Hidrelétrica TELES PIRES

VOITH

0A	EMISSÃO PARA CERTIFICAÇÃO	05/07/13	FARFILHO	REINOR	TASHIRO
REV.	DESCRIÇÂO DA MODIFICAÇÃO	DATA	EXECUTADO	VERIFICADO	APROVADO

GETP - Grupo Eletromecânico Teles Pires

UHE TELES PIRES	GERAL

TITULO
ESTUDOS ELÉTRICOS ESPECIAIS PARA OPERAÇÃO – RELATÓRIO N.03

EXECUTADO	DATA	NÚMERO DO CLIENTE	REV.	TAMANHO	
FARFILHO	05/07/2013	**TX-RT-VH-US-E00-00003**	**0A**	A4	
VERIFICADO	DATA				
REINOR	05/07/2013	NUMERO VOITH	REV.	PÁGINA	DE
APROVADO	DATA				
TASHIRO	05/07/2013			1	52

VOITH	Pedido 4050/45000484206/P53	Nº: Farfilho – 012 / 2013	
	CLIENTE: VOITH		FOLHA: de
	PROGRAMA:		
	ÁREA: Engenharia Elétrica		
	TÍTULO: ESTUDOS ELÉTRICOS ESPECIAIS PARA OPERAÇÃO DA UHE TELES PIRES DE 500/13.8 KV – RELATÓRIO N.03		

Farfilho Consultoria Comércio e Representações LTDA
CNPJ : 03.760.184/0001-86
End : Rua Aldo de Azevedo 78 – São Paulo – CEP 05453-030
Tel / Fax : 00551130218060 – 00551199075541 – website : www.farfilho.com.br

ÍNDICE DE REVISÕES

REV.	DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS

	REV. 0	REV. A	REV. B	REV. C	REV. D	REV. E	REV. F	REV. G	REV. H
DATA	**02.07.2013**								
PROJETO	**Farfilho**								
EXECUÇÃO	**Farfilho**								
VERIFICAÇÃO	**Farfilho**								
APROVAÇÃO	**R.Niero**								

AS INFORMAÇÕES DESTE DOCUMENTO SÃO PROPRIEDADE DA FARFILHO CONSULTORIA COMÉRCIO E REPRESENTAÇÕES LTDA

ÍNDICE

Item Assunto *Página*

1. INTRODUÇÃO 4
2. CONCLUSÕES 4
3. CRITÉRIOS E PREMISSAS 6
3.1. Rede Equivalente 6
3.2. Dados Utilizados no Estudo 9
3.2.1. Geradores 9
3.2.2. Transformadores 9
3.2.3. Linhas de Transmissão 9
3.2.4. Equivalentes 10
3.2.5. Reatores Shunt e Compensação Série 10
4. METODOLOGIA ADOTADA NO ESTUDO 10
5. DESENVOLVIMENTO DOS ESTUDOS 13
5.1. Avaliação de Ocorrência de Zeros Atrasados 13
5.2. Análise dos resultados de zeros atrasados 43
6. REFERÊNCIAS 44
***ANEXO 1 – Dados Complementares* 45**

1. INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta os resultados dos estudos transitórios para verificação da assimetria das correntes de curto-circuito e da possibilidade de ocorrência de zeros atrasados para curto-circuito na subestação da UHE Teles Pires.

Os estudos foram realizados para diversas condições operativas dos geradores, dando ênfase às condições mais críticas para a ocorrência de zeros atrasados, que corresponde ao gerador sub-excitado, ou seja, consumindo potencia reativa da rede. Também foi analisada para condição sobre-excitado, fornecendo potencia reativa da rede, para as seguintes situações, a saber:

- simulação de zeros atrasados com o disjuntor como chave ideal e sem considerar impedâncias de arco ou de retorno pela terra;
- simulação de zeros atrasados com o disjuntor como chave ideal e considerando-se a resistência do arco da falta [5] [8];
- simulação de zeros atrasados com o disjuntor como chave ideal e considerando-se a resistência do arco da falta e a resistência de retorno pela terra da corrente de curto [5] [8].

Os resultados dos estudos acima descritos, os critérios e premissas utilizados bem como a metodologia adotada são apresentados com detalhes nos itens que se seguem.

2. CONCLUSÕES

Os estudos de zeros atrasados para a UHE Teles Pires demonstraram que para algumas condições operativas dos geradores, tanto na faixa sub-excitada quanto na sobre-excitada, os mesmos ficam expostos a correntes com alto grau de assimetria, podendo ocorrer ausência de zeros somente em casos de defeito trifásico evolutivo solidamente aterrado, caso o instante de estabelecimento da falta em cada fase ocorra na passagem pelo respectivo zero de tensão, ou no respectivo pico da corrente de carga pré-falta.

Contudo, ao se considerar uma resistência de falta de 0,5 ohm, a ausência de zero se reduz sensivelmente para faltas ao nível de tensão de 500 kV. Como este valor de impedância é da ordem de grandeza das resistências inerentes do circuito e inferior à impedância de falta para o nível de 500 kV [5] [8], é realista supor que sempre estarão presentes, o que leva a uma redução significativa das solicitações dos disjuntores, como verificado, por exemplo, nos casos 5, 6, 7, 9 e 11. Nestes casos, os tempos de zero atrasado se reduzem à ordem de 3 ciclos.

Além disso, faltas trifásicas em linhas de transmissão estabelecem-se por meio da torre (descarga das três fases para a torre) ou do solo (queda das três fases a terra). Desta forma, é realístico considerar-se as impedâncias de terra, por onde se estabelece a corrente de retorno nos períodos em que a falta evolutiva está desequilibrada. Foi utilizada, nos casos mais críticos, ou seja, nos zeros atrasados acima de 100 ms, resistência de retorno de 0,4 ohms (casos 7.1, 9.1, 11.2 e 13.1) e de 1,0 ohm (caso 7.4). Nestas situações, a menos do caso 7.4, os tempos de zeros atrasados se reduzem a valores inferiores a 50 ms. Este tempo corresponde a 3 ciclos, que é um valor típico para o tempo de interrupção de disjuntores de alta tensão, o que indica a viabilidade da interrupção dos zeros atrasados simulados nos estudos.

Na realidade as resistências de pé de torre ou de retorno pela terra são da ordem de 10 a 20 vezes superiores aos valores identificados nas simulações como necessários para reduzir os zeros atrasados a menos de três ciclos de duração (50 ms). Este fato oferece segurança para se concluir, que na prática também não haverá problemas de interrupção de zeros atrasados para faltas nas saídas de linhas.

A análise da influência do número de máquinas operando na usina, assim como do fator de potência da máquina também foram avaliados e levam a concluir que a variação desses requisitos pode levar a condição de zeros atrasados mais elevados. A redução do número de máquinas em operação na usina, considerando a posição de defeito 2 (Figura 4-1), leva a ocorrência de zeros atrasados mais elevados, como verificado nos casos 7.2 e 7.3. Para outros pontos de defeito este fato não se repete, pois a influência da rede sobre o defeito nas proximidades de unidades geradoras é no sentido de aumentar o grau de amortecimento das componentes unidirecionais das correntes de curto-circuito resultantes, como examinado nos casos 4.1, 4.2 e 12.1 e 12.2.

Adicionalmente, é importante enfatizar, que a dispersão entre os tempos de fechamento dos contatos dos pólos de disjuntor de alta tensão, geralmente inferiores a 2 ms, não permitiria a ocorrência da falta evolutiva com instante de estabelecimento nos zeros sucessivos de tensão da rede (ou picos da corrente de carga). Desta forma, a condição teoricamente mais crítica de estabelecimento de falta não seria passível de ocorrência.

Consequentemente, pode-se concluir, em princípio, que nenhuma solicitação especial para interrupção com zeros atrasados é necessária, para os disjuntores de 500 kV da UHE. *De qualquer forma, é prudente submeter aos fabricantes dos disjuntores de gerador para análise da capacidade de seus equipamentos as curvas de corrente com zeros atrasados obtidas no estudo.*

Por outro lado, a possibilidade real de ocorrência de zeros atrasados é extremamente reduzida. Prova disto é que não existe relato de ocorrência de falhas de disjuntores devido a este tipo manobra, nem no Sistema Interligado Nacional (SIN) e nem nas estatísticas internacionais de falhas em equipamentos da CIGRE [11, 12, 13].

3. CRITÉRIOS E PREMISSAS

3.1. Rede Equivalente

A conexão da UHE Teles Pires à rede elétrica se dará por meio de duas linhas de transmissão em circuito duplo e outra linha de transmissão em circuito simples, em 500 kV, à subestação Teles Pires, com extensão de 0,8 km, conforme mostra a Figura 3.1-1. A partir deste ponto, haverá uma linha de transmissão em 500 kV, circuito duplo, com extensão aproximada de 7,5 km, interligando a subestação Teles Pires à SE Paranaíta 500 kV.

A Figura 3.1-2 apresenta a rede equivalente utilizada no presente estudo, que considerou ainda duas linhas de 500 kV, circuito duplo, Paranaíta – Cláudia e Cláudia – Paranatinga.

A configuração adotada para a montagem do equivalente corresponde ao caso de carga pesada, referente ao ano de entrada em operação do empreendimento - 2015, sendo considerados os elementos abaixo elencados. Destaca-se que foram consideradas as Usinas de Foz do Apiacás e São Manuel, embora as mesmas tenham previsão de entrada em operação para 2016. Tal decisão foi adotada uma vez que a UTE Teles Pires irá operar com a presença das mesmas em um curto horizonte de tempo.

- Transformadores elevadores e as máquinas das usinas de Teles Pires.
- Linhas de interconexão entre a UHE Teles Pires e a SE Teles Pires.
- SEs Paranaíta, Cláudia e Paranatinga 500 kV e respectivas linhas de transmissão;
- Usinas São Manuel, Foz do Apiacás, Sinop e Colider;
- Reatores de barra e de linha nas SEs Paranaíta, Cláudia e Paranatinga 500 kV;
- Compensação série nas linhas Claudia – Paranatinga 500 kV;
- Equivalente de curto-circuito na SE Paratininga 500 kV.

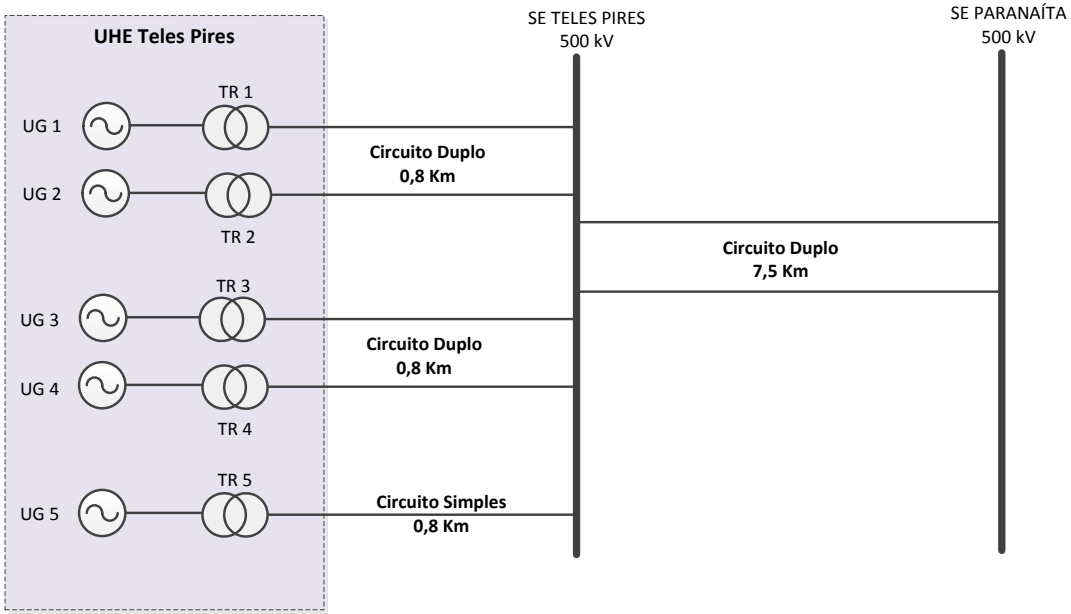


Figura 3.1-1 - Configuração da conexão da UHE Teles Pires

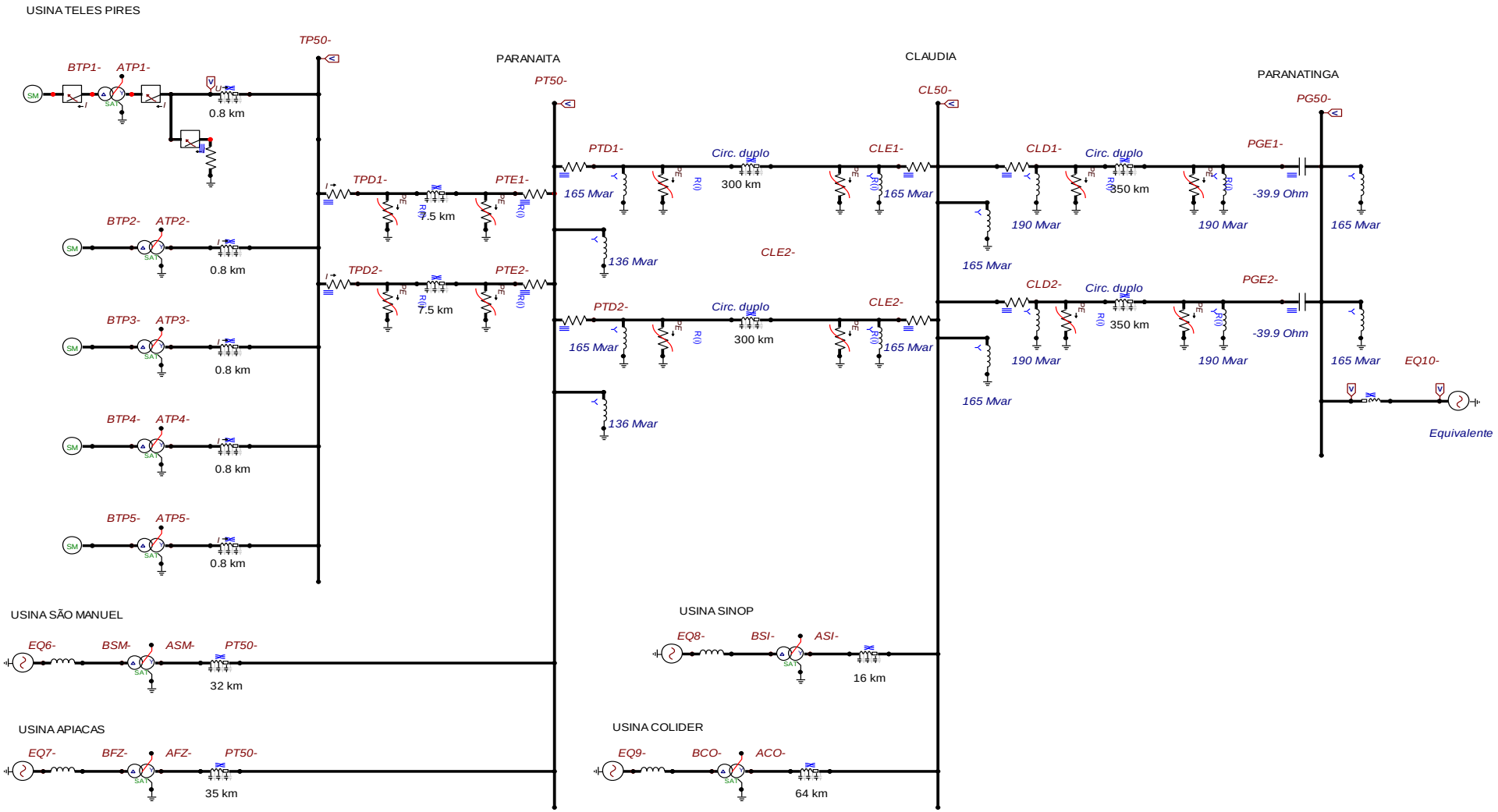


Figura 3.1-2 – Rede equivalente utilizada no estudo

3.2. Dados Utilizados no Estudo

3.2.1. Geradores

A Tabela 3.2.1-1 apresenta os parâmetros básicos das unidades geradoras da UHE Teles Pires. Os parâmetros elétricos detalhados da UHE Teles Pires encontram-se no Anexo 1 deste documento.

Usina	Nº de Unidades	MVA / Unidade	X''_d (% base da máquina – não saturada)
Teles Pires	05	404,45	32,0

Tabela 3.2.1-1Parâmetros das unidades geradoras

3.2.2. Transformadores

A Tabela 3.2.2-1 apresenta as impedâncias, as ligações, as potências, bem como as relações de tensões dos transformadores representados no estudo. Outros parâmetros elétricos dos transformadores elevadores da UHE Teles Pires podem ser consultados no Anexo 1.

Subestação	Potência (MVA)	Relação de Tensões (kV)	Ligações	Impedâncias		
				Xp(Ω)	Xs (Ω)	Xt (Ω)
Teles Pires	5x405	500 / 13,8	Yn Δ	47,7	0,099	-
UHE São Manuel	5x160	500 / 13,8	Yn Δ	24,8	0,051	-
UHE Foz Apiacás	3x133	500 / 13,8	Yn Δ	74,78	0,155	-
UHE Sinop	3x167	500 / 13,8	Yn Δ	43,16	0,089	-
UHE Colider	3x117	500 / 13,8	Yn Δ	57,89	0,12	-

Tabela 3.2.2-1 Parâmetros elétricos dos transformadores

3.2.3. Linhas de Transmissão

Para representação das Linhas de Transmissão de 500 kV, foram considerados os parâmetros elétricos indicados na Tabela 3.2.3-1.

LT	V (kV)	R1 (Ω/km)	X1 (Ω/km)	B1 (μS/km)	Ro (Ω/km)	Xo (Ω/km)	Bo (μS/km)	L (km)
UHE Teles Pires – Teles Pires C1 e C2	500	0,0212	0,338	4,8632	0,1267	0,848	2,8651	0,8
Teles Pires – Paranaíta C1 e C2	500	0,0211	0,347	4,7878	0,1851	0,967	2,9405	7,5
Paranaíta – Cláudia C1 e C2	500	0,0174	0,281	5,9565	0,3091	1,402	3,2421	300
Cláudia – Paranatinga C1 e C2	500	0,0174	0,281	5,9565	0,3091	1,402	3,2421	350

Tabela 3.2.3-1 – Parâmetros elétricos das Linhas de Transmissão de 500 kV calculados pela rotina LINE CONSTANT do ATP

3.2.4. Equivalentes

Foi utilizado um equivalente de curto-circuito na SE Paratininga 500 kV representando o sistema elétrico a jusante da referida subestação.

3.2.5. Reatores Shunt e Compensação Série

Adotou-se a configuração de compensação reativa e série proposta no Relatório R2 do planejamento (EPE) do sistema de integração dos aproveitamentos hidrelétricos da bacia do rio Teles Pires e reforços no SIN [6]. Os mesmos estão destacados na rede equivalente da Figura 3.1-2.

4. METODOLOGIA ADOTADA NO ESTUDO

Diversos aspectos importantes podem influenciar na identificação das situações operativas as quais os disjuntores são submetidos quando da interrupção de correntes de curtos-circuitos com zeros atrasados [1] e [2].

