931310				
0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
0.00000000	0.00000000				
-0.10117156	0.02061780	0.35058418	0.46642945	-0.01188724	0.00890092
0.53171999	0.57891367				
0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
0.00000000	0.00000000				
-0.05594113	0.00877809	0.50031166	0.36908609	0.49202529	0.50339182
-0.33232186	-0.28487313				
0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
0.00000000	0.00000000				
-0.22896644	-0.07318273	0.35588016	-0.38237861	-0.50768774	0.49650178
0.32685650	-0.28931310				
0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
0.00000000	0.00000000				
-0.10117156	-0.02061780	0.35058418	-0.46642945	-0.01188724	-0.00890092
-0.53171999	0.57891367				
0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
0.00000000	0.00000000				
-0.05594113	-0.00877809	0.50031166	-0.36908609	0.49202529	-0.50339182
0.33232186	-0.28487313				
0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
0.00000000	0.00000000				
0.65894558	-0.70295244	0.01132627	0.00237200	-0.00479175	-0.00185199
-0.00092786	-0.00204753				
0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
0.00000000	0.00000000				
0.65894558	0.70295244	0.01132627	-0.00237200	-0.00479175	0.00185199
0.00092786	-0.00204753				
0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
0.00000000	0.00000000				

C

2. Capacitâncias parasitas de componentes/equipamentos da SE

Fonte: IEEE C37.011-1994

Capacitâncias por elemento

Elemento	Valor típico	Valores considerados
Barramento	8.2 -18 pF/m	12 pF/m; total: 360pF
Transformador de corrente	150 a 450 pF	300 pF
Transformador de potencial	150 a 450 pF	300 pF
Disjuntor fechado	50 a 250 pF	200 pF
Disjuntor aberto	25 a 150 pF	100 pF
Chave	60 a 200 pF (fech)	90 pF
Pára-raios	80 a 120 pF	80 pF

Elementos

Descrição	Total de equipamentos	Capacitância
Chegada de linha principal até barramento anterior à derivação para transformadores e parte da chegada da linha reserva entre disjuntor aberto até o barramento	PR; 3 CH; 2 TC; TP; DJ fechado; DJ aberto; Barramento	1910 pF
Derivação para transformador	CH; DJ	290 pF

Nota: A capacitância do barramento foi representada dentro do modelo de linha com parâmetro distribuído.

3. Capacitâncias parasitas dos transformadores de potência

Fonte: IEEE C37.011-1994

Potência (MVA)	Valor típico	Valor considerado
1 a 10 (15 a 121 kV)	900 a 10000 pF	4000 pF
10 a 100 (15 a 121 kV)	2000 a 12000 pV	4000 pF (13.8 kV)
10 a 100 (121 a 550 kV)	2000 a 6500 pF	4000 pF (138 kV)

4. Impedância dos transformadores de potência

- Transformadores 138/13.8 kV; 20 MVA

138/13.8 kV; 20 MVA ; $z = 8\%$

- Transformadores 138/4.16 kV

138/4.16 kV; 8 MVA; $z = 8\%$

5. Linha de distribuição (aérea) de MTLinha aérea 185 mm²

$r_0 = 0.3660 \Omega/\text{km}$; $x_0 = 2.0718 \Omega/\text{km}$; $c_0 = 4.3 \text{ } \mu\text{F}/\text{km}$
 $r_1 = 0.1901 \Omega/\text{km}$; $x_1 = 0.3903 \Omega/\text{km}$; $c_1 = 11.5 \text{ } \mu\text{F}/\text{km}$

Linha aérea 50 mm²

$r_0 = 0.7804$; $x_0 = 2.072$; $c_0 = 4.1$
 $r_1 = 0.6045$; $x_1 = 0.390$; $c_1 = 10.2$

6. Cabos de potência de MT

Parâmetros de cabos subterrâneos de MT (isolação EPR)

Seção (mm ²)	r_1 (Ω/km)	x_1 (Ω/km)	r_0 (Ω/km)	x_0 (Ω/km)	$c_1 = c_0$ ($\mu\text{F}/\text{km}$)
300	0.0827	0.1378	1.8254	1.2718	480.0
240	0.1018	0.1417	1.8678	1.3364	438.9
185	0.1306	0.1466	1.9189	1.4059	397.3
150	0.1601	0.1503	1.9644	1.4606	366.2
120	0.1993	0.1554	2.0184	1.5179	336.6
95	0.2509	0.1599	2.0829	1.5721	309.8
70	0.3397	0.1651	2.1858	1.6399	278.0
50	0.4748	0.1748	2.3323	1.7047	249.7

ANEXO 3.4

CARACTERÍSTICAS V x I DE PÁRA-RAIOS

As seguintes características V x I de pára-raios foram consideradas:

a) Pára-raios de tensão nominal 120 kV (sistema de 138 kV)

I	V
1.0E-6	159.0
1.0E-5	183.6
1.0E-4	197.5
1.0E-3	226.0
0.100	240.0
0.125	243.0
0.50	258.0
1.0	283.0
5.0	304.0
10.0	327.0
20.0	360.0

b) Pára-raios de tensão nominal 12 kV (sistema de 13.8 kV)

I	V
1.0E-6	15.9
1.0E-5	18.4
1.0E-4	19.7
1.0E-3	22.6
0.100	24.0
0.125	24.3
0.50	25.8
1.0	28.3
5.0	30.4
10.0	32.7
20.0	36.0