As premissas, condições operativas da rede, sistema equivalente e demais aspectos relativos ao estudo são, a saber:

- O diagrama unifilar simplificado do sistema equivalente adotado nas simulações é apresentado na Figura 3.1-2;
- Todas as cinco unidades geradoras da UHE Teles Pires foram representadas por meio do modelo completo de máquinas síncronas (modelo 59 do ATP [7]) e os parâmetros utilizados encontram-se no Anexo 1. As demais usinas (São Manuel, Foz do Apiacás, Sinop e Colider) foram representadas pelo modelo de tensão constante atrás da reatância sub-transitória da máquina (fonte 14 do ATP [7]).

- Tipo de defeito:

  Segundo a literatura [1, 2, 3, 4] a falta trifásica evolutiva a terra é o tipo de defeito crítico no que se refere ao surgimento de zeros atrasados. Desta forma, esta foi a condição explorada no presente estudo. Os defeitos trifásicos evolutivos considerados iniciam-se monofásicos e evoluem para bifásicos e, em seguida, trifásicos.

- Instante de aplicação do defeito em relação à onda de corrente pré-falta:

  O instante de estabelecimento da corrente de curto-circuito em cada uma das fases corresponde ao instante de passagem por zero da tensão de cada uma das fases.

- Local de defeito:

  A **Erro! Fonte de referência não encontrada.**4.1 apresenta um diagrama unifilar contendo a localização dos pontos de defeitos, aplicados tanto no lado de alta dos transformadores elevadores da subestação da UHE Teles Pires, assim como na saída da linha de transmissão da usina.

- Condição de operação do gerador pré-defeito:

  Foi adotada condição de operação pré-defeito da máquina operando sub-excitada e sobre-excitada1, que corresponde à máquina consumindo e gerando potência reativa da rede. De forma a maximizar o efeito de zeros atrasados, a mesma condição de operação foi assumida para os outros quatro geradores da UHE.

- Número de unidades em operação na usina:

  Foi verificada a influência do número de máquinas em operação nos valores de zeros atrasados. Para tal, assumiu-se a operação de 5, 3 e 1 máquina nos piores casos observados.

- Modelagem dos geradores no ATP:

  Os geradores da UHE Teles Pires foram representados no ATP pelo modelo 59, que é o modelo completo de máquina. Os demais geradores são modelados por barra infinita atrás de impedância (modelo 14).

- Fatores de qualidade (X/R) dos transformadores elevadores:

  As resistências de elementos dos circuitos nas proximidades dos geradores têm influência importante no amortecimento das componentes unidirecionais das correntes de defeito. Desta forma, as resistências dos enrolamentos dos transformadores elevadores foram consideradas nas simulações, assumindo-se para elas um valor típico (X/R= 50).

- Influência da contribuição do sistema nas correntes de curtos-circuitos:

  A influência da rede sobre o defeito nas proximidades de unidades geradoras é no sentido de aumentar o grau de amortecimento das componentes unidirecionais das correntes de curto-circuito resultantes. Desta forma, a rede elétrica foi representada nas simulações incluindo os elementos ligados diretamente à UHE Teles Pires, conforme apresentado na Figura 3.1-2.

- Amortecimentos

  Considerou-se, nos casos mais críticos, a existência de resistências de falta de 0,5 Ohms uma vez que tal valor é da ordem de grandeza das resistências inerentes do circuito para o nível de tensão de 500 kV. Adicionalmente, como faltas trifásicas em linhas de transmissão estabelecem-se através da torre (descarga das três fases para a torre) ou do solo (queda das três fases a terra), optou-se também por considerar, em algumas situações, resistências de terra de 0,4 e 1,0 ohm.

1 A nomenclatura adotada neste relatório para o estado de excitação da máquina é aquela adotada nos diagramas de operação dos geradores (curvas de capacidade – Anexo 1). Vide diagrama em anexo. Isto é, operação capacitiva corresponde a gerador sub-excitado, estando a corrente do gerador adiantada em relação à tensão e o gerador consome potencia reativa da rede (lado esquerdo do diagrama de operação). Operação indutiva, por sua vez, corresponde a gerador sobre-excitado, estando a corrente do gerador atrasada em relação à tensão (lado direito do diagrama de operação). Na operação indutiva a tensão interna da máquina é superior à da rede e o gerador fornece potencia reativa à rede.

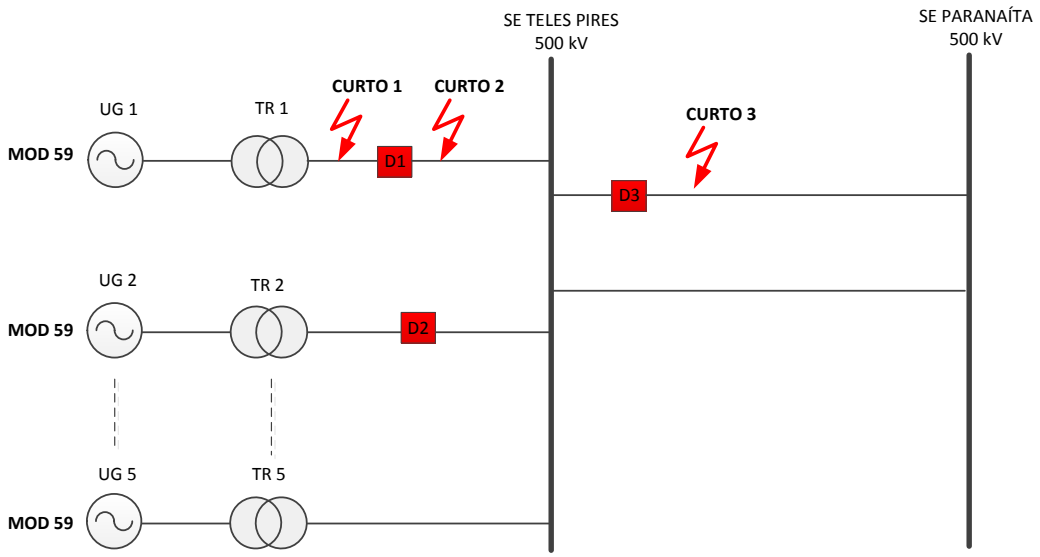


Figura 4-1 - Pontos de defeito e disjuntores considerados nas análises – rede simplificada

5. DESENVOLVIMENTO DOS ESTUDOS

5.1. Avaliação de Ocorrência de Zeros Atrasados

Diversos pontos de operação do gerador são simulados no sentido de cobrir de forma abrangente a curva de capacidade da máquina, pesquisando, assim, condições de operação que maximizem a ocorrência de zeros atrasados. A aplicação dos defeitos é realizada de forma evolutiva, segundo os critérios mencionados no item 4.

A influência das máquinas operando em suas condições nominais sobre as máquinas que operam sub-excitadas, representadas pelo modelo completo (59), é no sentido de reduzir a assimetria da corrente total de defeito. Portanto, para tornar os casos ainda mais conservativos, adotou-se o modelo completo (59) em todas as unidades geradoras da UHE Teles Pires. Desta forma, os geradores que suprem a corrente de defeito através do disjuntor avaliado estão sempre modelados pelo modelo completo de máquina.

Para o disjuntor D1 do transformador elevador foi explorada a condição de defeito no transformador elevador (posição 1 da Figura 4-1) e de defeito aos terminais do disjuntor (posição 2 na Figura 4-1). Para estas condições de defeito, também foram avaliadas as correntes de curto-circuito passantes pelos disjuntores D2 e D3. Para o disjuntor D3 foi considerada a condição de defeito evolutivo nas saídas de linha (posição 3 da Figura 4-1) e também foram avaliadas as correntes de curto-circuito passantes pelos disjuntores D1 e D2.

A Tabela 5.1-1 apresenta a compilação dos resultados dos casos simulados enquanto que a Figura 5.1-1 ilustra os diversos pontos de operação das unidades geradoras correspondentes aos mesmos. Cada ponto representado no gráfico corresponde a uma condição de operação simulada. Suas coordenadas são representadas como percentuais da potência ativa e reativa do ponto de operação em relação à potência nominal da unidade geradora.

Tabela 5.1-1 – Compilação dos casos simulados

Caso		No de unidades geradoras na UTE	Local do curto	Condição inicial dos geradores							Sequência de aplicação da falta trifásica aterrada			Resultados obtidos			Gráfico	Disjuntor Analisado / Fases com zero atrasado
				Condição de excitação	MW	Mvar	MVA	P/Sn (% do MVA Nominal)	Q/Sn (% do MVA Nominal)	Fator de potência	1a Fase (s)	2a Fase (s)	3a Fase (s)	Disjuntor com zero atrasado[2] (s)	Zero atrasado[3] (ms) S/ res. de falta	Zero atrasado[3] (ms) C/ res. de falta		
1	C_3TA_SUB_FP099_310MVA	05	1	Sub-excitada	306	-51	310	76	-13	0.99	A	B	C	D1, D2	48.2		1	D1
											0.01850	0.02404	0.02964	0.066683				A, B, C
2	C_3TA_SUB_FP098_106MVA	05	1	Sub-excitada	104	-19	106	26	-5	0.98	A	B	C	D1, D2	47.9		2	D1
											0.0109	0.01646	0.022	0.058771				A, B, C
3	C_3TA_SOBRE_FP095_373MVA	05	1	Sobre-excitada	353	121	373	87	30	0.95	A	B	C	D1, D2	48.2		3	D1
											0.01028	0.01585	0.02141	0.058438				A, B, C
4	C_3TA_SOBRE_FP090_197MVA	05	1	Sobre-excitada	178	84	197	44	21	0.90	A	B	C	D1, D2	48.1		4	D1
											0.0108	0.01629	0.02185	0.058801				A, B, C
4.1	C_3TA_SOBRE_FP090_197MVA	03	1	Sobre-excitada	178	84	197	44	21	0.90	A	B	C	D1, D2	47.8		5	D1
											0.0108	0.01629	0.02185	0.058516				A, B, C
4.2	C_3TA_SOBRE_FP090_197MVA	01	1	Sobre-excitada	178	84	197	44	21	0.90	A	B	C	D1, D2	não ocorreu		6	D1
											0.0108	0.01629	0.02185	-				A, B, C
5	C_3TA_SUB_FP090_203MVA	05	2	Sub-excitada	183	-89	203	45	-22	0.90	A	B	C	D1, D2	118.0	45,3[4]	7	D1
											0.0106	0.01617	0.02169	0.12862				A, B, C
6	C_3TA_SUB_FP097_216MVA	05	2	Sub-excitada	210	-49	216	52	-12	0.97	A	B	C	D1, D2	112.7	45,4[4]	8	D1
											0.0106	0.0161	0.02165	0.12321				A, B, C
7	C-3TA_SUB_FP092_57MVA	05	2	Sub-excitada	52	-22	57	13	-5	0.92	A	B	C	D1, D2	130.5	62,9[4]	9	D1
											0.011	0.01655	0.02211	0.14707				A, B, C

2 Para disjuntor (es) que apresenta (m) zero atrasado de corrente indica o instante que ocorre o primeiro zero de corrente, para fase com ausência de zero mais longa

3 Indica o tempo mais longo de ausência de zero de corrente, entre o início da falta e o instante de interrupção da corrente.

4 Para uma resistência de falta 0,5 Ohms

7.1	C-3TA_SUB_FP092_57MVA	05	2	Sub-excitada	52	-22	57	13	-5	0.92	A	B	C	D1, D2	130.5	45,8[5]	9	D1
											0.011	0.01655	0.02211	0.14707				A, B, C
7.2	C-3TA_SUB_FP092_57MVA	03	2	Sub-excitada	52	-22	57	13	-5	0.92	A	B	C	D1, D2	146.9	57,2[5]	10	D1
											0.011	0.01655	0.02211	0.16906				A, B, C
7.3	C-3TA_SUB_FP092_57MVA	01	2	Sub-excitada	52	-22	57	13	-5	0.92	A	B	C	D1, D2	179.9	112,7[5]	11	D1
											0.011	0.01655	0.02211	0.20199				A, B, C
7.4	C-3TA_SUB_FP092_57MVA	01	2	Sub-excitada	52	-22	57	13	-5	0.92	A	B	C	D1, D2	179.9	69,2[6]	11	D1
											0.011	0.01655	0.02211	0.20199				A, B, C
8	C_3TA_SOBRE_FP098_402MVA	05	2	Sobre-excitada	396	70	402	98	17	0.98	A	B	C	D1, D2	62.7		12	D1
											0.0101	0.01564	0.02119	0.083886				A, B, C
9	C_3TA_SOBRE_FP092_110MVA	05	2	Sobre-excitada	101	43	110	25	11	0.92	A	B	C	D1, D2	113.6	61,9[4]	13	D1
											0.0109	0.01647	0.02199	0.13564				A, B, C
9.1	C_3TA_SOBRE_FP092_110MVA	05	2	Sobre-excitada	101	43	110	25	11	0.92	A	B	C	D1, D2	113.6	34,8[5]	13	D1
											0.0109	0.01647	0.02199	0.13564				A, B, C
10	C_3TA_SOBRE_FP090_404MVA	05	2	Sobre-excitada	362	178	404	90	44	0.90	A	B	C	D1, D2	79.9		14	D1
											0.0103	0.01592	0.02146	0.095786				A, B, C
11	C_3TA_SUB_FP092_132MVA	05	3	Sub-excitada	122	-52	132	30	-13	0.92	A	B	C	D1, D2 e D3	81.3		15	D3
											0.0108	0.01637	0.02194	0.092068				A, B, C
11.1	C_3TA_SUB_FP092_132MVA	05	3	Sub-excitada	122	-52	132	30	-13	0.92	A	B	C	D1, D2 e D3	116.4	55,2[4]	15	D1 (D2)
											0.0131			0.12944				A, B, C
11.2	C_3TA_SUB_FP092_132MVA	05	3	Sub-excitada	122	-52	132	30	-13	0.92	A	B	C	D1, D2 e D3	116.4	37,2[5]	15	D1 (D2)
											0.0131			0.12944				A, B, C
12	C_3TA_SUB_FP091_228MVA	05	3	Sub-excitada	209	-93	228	52	-23	0.91	A	B	C	D1, D2 e D3	81.2		16	D3
											0.0105	0.01604	0.02159	0.091736				A, B, C
12.1	C_3TA_SUB_FP091_228MVA	03	3	Sub-excitada	209	-93	228	52	-23	0.91	A	B	C	D1, D2 e D3	81.5		17	D3
											0.0105	0.01604	0.02159	0.092				A, B, C
12.2	C_3TA_SUB_FP091_228MVA	01	3	Sub-excitada	209	-93	228	52	-23	0.91	A	B	C	D1, D2 e D3	48.3		18	D3
											0.0105	0.01604	0.02159	0.058785				A, B, C

5 Para uma resistência de falta 0,5 Ohms e resistência de retorno pela terra de 0,4 Ohms

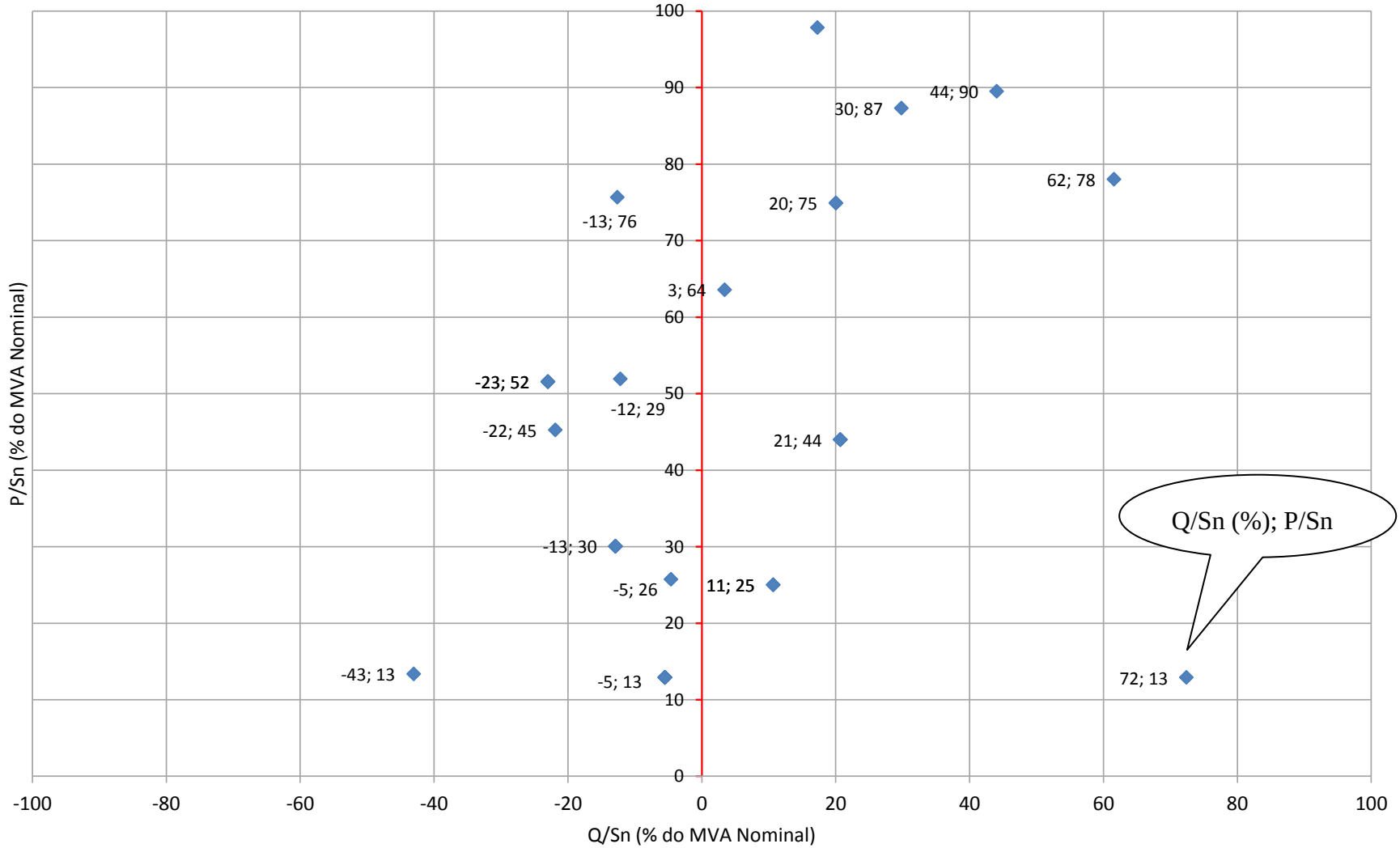
6 Para uma resistência de falta 0,5 Ohms e resistência de retorno pela terra de 1,0 Ohm

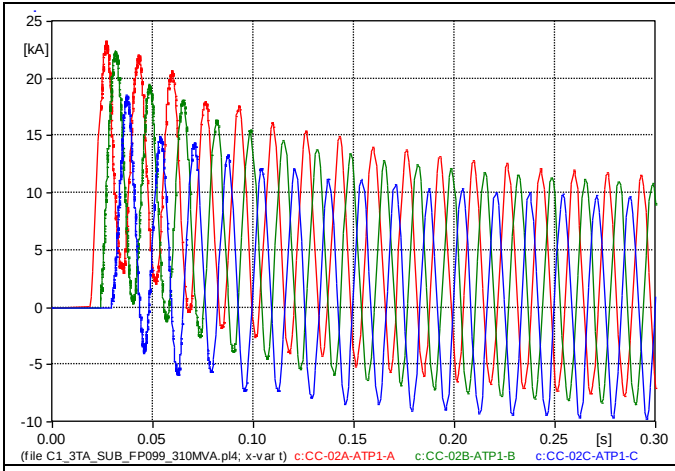
13	C_3TA_SOBRE_FP097_314MVA	05	3	Sobre-excitada	303	81	314	75	20	0.97	A	B	C	D1, D2 e D3	53.4		19	D3
											0.0104	0.01597	0.02149	0.074925				A, B, C
13	C_3TA_SOBRE_FP097_314MVA	05	3	Sobre-excitada	303	81	314	75	20	0.97	A	B	C	D1, D2 e D3	95.7	44,2[5]	19	D1 (D2)
												0.01393		0.095704				A, B, C
14	C_3TA_SOBRE_FP099_257MVA	05	3	Sobre-excitada	257	14	257	64	3	1.00	A	B	C	D1, D2 e D3	65.1		20	D3
											0.0104	0.01604	0.02157	0.075545				A, B, C
15[7]	C_3TA_SUB_FP030_179MVA	05	2	Sub-excitada	54	-174	182	13	-43	0.30	A	B	C	D1, D2	109.0	36,6[5]	21	D1 e D2
											0.0109	0.01644	0.02197	0.11983				A, B, C
16[7]	C_3TA_SOBRE_FP018_299MVA	05	2	Sobre-excitada	52	293	297	13	72	0.18	A	B	C	D1, D2	97.6	29,9[5]	22	D1 e D2
											0.0111	0.01664	0.02219	0.1198				A, B, C
17[7]	C_3TA_SOBRE_FP079_402MVA	05	2	Sobre-excitada	316	249	402	78	62	0.79	A	B	C	D1, D2	80.2		23	D1 e D2
											0.0105	0.01604	0.02162	0.1018				A, B, C
18[8]	C_3TA_SUB_FP090_203MVA	05	2	Sub-excitada	183	-89	203	45	-22	0.90	A	B	C	-	não ocorreu		24	D1
											0.015	0.015	0.015	-				A, B, C
19[8]	C_3TA_SOBRE_FP097_314MVA	05	3	Sobre-excitada	303	81	314	75	20	0.97	A	B	C	-	não ocorreu		25	D3
											0.012	0.012	0.012	-				A, B, C

7 Casos com fator de potência fora da faixa de 0,95 sub-excitado a 0,90 sobre-excitado

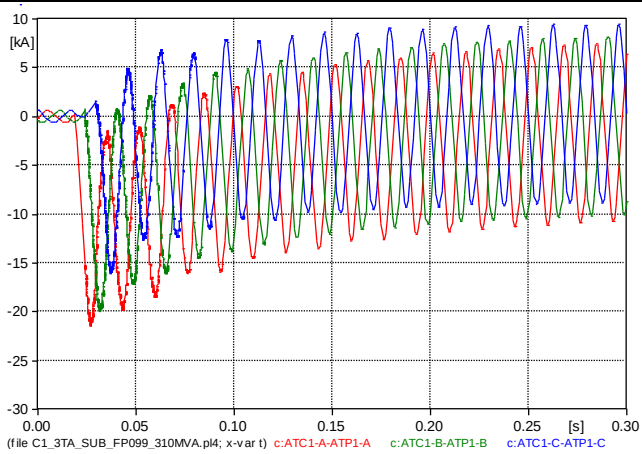
8 Casos de curto trifásico aterrado NÃO evolutivo

Figura 5.1-1 - Condições operativas analisadas: percentuais das potências ativas e reativas em relação à potência nominal da unidade geradora

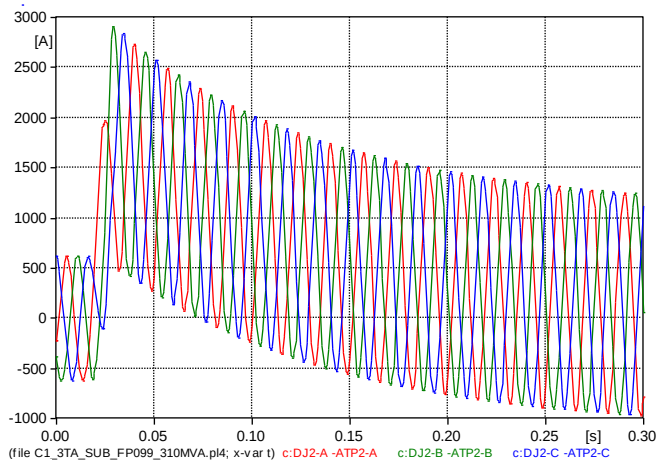




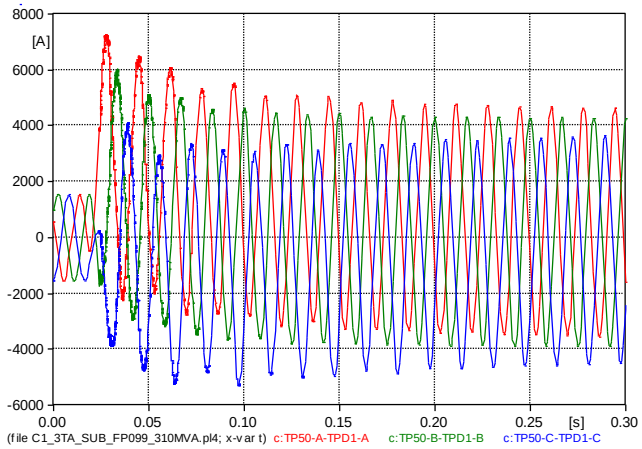
Corrente total de curto



Corrente no disjuntor de 500 kV D1, máquina 01, modelo 59– zero atrasado em 48.2 ms

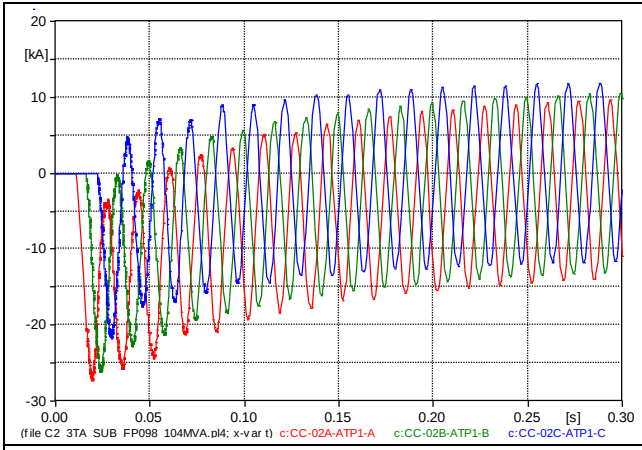


Corrente no disjuntor de 500 kV D2, máquina 02, modelo 59, zero atrasado em 64.2 ms

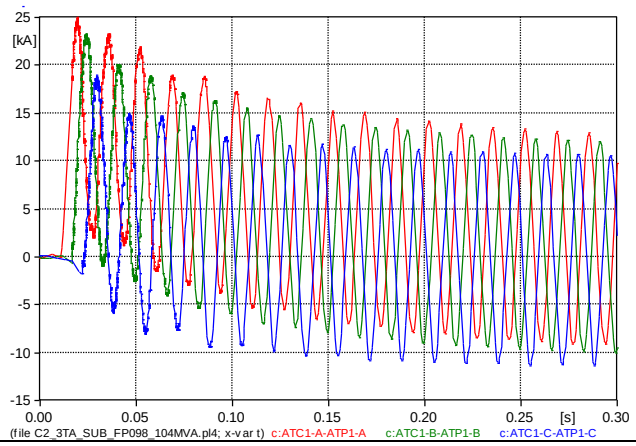


Corrente no disjuntor de 500 kV D3

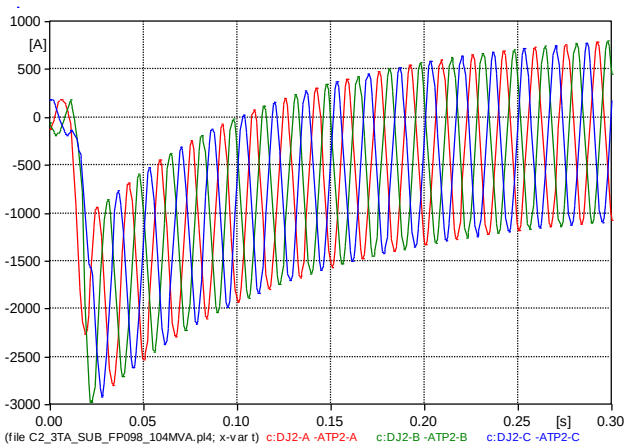
Gráfico 1 – Caso 1: Curto trifásico aterrado, no 500 kV, local 1, evolutivo, máquina 01 gerando 306 MW e com fator de potência 0,99, sub-excitada, com todas as 5 máquinas representadas pelo modelo completo 59.
C1_3TA_SUB_FP099_310MVA



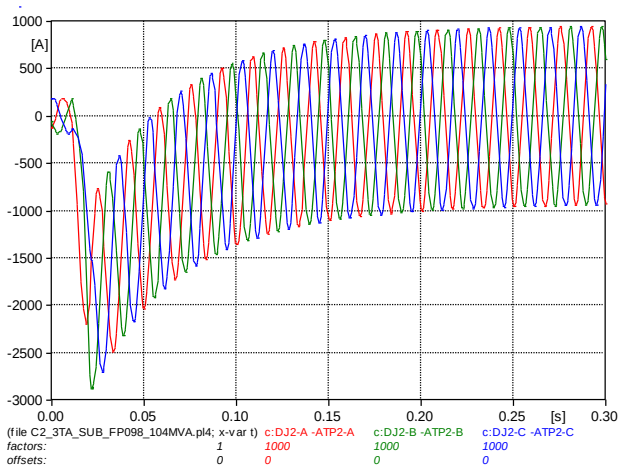
Corrente total de curto



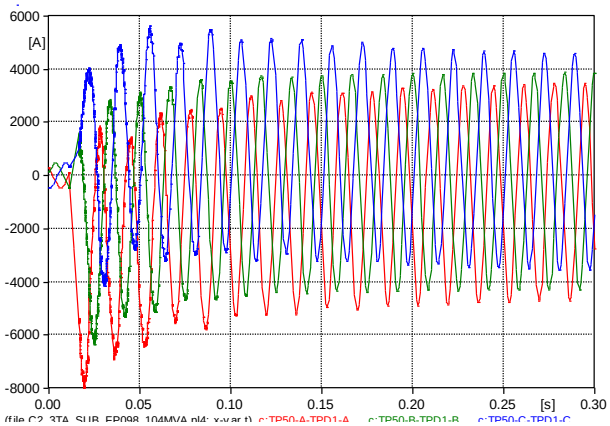
Corrente no disjuntor de 500 kV D1, máquina 01, modelo 59 – zero atrasado em 47.9 ms



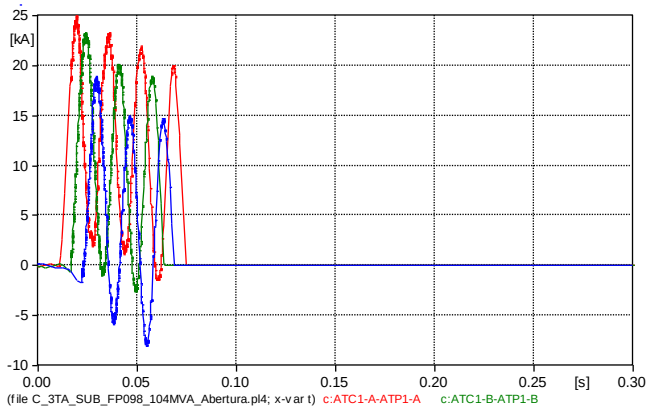
Corrente no disjuntor de 500 kV D2, máquina 02, modelo 59, zero atrasado em 99.9 ms



Corrente no disjuntor de 500 kV D2, com resistência de falta de 0,5 Ohms - zero atrasado em 36.20 ms

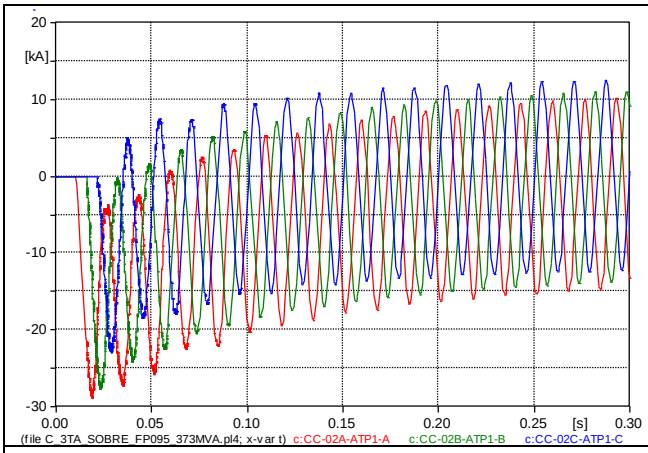


Corrente no disjuntor de 500 kV D3

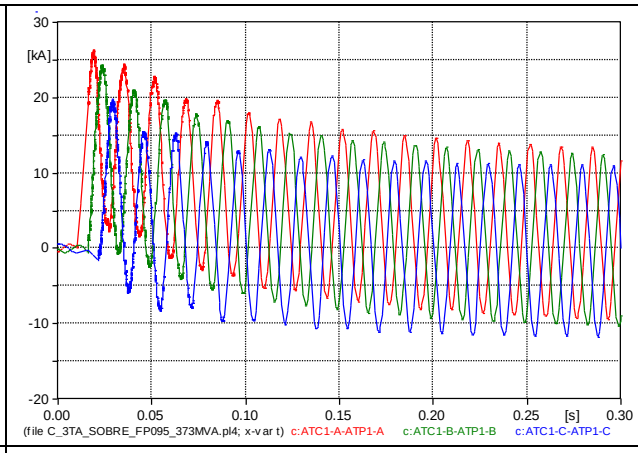


Interrupção da corrente passante de 500 kV – D1

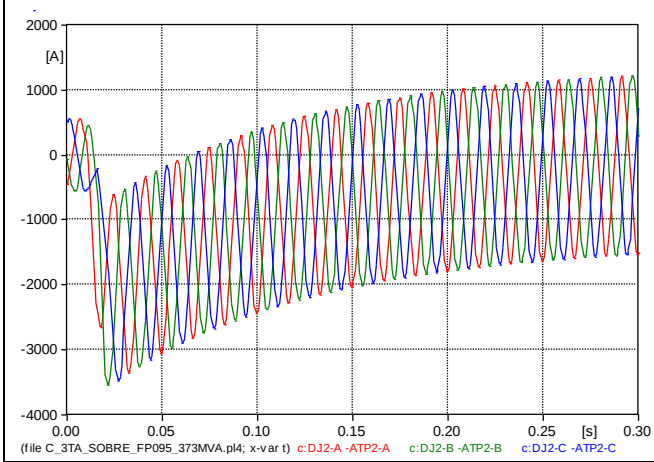
Gráfico 2 – Caso 2: Curto trifásico aterrado, no 500 kV, local 1, evolutivo, máquina 01 gerando 104 MW e com fator de potência 0,98, sub-excitada, com todas as 5 máquinas representadas pelo modelo completo 59.
C2_3TA_SUB_FP098_106MVA



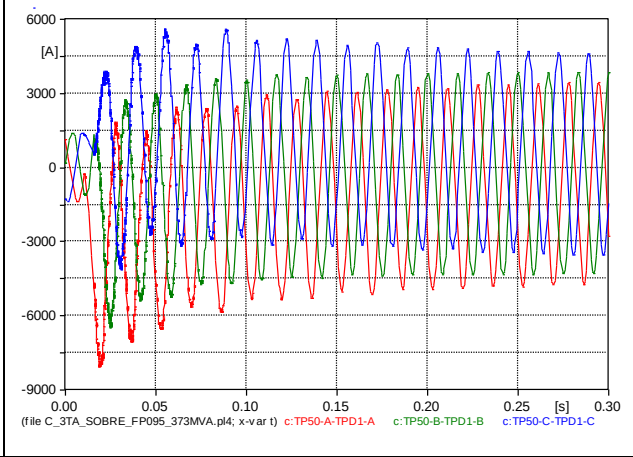
Corrente total de curto



Corrente no disjuntor de 500 kV D1, máquina 01, modelo 59 – zero atrasado em 48.2 ms

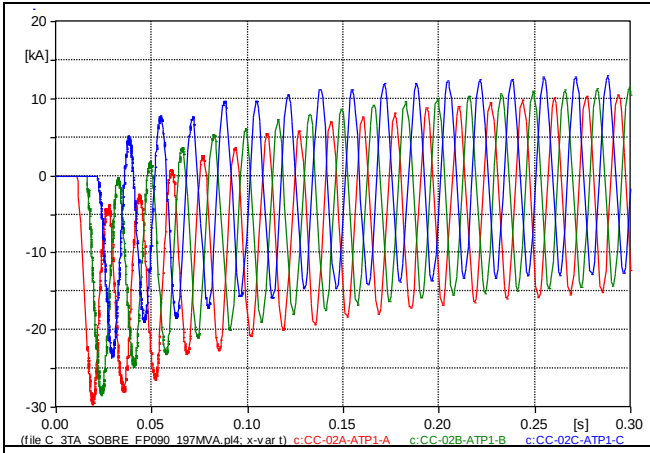


Corrente no disjuntor de 500 kV D2, máquina 02, modelo 59, zero atrasado em 64.6 ms

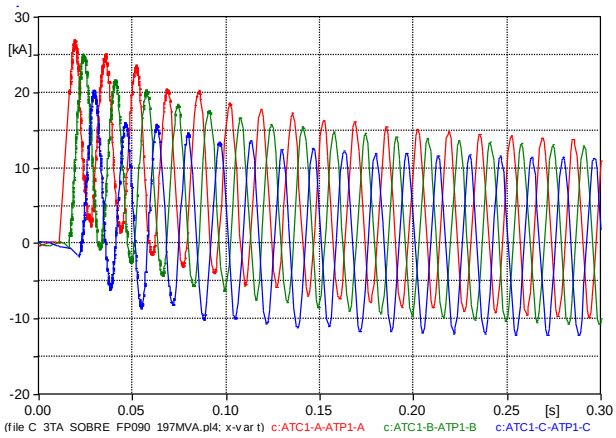


Corrente no disjuntor de 500 kV D3

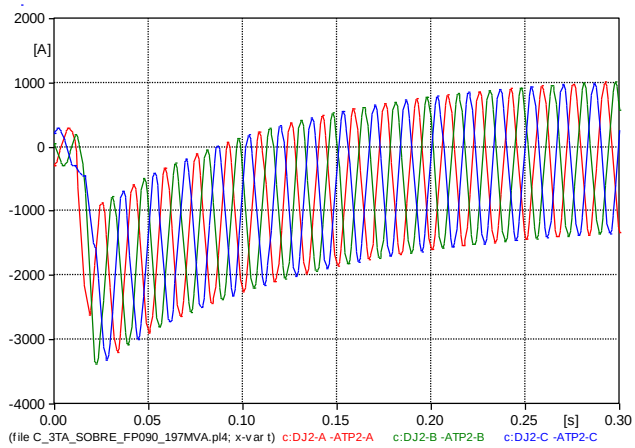
Gráfico 3 – Caso 3 Curto trifásico aterrado, no 500 kV, local 1, evolutivo, máquina 01 gerando 353 MW e com fator de potência 0,95, sobre-excitada, com todas as 5 máquinas representadas pelo modelo completo 59.
C_3TA_SOBRE_FP095_373MVA



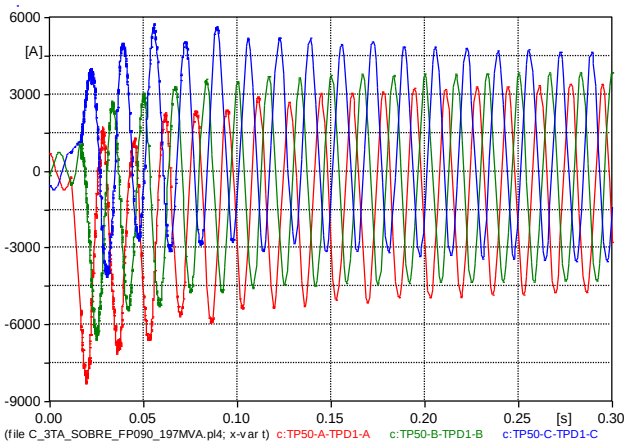
Corrente total de curto



Corrente no disjuntor de 500 kV D1, máquina 01, modelo 59 – zero atrasado em 48.1 ms

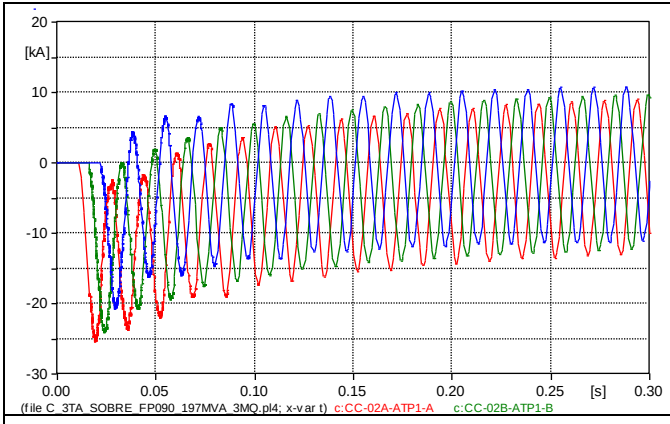


Corrente no disjuntor de 500 kV D2, máquina 02, modelo 59, zero atrasado em 83 ms

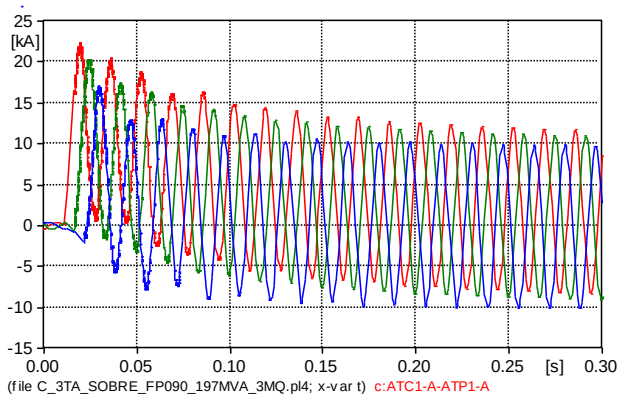


Corrente no disjuntor de 500 kV D3

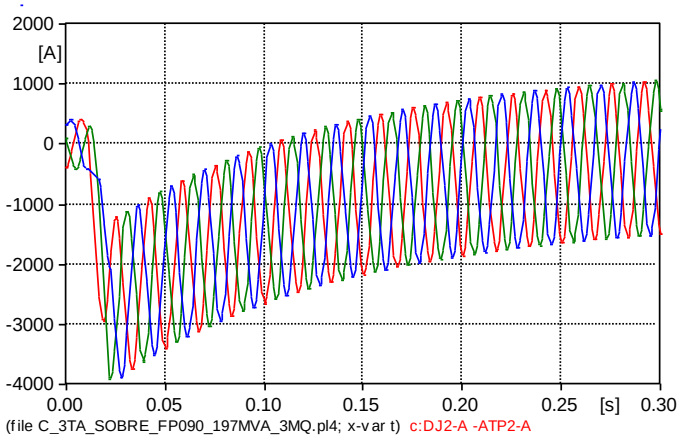
Gráfico 4 – Caso 4 Curto trifásico aterrado, no 500 kV, local 1, evolutivo, máquina 01 gerando 178 MW e com fator de potência 0,90, sobre-excitada, com todas as 5 máquinas representadas pelo modelo completo 59.
C_3TA_SOBRE_FP090_197MVA



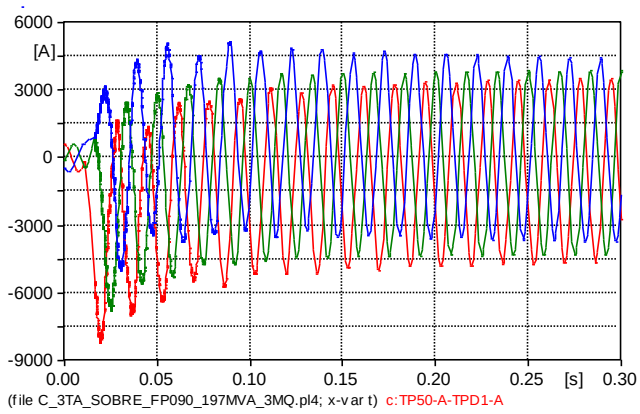
Corrente total de curto



Corrente no disjuntor de 500 kV D1, máquina 01, modelo 59 – zero atrasado em 47.8 ms

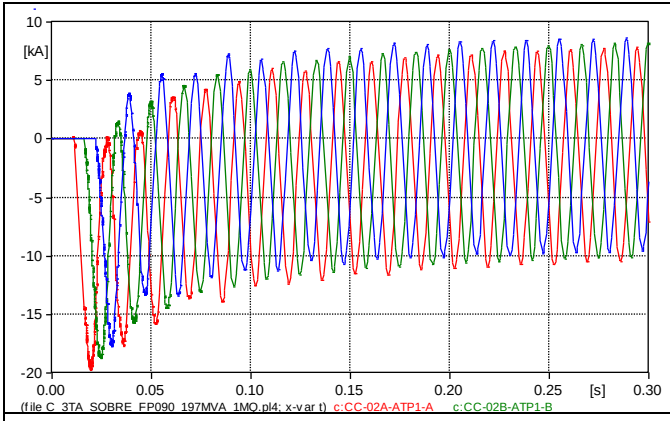


Corrente no disjuntor de 500 kV D2, máquina 02, modelo 59, zero atrasado em 97,2 ms

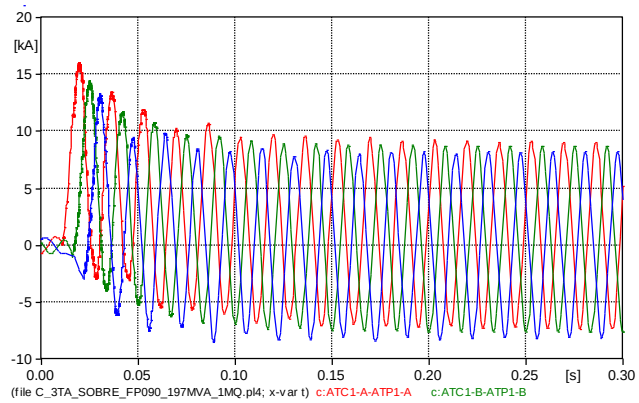


Corrente no disjuntor de 500 kV D3

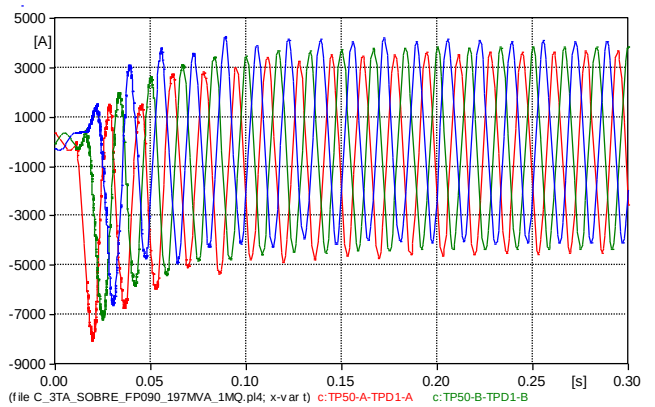
Gráfico 5 – Caso 4.1 Curto trifásico aterrado, no 500 kV, local 1, evolutivo, máquina 01 gerando 178 MW e com fator de potência 0,90, sobre-excitada, com apenas 3 máquinas sincronizadas - representadas pelo modelo completo 59. C_3TA_SOBRE_FP090_197MVA



Corrente total de curto

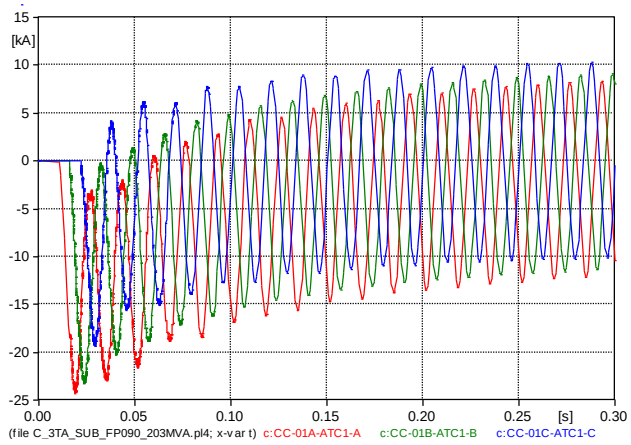


Corrente no disjuntor de 500 kV D1, máquina 01, modelo 59 – não ocorreu zero atrasado

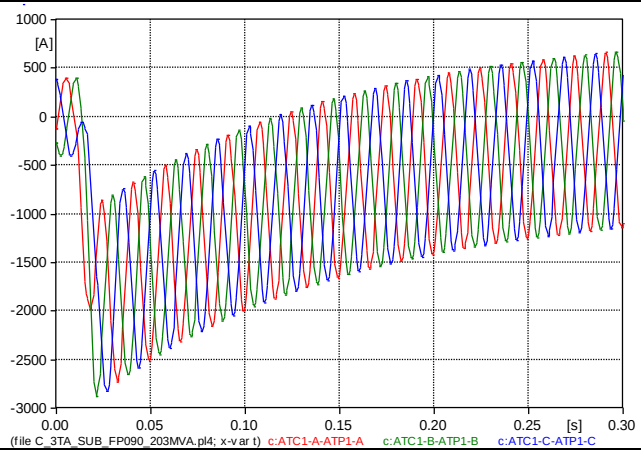


Corrente no disjuntor de 500 kV D3

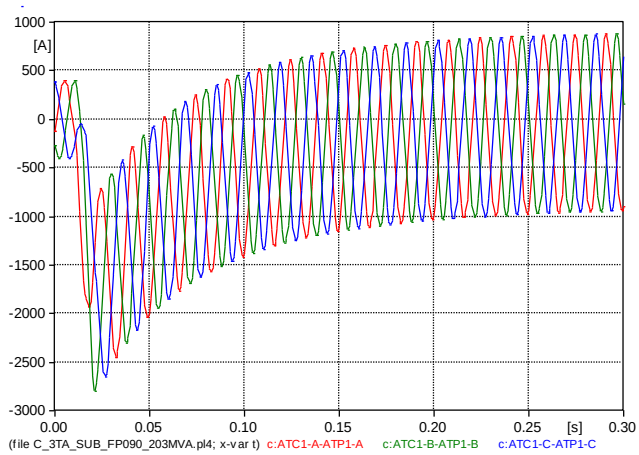
Gráfico 6 – Caso 4.2 Curto trifásico aterrado, no 500 kV, local 1, evolutivo, máquina 01 gerando 178 MW e com fator de potência 0,90, sobre-excitada, com apenas 1 máquina sincronizada - representada pelo modelo completo 59.
C_3TA_SOBRE_FP090_197MVA



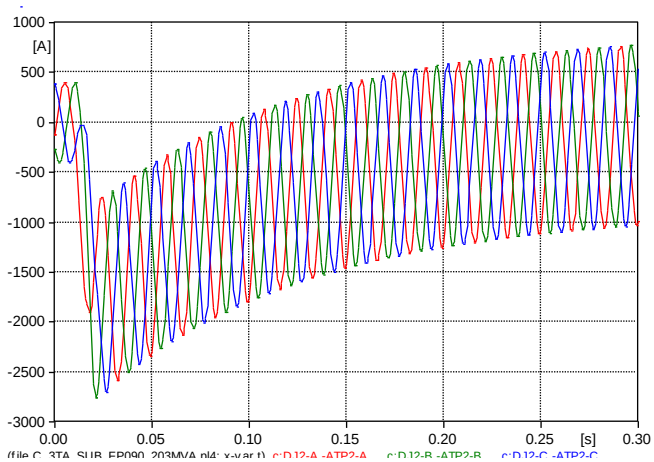
Corrente total de curto



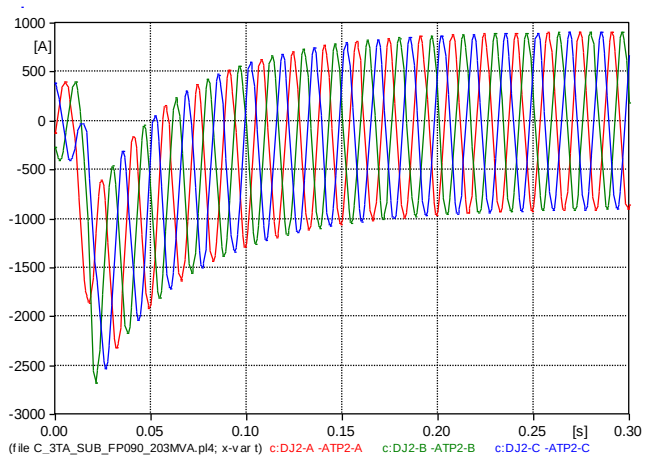
Corrente no disjuntor de 500 kV D1, máquina 01, modelo 59 – zero atrasado em 118 ms



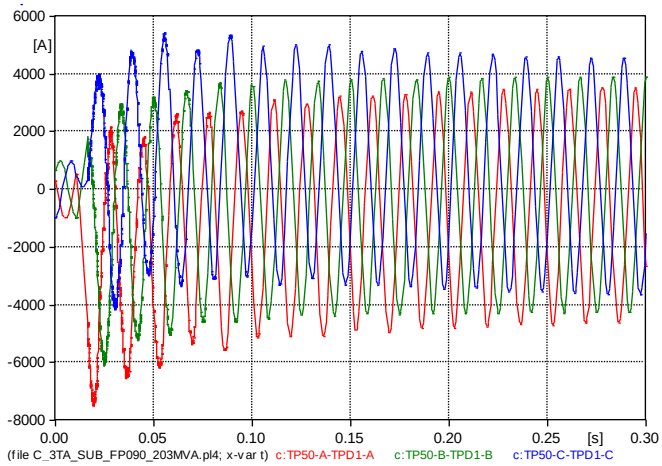
Corrente no disjuntor de 500 kV D1, com resistência de falta de 0,5 Ohms - zero atrasado em 45.3 ms



Corrente no disjuntor de 500 kV D2, máquina 02, modelo 59, zero atrasado em 86.9 ms

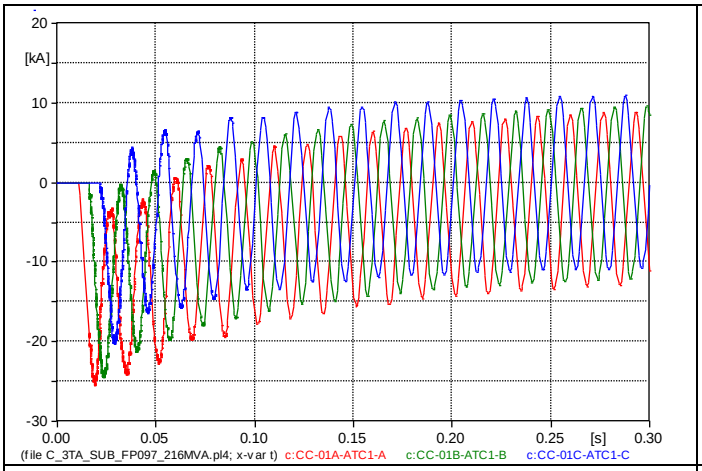


Corrente no disjuntor de 500 kV D2, com resistência de falta de 0,5 Ohms - zero atrasado em 47.7 ms

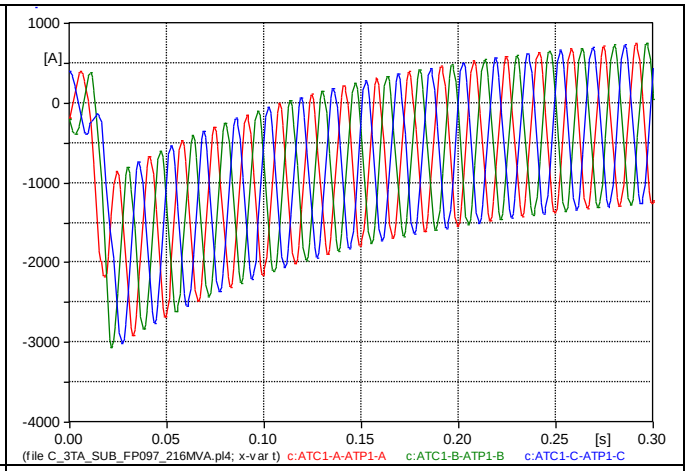


Corrente no disjuntor de 500 kV D3

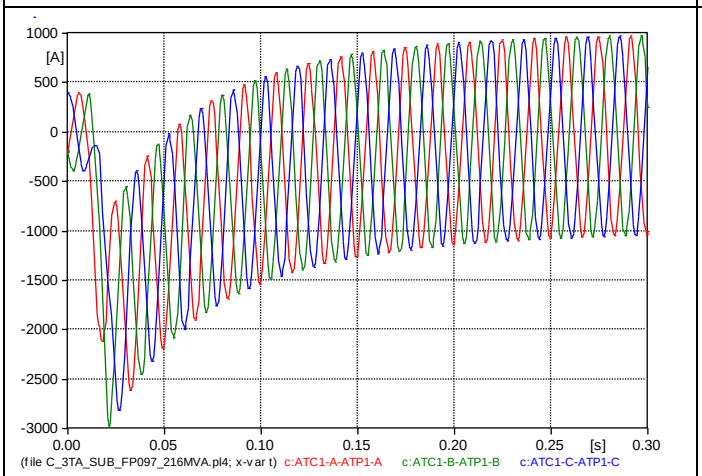
Gráfico 7 – Caso 5 Curto trifásico aterrado, no 500 kV, local 2, evolutivo, máquina 01 gerando 183 MW e com fator de potência 0,90, sub-excitada, com todas as 5 máquinas representadas pelo modelo completo 59.
C_3TA_SUB_FP090_203MVA



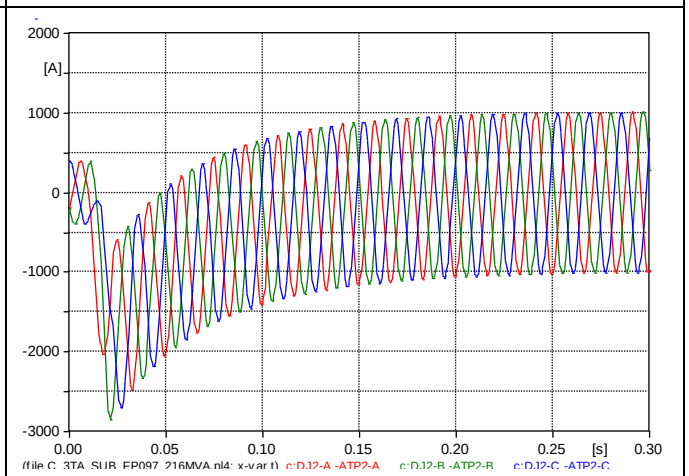
Corrente total de curto



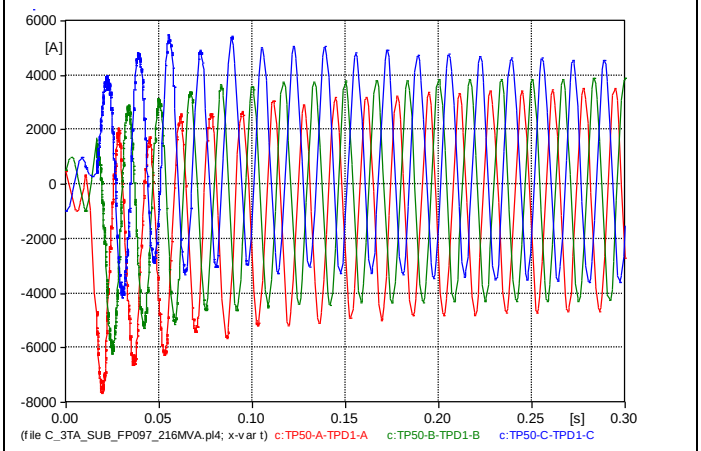
Corrente no disjuntor de 500 kV D1, máquina 01, modelo 59 – zero atrasado em 112.7 ms



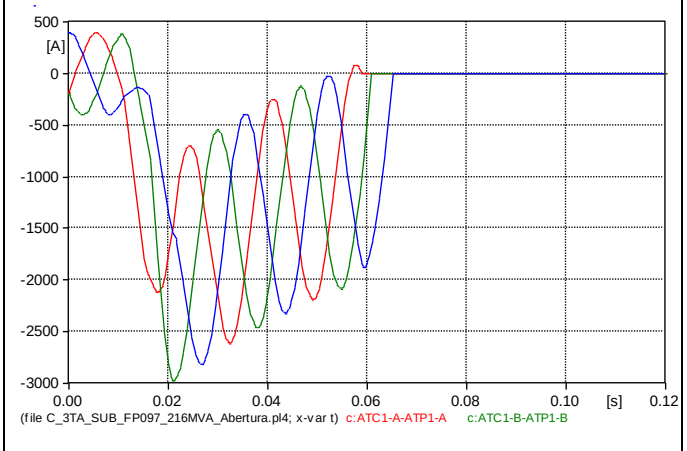
Corrente no disjuntor de 500 kV D1, com resistência de falta de 0,5 Ohms - zero atrasado em 45.4 ms



Corrente no disjuntor de 500 kV D2, com resistência de falta de 0,5 Ohms - zero atrasado em 46.3 ms

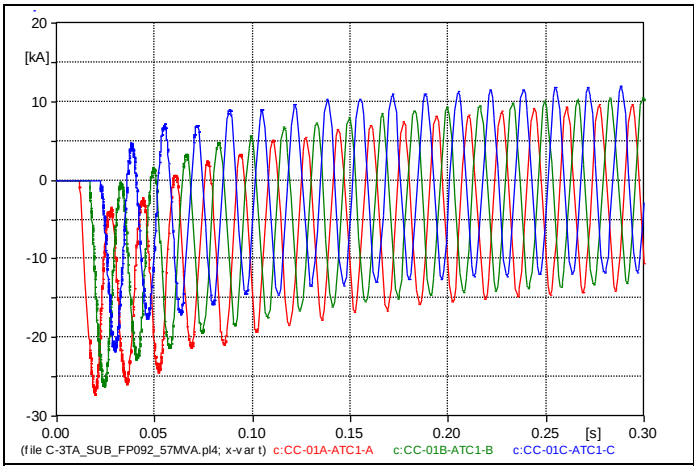


Corrente no disjuntor de 500 kV D3

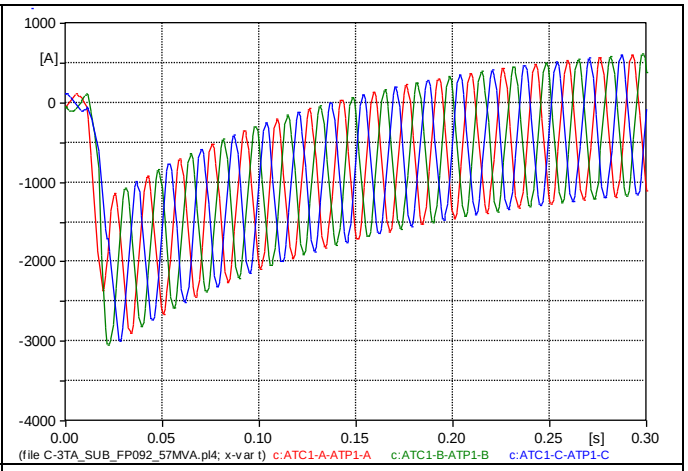


Interrupção da corrente no disjuntor de 500 kV D1, com resistência de falta de 0,5 Ohms

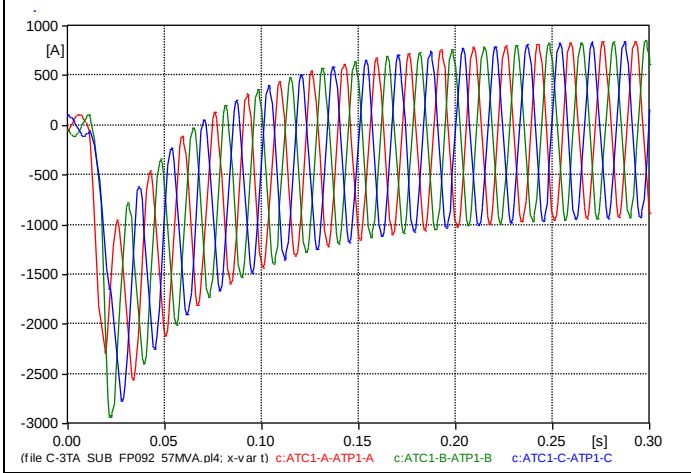
Gráfico 8 – Caso 6 Curto trifásico aterrado, no 500 kV, local 2, evolutivo, máquina 01 gerando 210 MW e com fator de potência 0,97, sub-excitada, com todas as 5 máquinas representadas pelo modelo completo 59.
C_3TA_SUB_FP097_216MVA



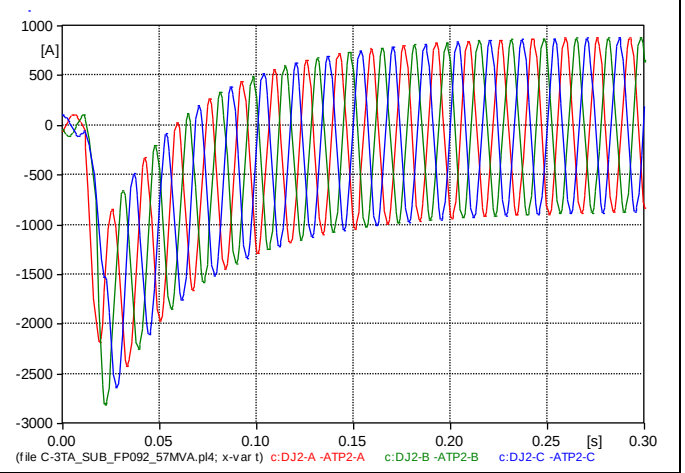
Corrente total de curto



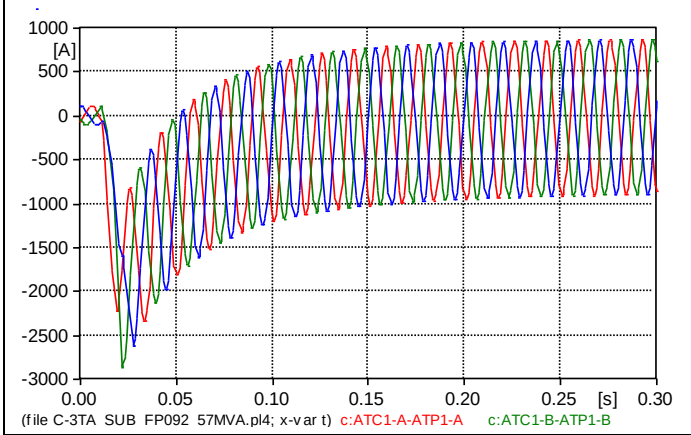
Corrente no disjuntor de 500 kV D1, máquina 01, modelo 59 – zero atrasado em 130.5 ms



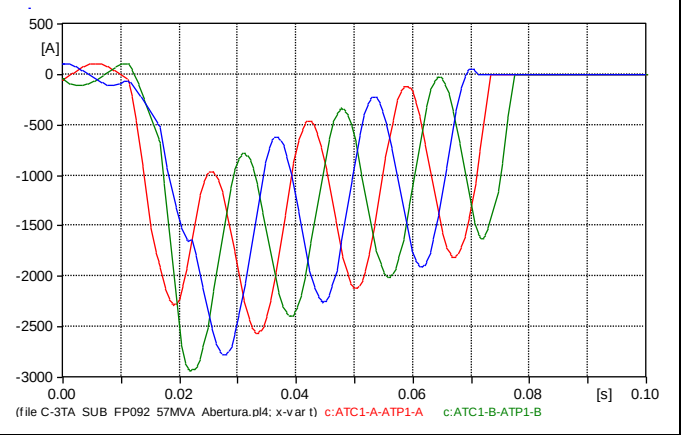
Corrente no disjuntor de 500 kV D1, com resistência de falta de 0,5 Ohms - zero atrasado em 62.9 ms



Corrente no disjuntor de 500 kV D2, com resistência de falta de 0,5 Ohms - zero atrasado em 56.1 ms

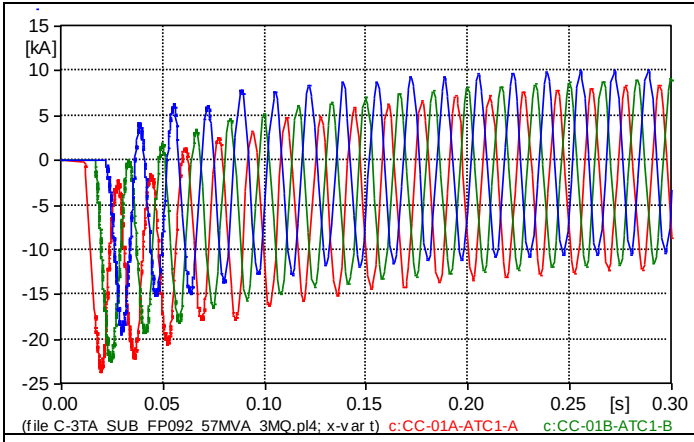


Corrente no disjuntor de 500 kV D1, com resistência de falta de 0,5 Ohms e resistência de retorno pela terra de 0,4 Ohms - zero atrasado em 45,8 ms

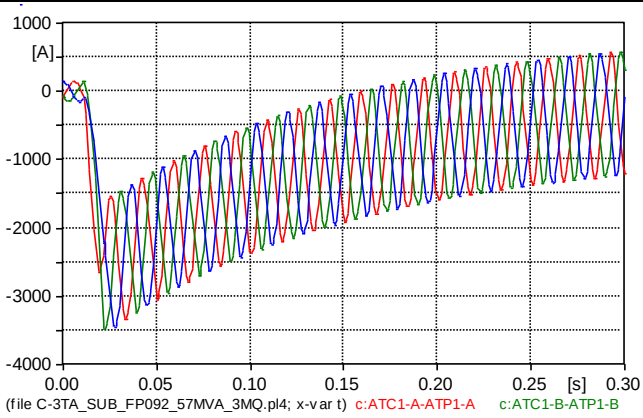


Interrupção da corrente no disjuntor de 500 kV D1, com resistência de falta de 0,5 Ohms

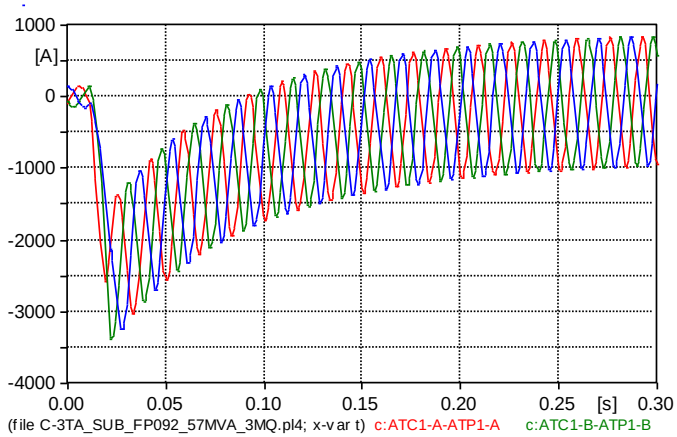
Gráfico 9 – Caso 7 Curto trifásico aterrado, no 500 kV, local 2, evolutivo, máquina 01 gerando 52 MW e com fator de potência 0,92, sub-excitada, com todas as 5 máquinas representadas pelo modelo completo 59.
C-3TA_SUB_FP092_57MVA



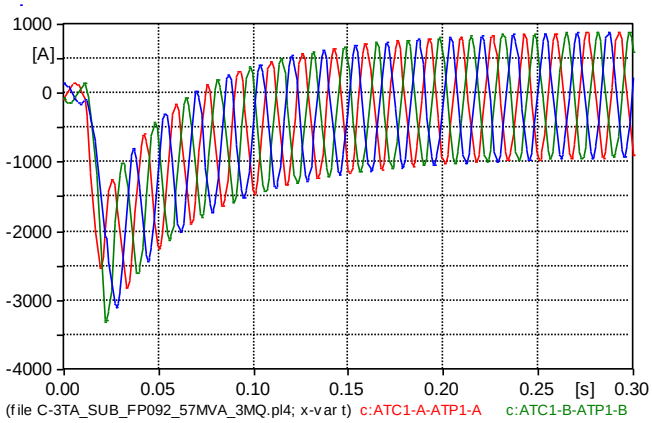
Corrente total de curto



Corrente no disjuntor de 500 kV D1, máquina 01, modelo 59 – zero atrasado em 146,9 ms

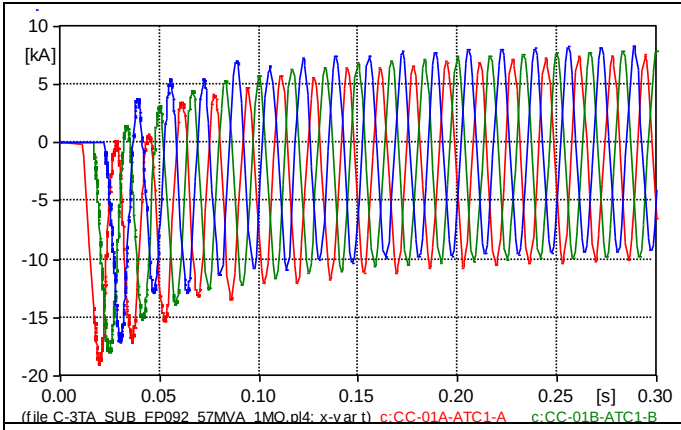


Corrente no disjuntor de 500 kV D1, com resistência de falta de 0,5 Ohms - zero atrasado em 79,7 ms

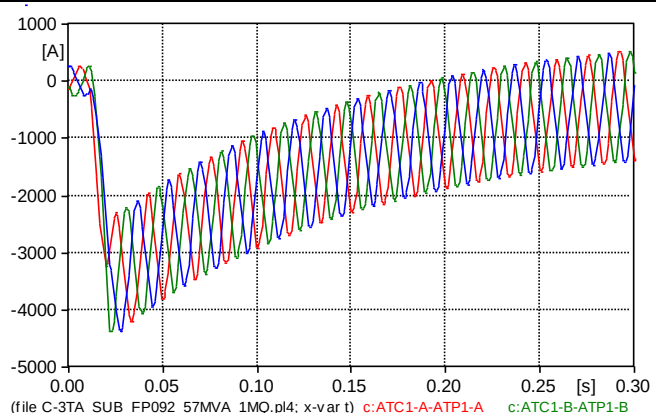


Corrente no disjuntor de 500 kV D1, com resistência de falta de 0,5 Ohms e resistência de retorno pela terra de 0,4 Ohms - zero atrasado em 57,2 ms

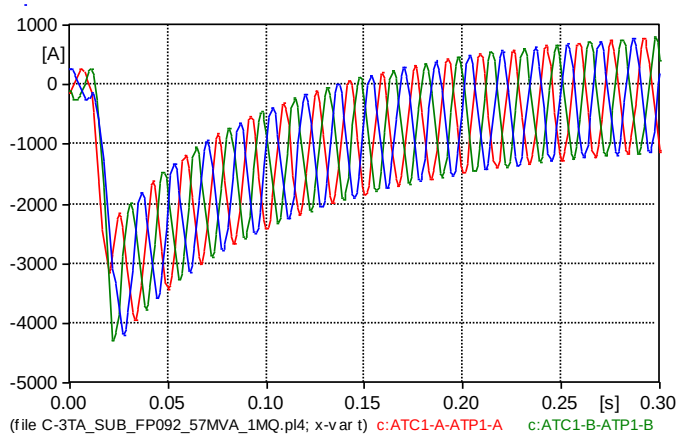
Gráfico 10 – Caso 7.2 Curto trifásico aterrado, no 500 kV, local 1, evolutivo, máquina 01 gerando 52 MW e com fator de potência 0,92, sub-excitada, com apenas 3 máquinas sincronizadas - representadas pelo modelo completo 59. C-3TA_SUB_FP092_57MVA



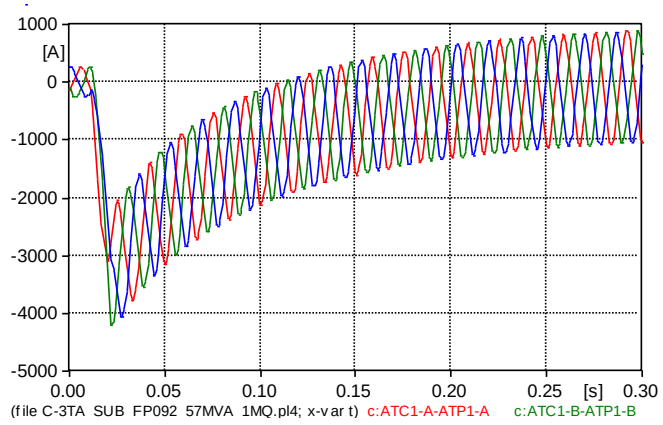
Corrente total de curto



Corrente no disjuntor de 500 kV D1, máquina 01, modelo 59 – zero atrasado em 179,9 ms

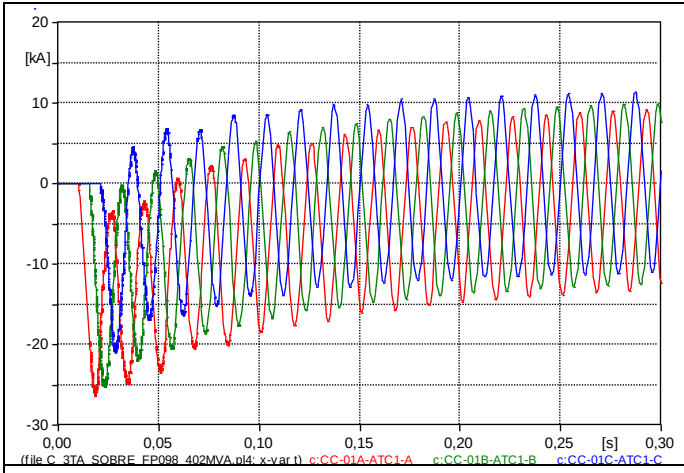


Corrente no disjuntor de 500 kV D1, com resistência de falta de 0,5 Ohms - zero atrasado em 124,1 ms

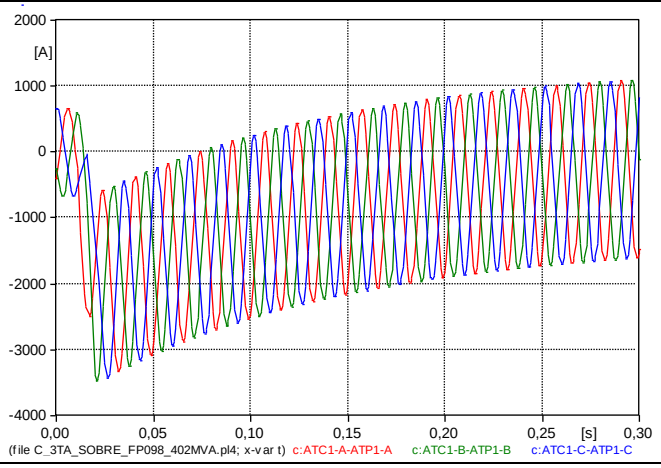


Corrente no disjuntor de 500 kV D1, com resistência de falta de 0,5 Ohms e resistência de retorno pela terra de 0,4 Ohms - zero atrasado em 112,7 ms

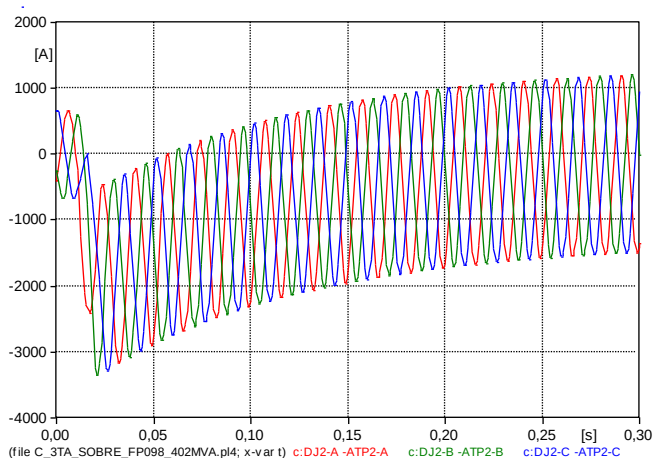
Gráfico 11 – Caso 7.3 Curto trifásico aterrado, no 500 kV, local 1, evolutivo, máquina 01 gerando 52 MW e com fator de potência 0,92, sub-excitada, com apenas 1 máquina sincronizada - representadas pelo modelo completo 59.
C-3TA_SUB_FP092_57MVA



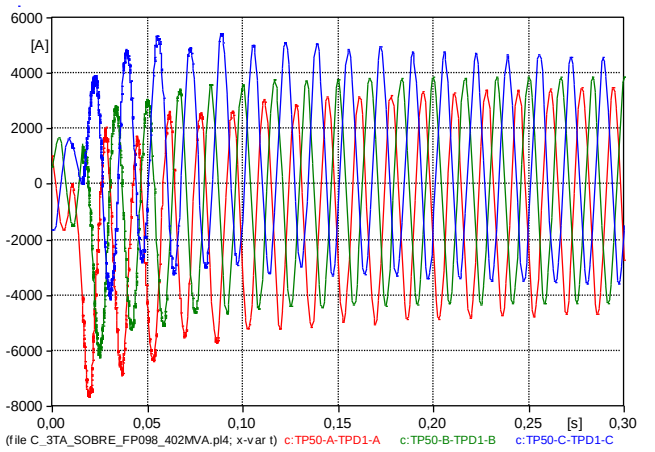
Corrente total de curto



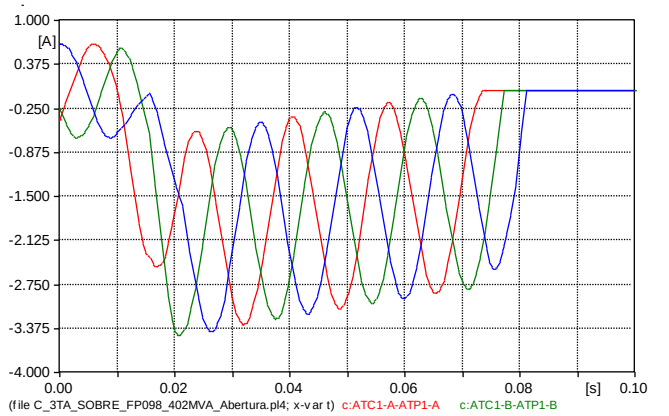
Corrente no disjuntor de 500 kV D1, máquina 01, modelo 59 – zero atrasado em 62.7 ms



Corrente no disjuntor de 500 kV D2, máquina 02, modelo 59, zero atrasado em 51.7 ms

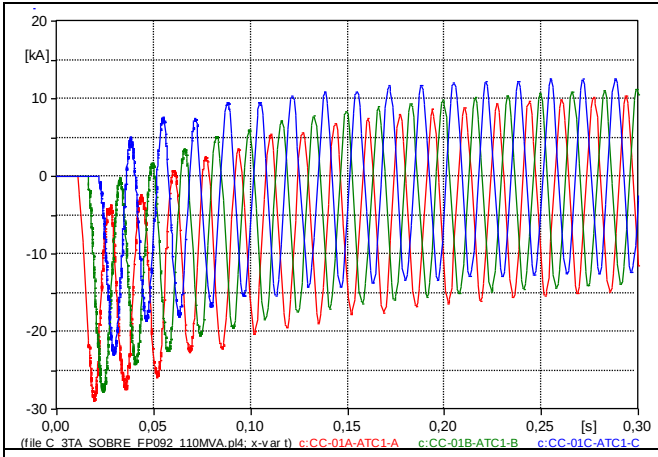


Corrente no disjuntor de 500 kV D3

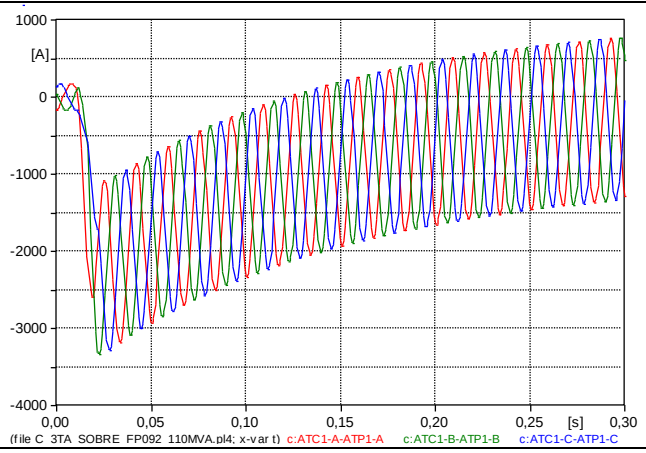


Interrupção da corrente passante de 500 kV – D1

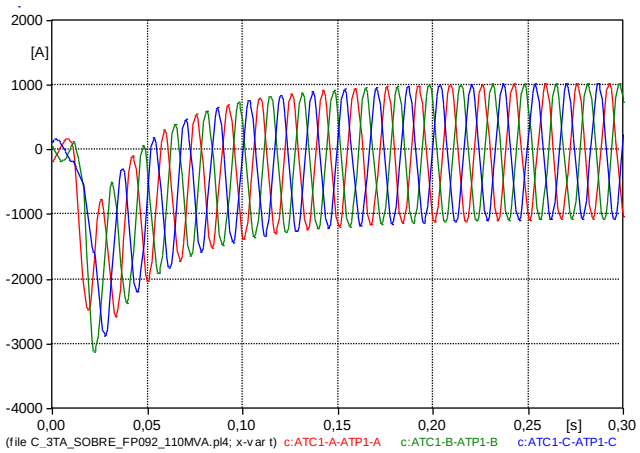
Gráfico 12 – Caso 8 Curto trifásico aterrado, no 500 kV, local 2, evolutivo, máquina 01 gerando 396 MW e com fator de potência 0,98, sobre-excitada, com todas as 5 máquinas representadas pelo modelo completo 59.
C_3TA_SOBRE_FP098_402MVA



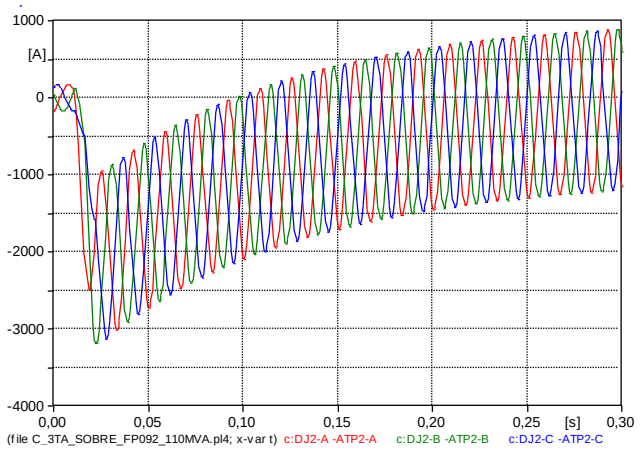
Corrente total de curto



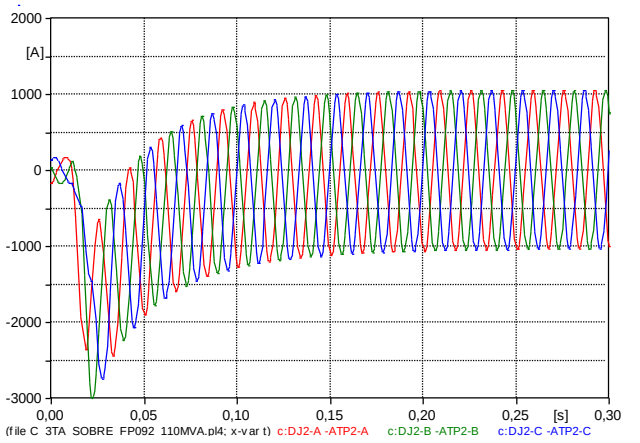
Corrente no disjuntor de 500 kV D1, máquina 01, modelo 59 – zero atrasado em 113,6 ms



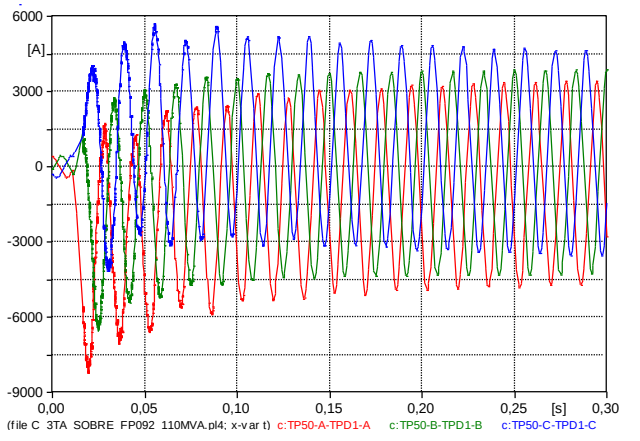
Corrente no disjuntor de 500 kV D1, com resistência de falta de 0,5 Ohms e resistência de retorno pela terra de 0,4 Ohms - zero atrasado em 34,8 ms



Corrente no disjuntor de 500 kV D2, máquina 02, modelo 59, zero atrasado em 97,3 ms

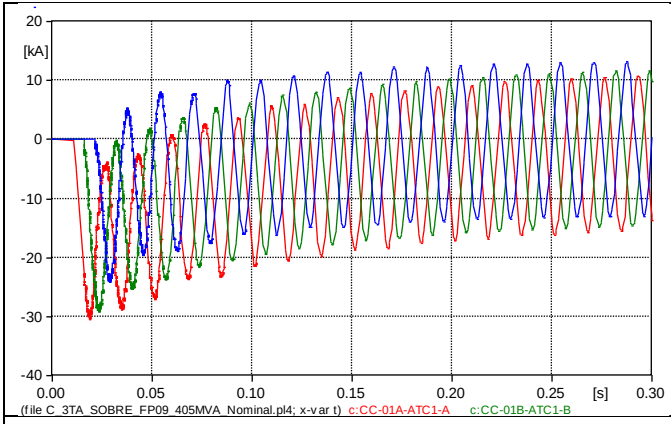


Corrente no disjuntor de 500 kV D2, com resistência de falta de 0,5 Ohms e resistência de retorno pela terra de 0,4 Ohms - zero atrasado em 36,8 ms

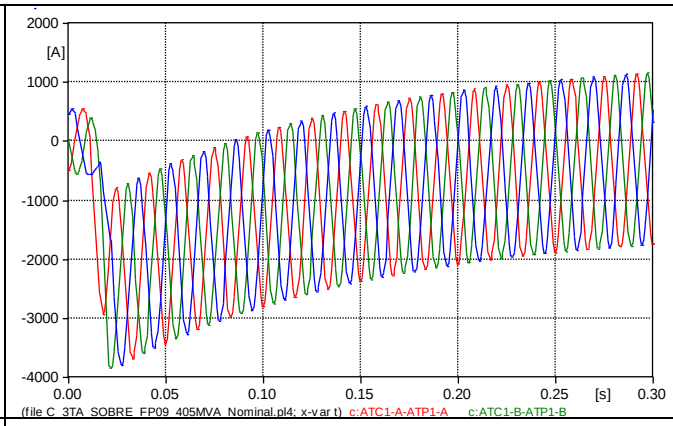


Corrente no disjuntor de 500 kV D3

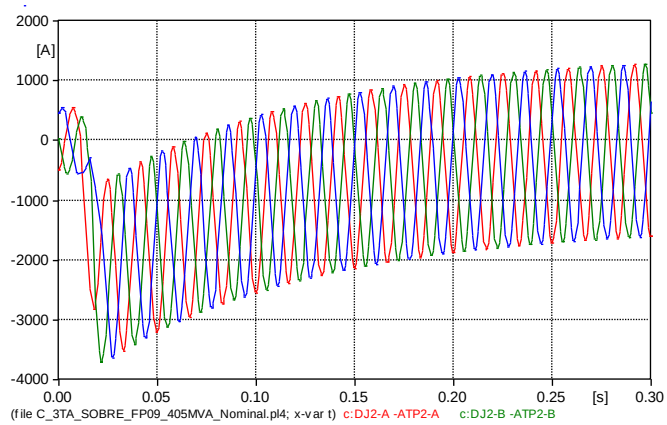
Gráfico 13 – Caso 9 Curto trifásico aterrado, no 500 kV, local 2, evolutivo, máquina 01 gerando 101 MW e com fator de potência 0,92, sobre-excitada, com todas as 5 máquinas representadas pelo modelo completo 59.
C_3TA_SOBRE_FP092_110MVA



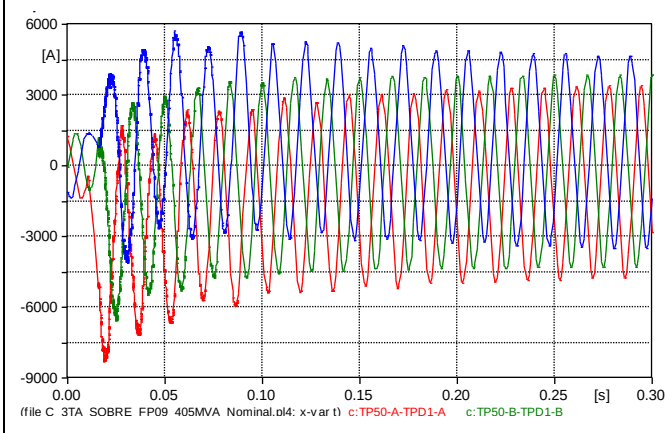
Corrente total de curto



Corrente no disjuntor de 500 kV D1, máquina 01, modelo 59 – zero atrasado em 79,9 ms

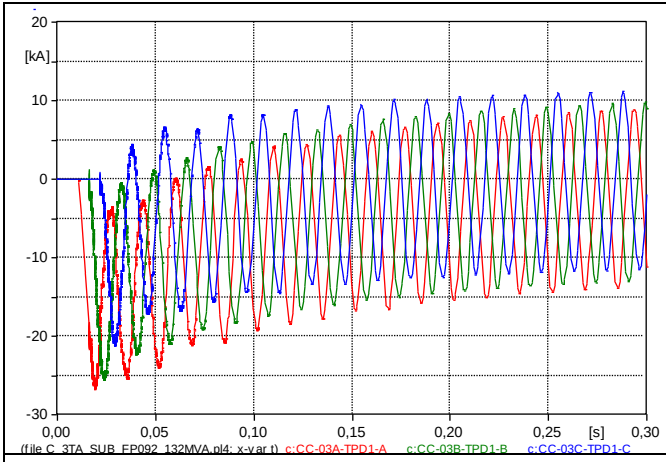


Corrente no disjuntor de 500 kV D2, máquina 01, modelo 59 – zero atrasado de 64,71 ms

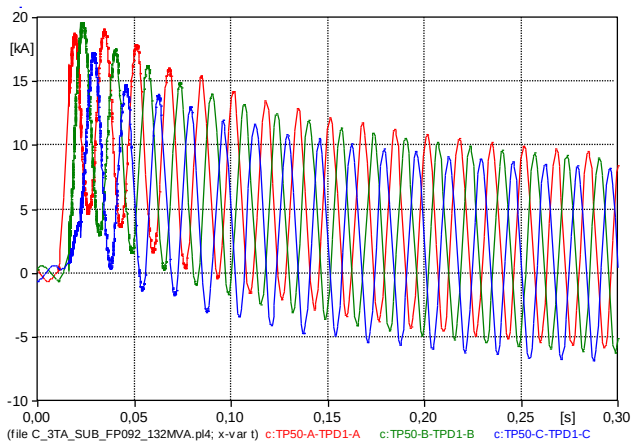


Corrente no disjuntor de 500 kV D3

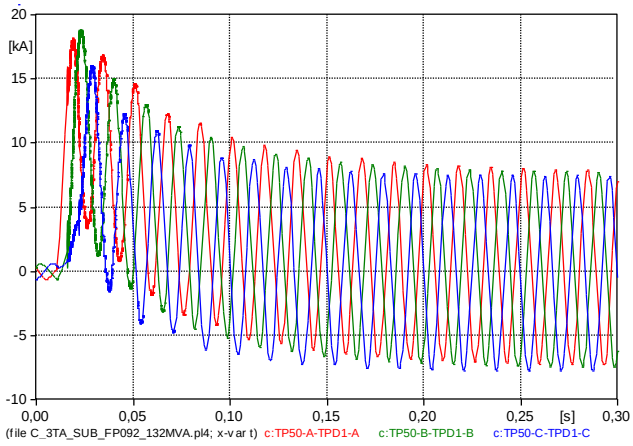
Gráfico 14 – Caso 10 Curto trifásico aterrado, no 500 kV, local 2, evolutivo, máquina 01 gerando 362 MW e com fator de potência 0,90, sobre-excitada, com todas as 5 máquinas representadas pelo modelo completo 59.
C_3TA_SOBRE_FP090_404MVA



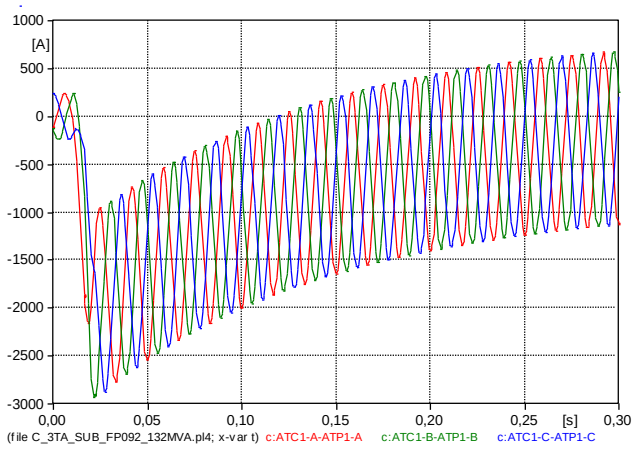
Corrente total de curto



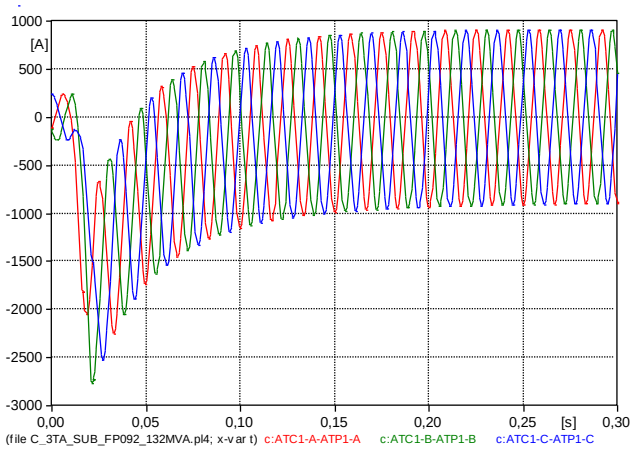
Corrente no disjuntor D3 - zero atrasado de 81,3ms



Corrente no disjuntor de 500 kV D3, com resistência de falta de 0,5 Ohms - zero atrasado em 46,8 ms

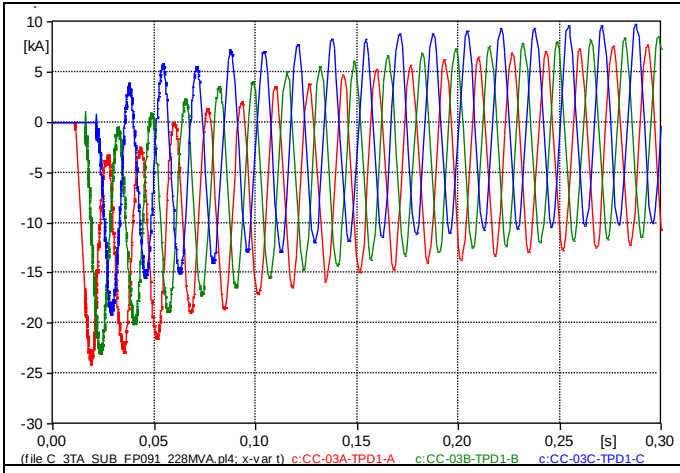


Corrente no disjuntor de 500 kV D1, máquina 01, modelo 59 (igual ao disjuntor D2) – zero atrasado de 116,4 ms

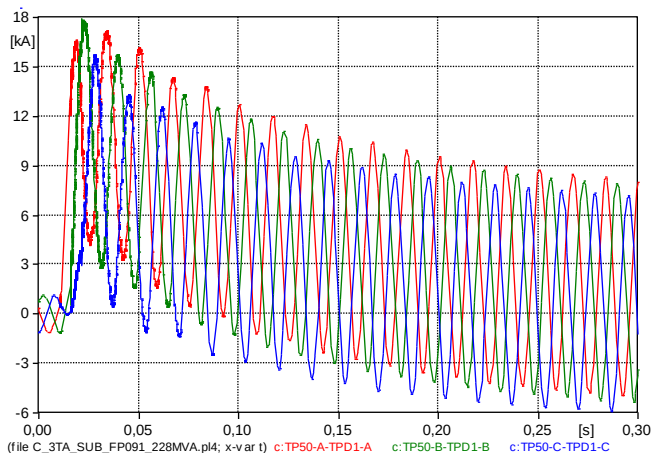


Corrente no disjuntor de 500 kV D1, com resistência de falta de 0,5 Ohms e resistência de retorno pela terra de 0,4 Ohms - zero atrasado em 37,2 ms

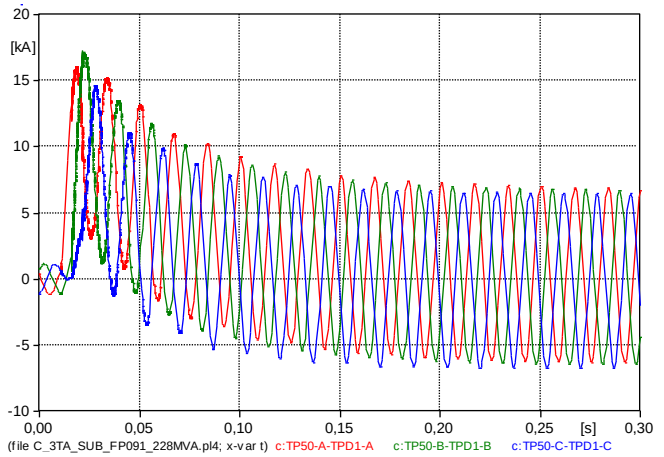
Gráfico 15 – Caso 11 Curto trifásico aterrado, no 500 kV, local 3, evolutivo, máquina 01 gerando 122 MW e com fator de potência 0,92, sub-excitada, com todas as 5 máquinas representadas pelo modelo completo 59.
C_3TA_SUB_FP092_132MVA



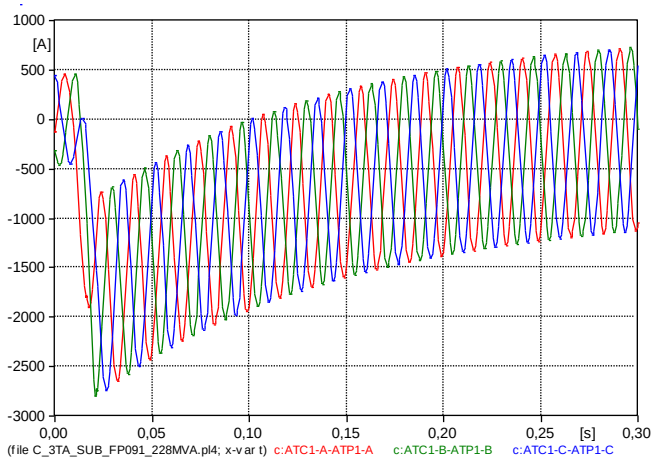
Corrente total de curto



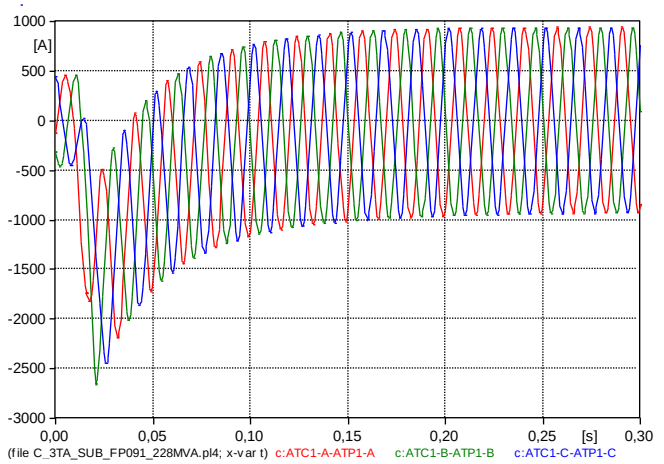
Corrente no disjuntor D3 - zero atrasado de 81,2ms



Corrente no disjuntor de 500 kV D3, com resistência de falta de 0,5 Ohms - zero atrasado em 46,5 ms

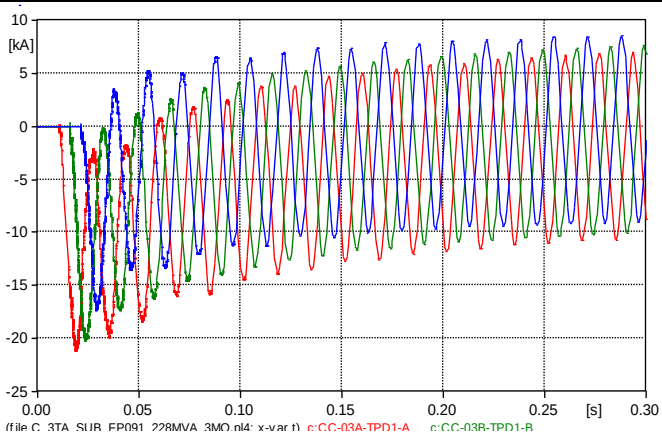


Corrente no disjuntor de 500 kV D1, máquina 01, modelo 59 (igual ao disjuntor D2) – zero atrasado de 98,6 ms

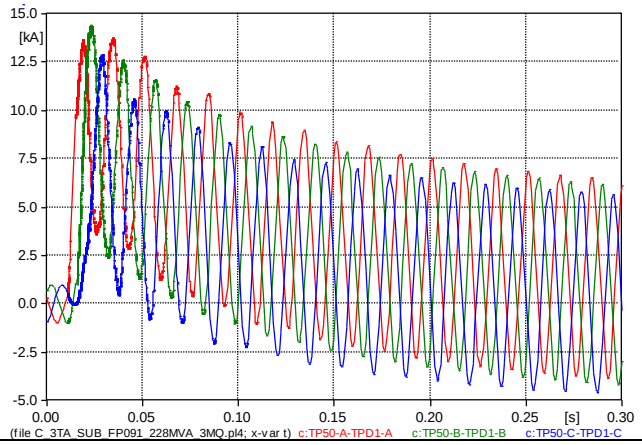


Corrente no disjuntor de 500 kV D1, com resistência de falta de 0,5 Ohms e resistência de retorno pela terra de 0,4 Ohms - zero atrasado em 36,2 ms

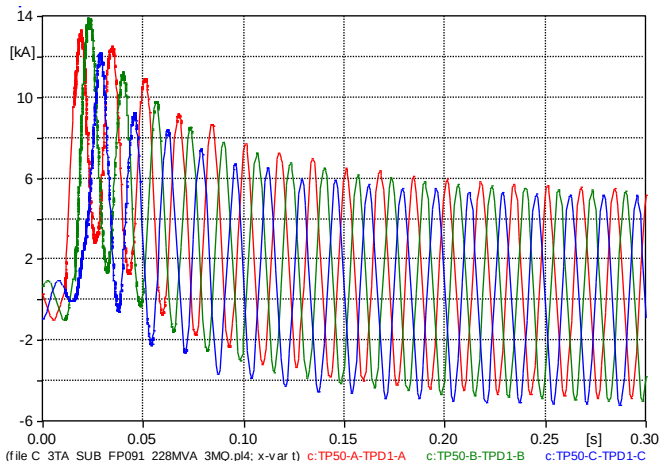
Gráfico 16 – Caso 12 Curto trifásico aterrado, no 500 kV, local 3, evolutivo, máquina 01 gerando 209 MW e com fator de potência 0,91, sub-excitada, com todas as 5 máquinas representadas pelo modelo completo 59.
C_3TA_SUB_FP091_228MVA



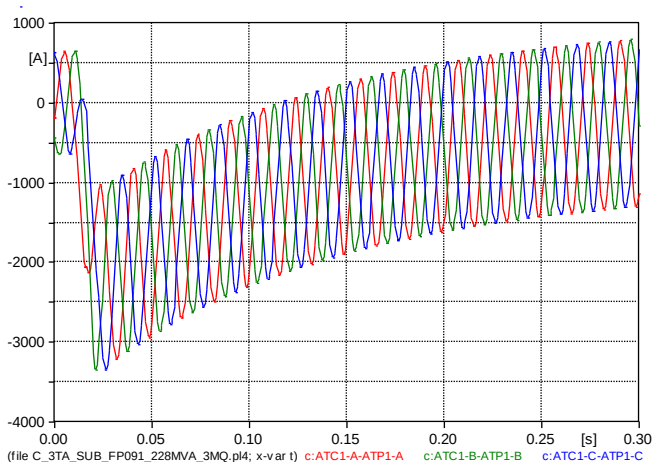
Corrente total de curto



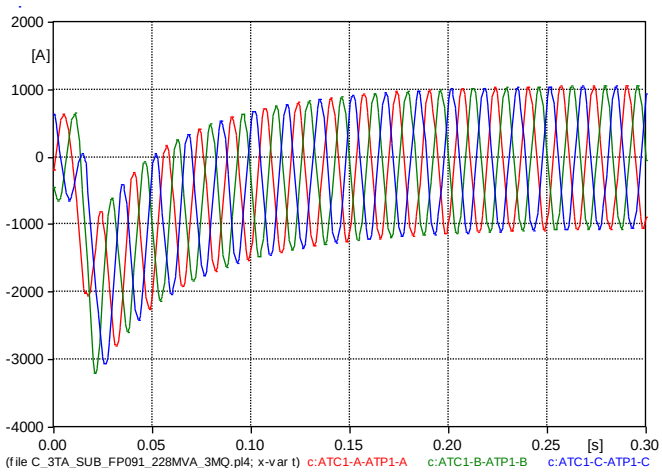
Corrente no disjuntor D3 - zero atrasado de 81,2ms



Corrente no disjuntor de 500 kV D3, com resistência de falta de 0,5 Ohms - zero atrasado em 47,3 ms

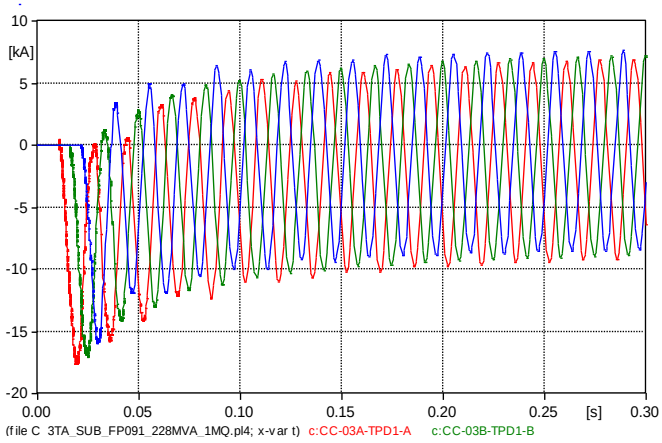


Corrente no disjuntor de 500 kV D1, máquina 01, modelo 59 (igual ao disjuntor D2) – zero atrasado de 114.66 ms

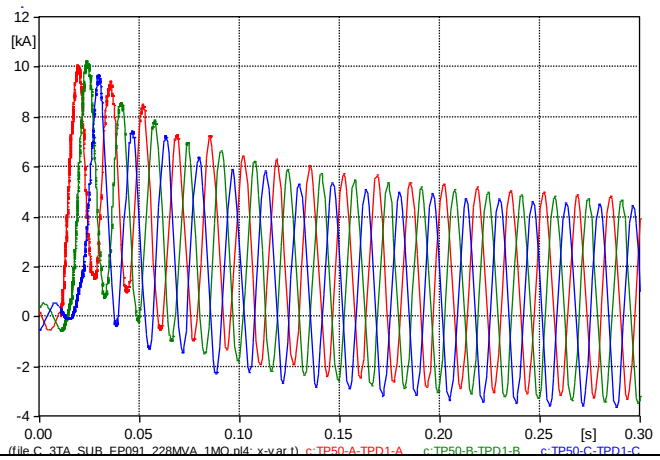


Corrente no disjuntor de 500 kV D1, com resistência de falta de 0,5 Ohms e resistência de retorno pela terra de 0,4 Ohms - zero atrasado em 44,6 ms

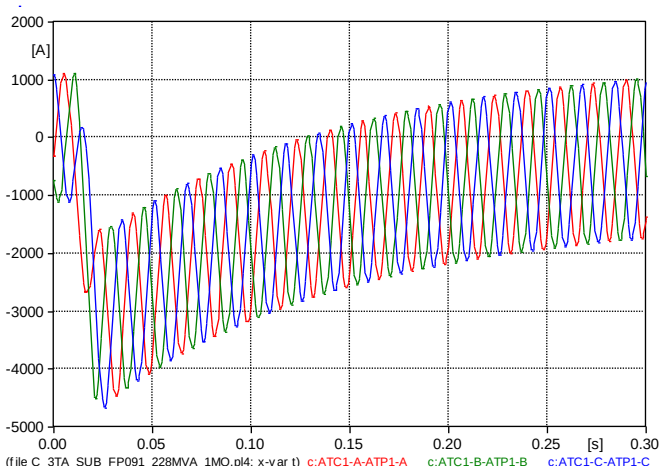
Gráfico 17 – Caso 12.1 Curto trifásico aterrado, no 500 kV, local 3, evolutivo, máquina 01 gerando 209 MW e com fator de potência 0,91, sub-excitada, com apenas 3 máquinas sincronizadas - representadas pelo modelo completo 59. C_3TA_SUB_FP091_228MVA



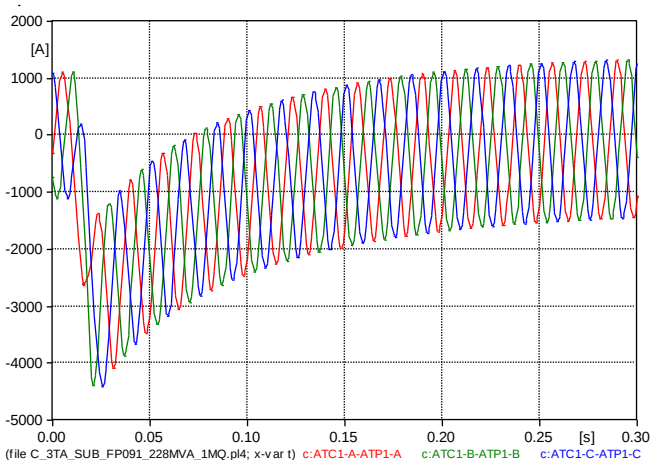
Corrente total de curto



Corrente no disjuntor D3 - zero atrasado de 48,3 ms

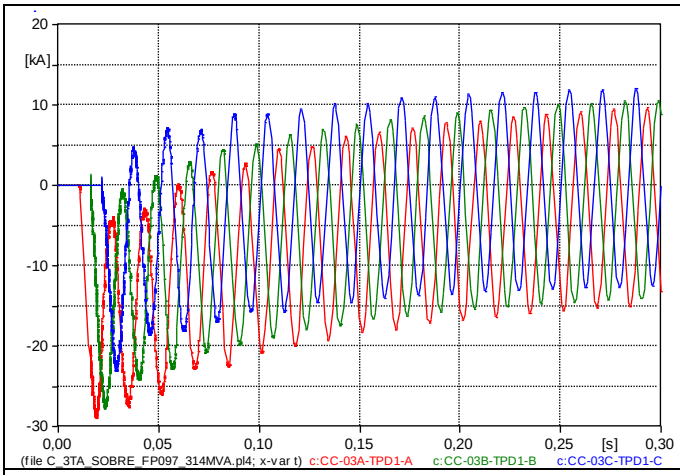


Corrente no disjuntor de 500 kV D1, máquina 01, modelo 59 – zero atrasado de 128,5 ms

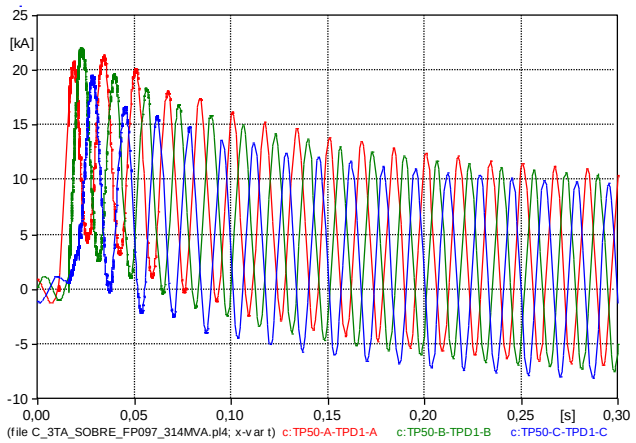


Corrente no disjuntor de 500 kV D1, com resistência de falta de 0,5 Ohms e resistência de retorno pela terra de 0,4 Ohms - zero atrasado em 66,6 ms

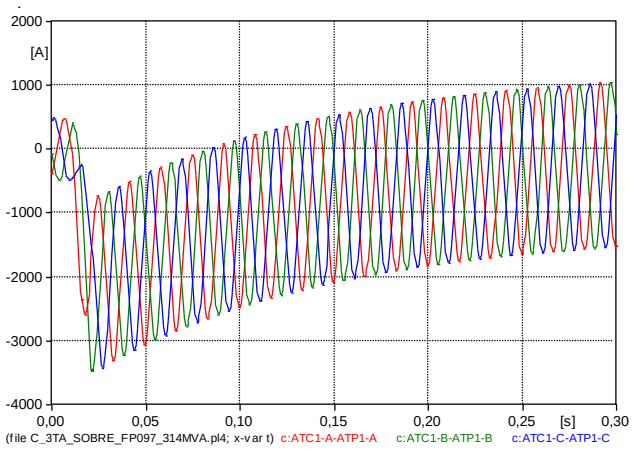
Gráfico 18 – Caso 12.2 Curto trifásico aterrado, no 500 kV, local 3, evolutivo, máquina 01 gerando 209 MW e com fator de potência 0,91, sub-excitada, com apenas 1 máquina sincronizada - representada pelo modelo completo 59.
C_3TA_SUB_FP091_228MVA



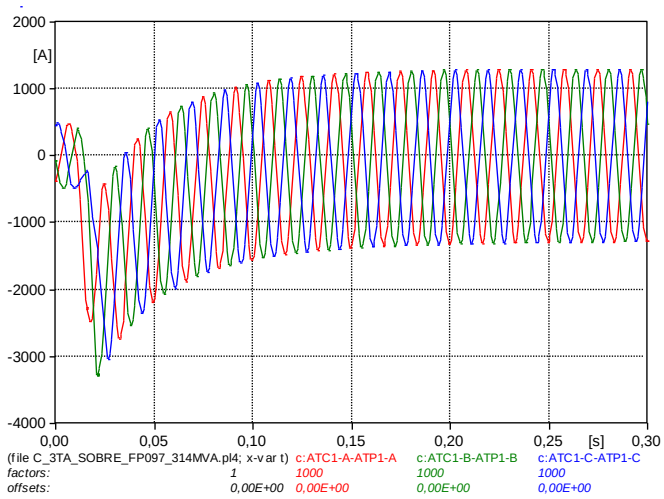
Corrente total de curto



Corrente no disjuntor D3 - zero atrasado de 53,4 ms

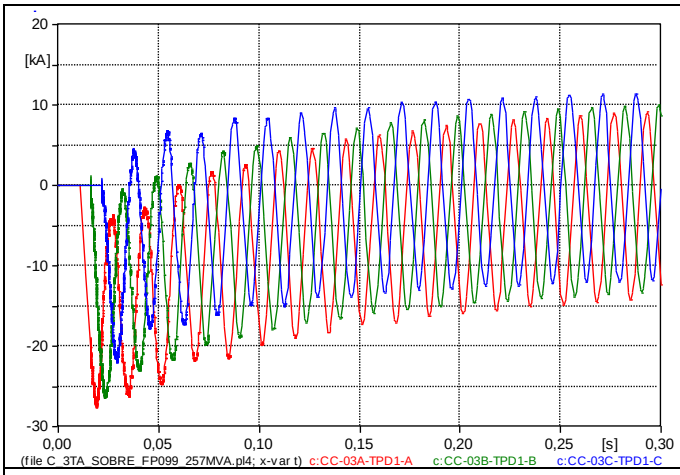


Corrente no disjuntor de 500 kV D1, máquina 01, modelo 59 (igual ao disjuntor D2) – zero atrasado de 95,7 ms

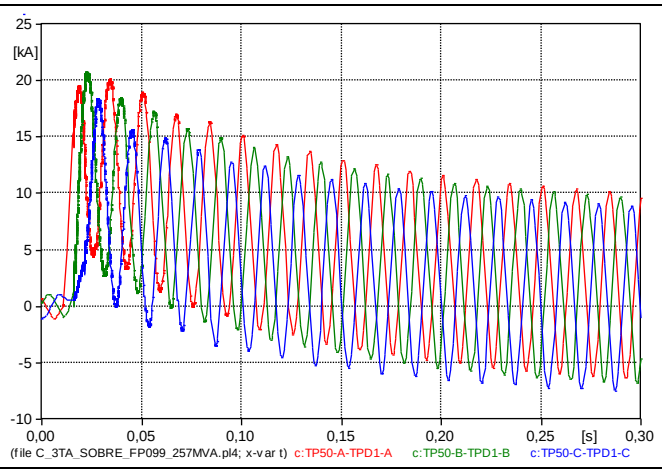


Corrente no disjuntor de 500 kV D1, com resistência de falta de 0,5 Ohms e resistência de retorno pela terra de 0,4 Ohms - zero atrasado em 44,6 ms

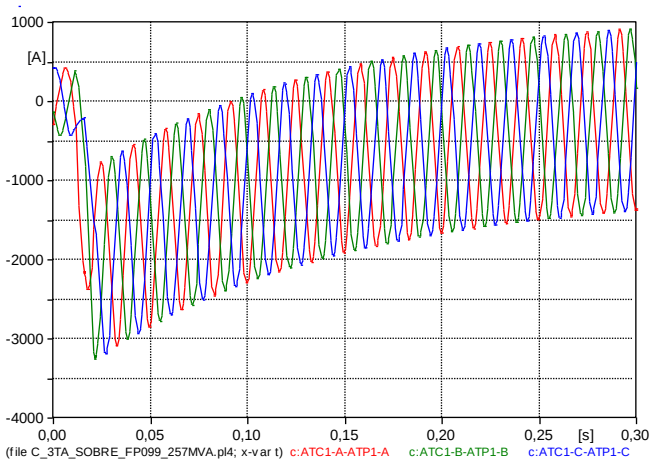
Gráfico 19 – Caso 13 Curto trifásico aterrado, no 500 kV, local 3, evolutivo, máquina 01 gerando 303 MW e com fator de potência 0,97, sobre-excitada, com todas as 5 máquinas representadas pelo modelo completo 59.
C_3TA_SOBRE_FP097_314MVA



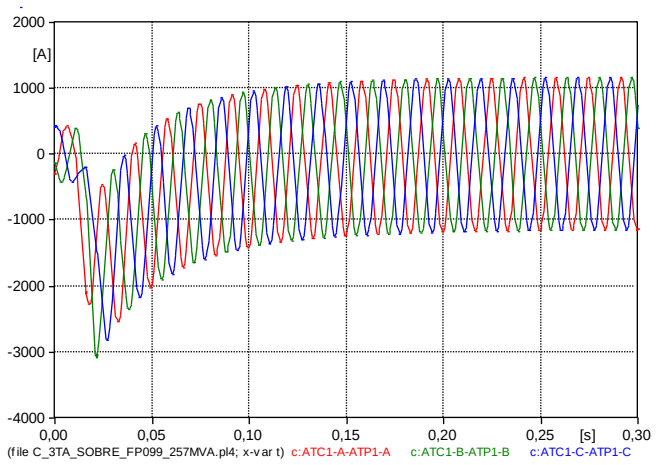
Corrente total de curto



Corrente no disjuntor D3 - zero atrasado de 65,1 ms

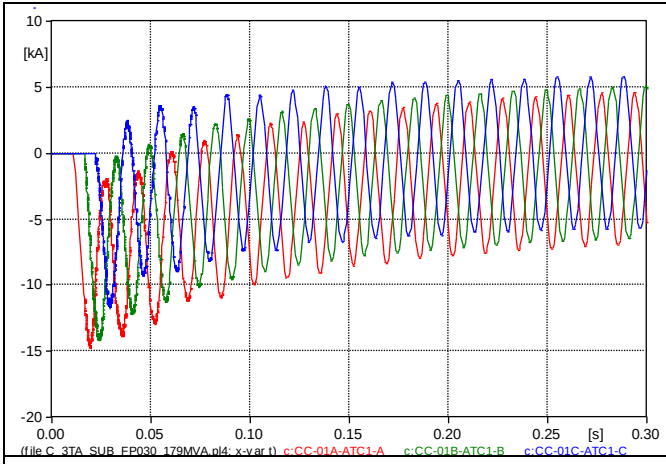


Corrente no disjuntor de 500 kV D1, máquina 01, modelo 59 (igual ao disjuntor D2) – zero atrasado de 88,19 ms

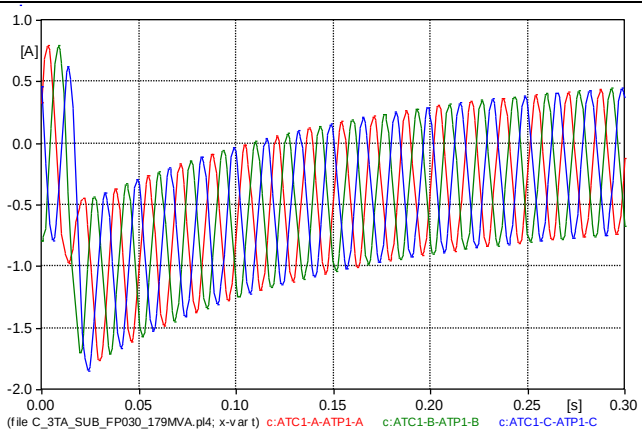


Corrente no disjuntor de 500 kV D1, com resistência de falta de 0,5 Ohms e resistência de retorno pela terra de 0,4 Ohms - zero atrasado em 36,8 ms

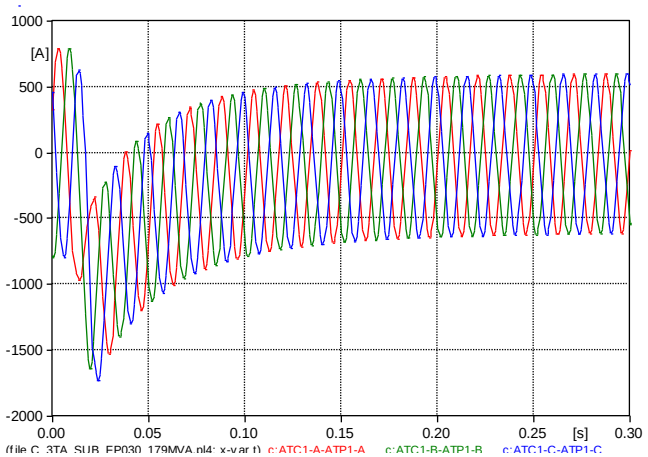
Gráfico 20 – Caso 14 Curto trifásico aterrado, no 500 kV, local 3, evolutivo, máquina 01 gerando 257 MW e com fator de potência 0,99, sobre-excitada, com todas as 5 máquinas representadas pelo modelo completo 59.
C_3TA_SOBRE_FP099_257MVA



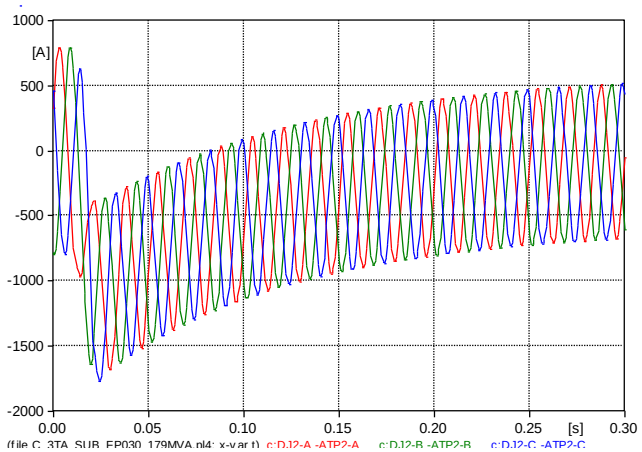
Corrente total de curto



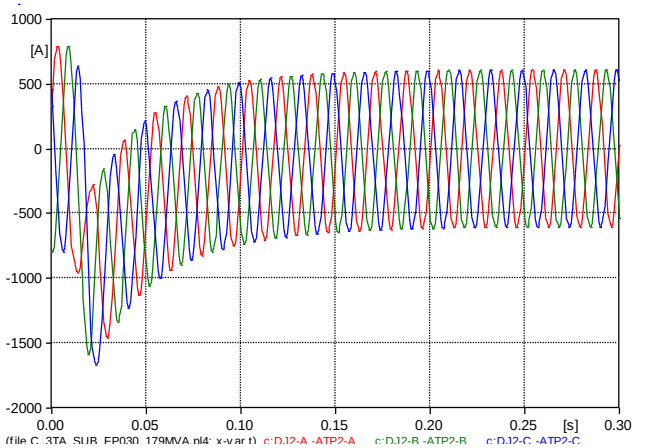
Corrente no disjuntor de 500 kV D1, máquina 01, modelo 59 – zero atrasado em 109 ms



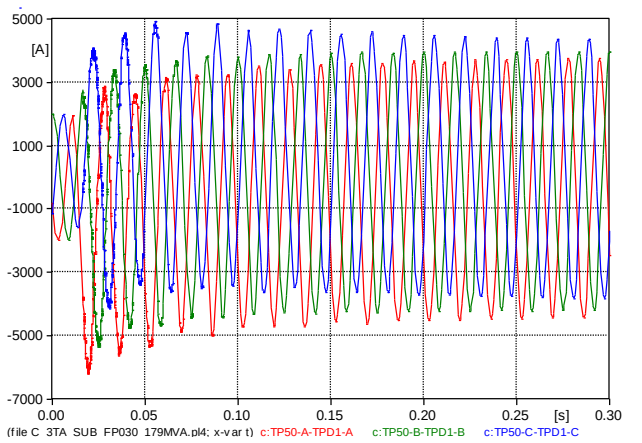
Corrente no disjuntor de 500 kV D1, com resistência de falta de 0,5 Ohms e resistência de retorno pela terra de 0,4 Ohms - zero atrasado em 36,6 ms



Corrente no disjuntor de 500 kV D2 - zero atrasado em 102ms

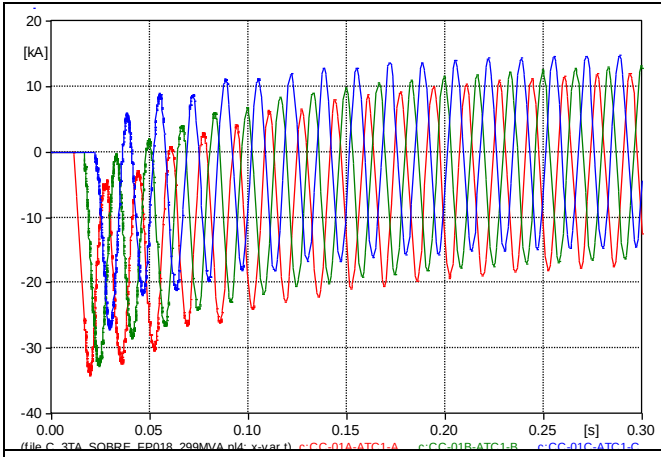


Corrente no disjuntor de 500 kV D2, com resistência de falta de 0,5 Ohms e resistência de retorno pela terra de 0,4 Ohms - zero atrasado em 30,07 ms

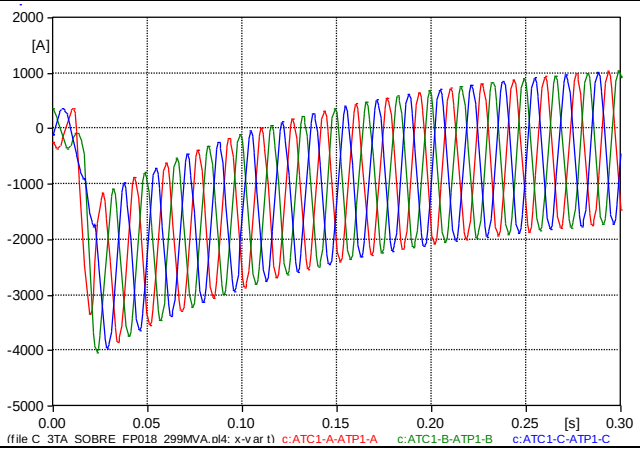


Corrente no disjuntor D3 - zero atrasado de 65,1 ms – não ocorre zero atrasado

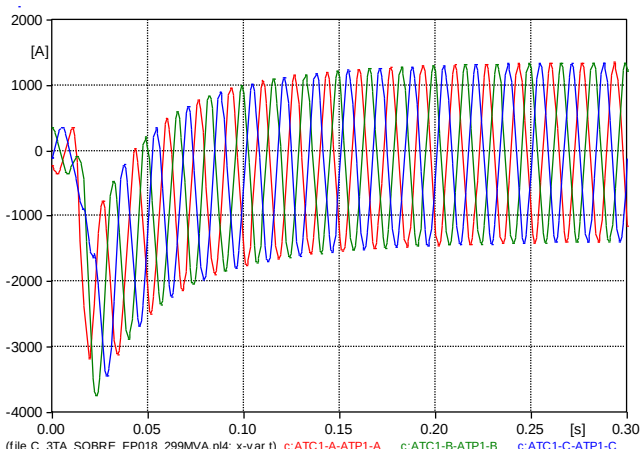
Gráfico 21 – Caso 15 Curto trifásico aterrado, no 500 kV, local 2 evolutivo, máquina 01 gerando 54 MW e com fator de potência 0,30, sub-excitada, com todas as 5 máquinas representadas pelo modelo completo 59.
C_3TA_SUB_FP030_179MVA



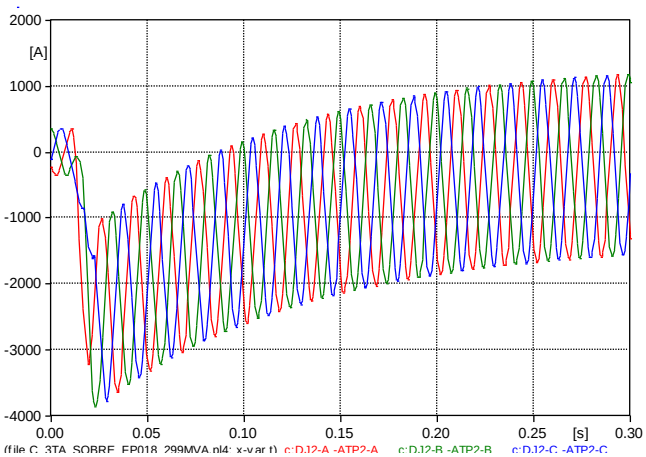
Corrente total de curto



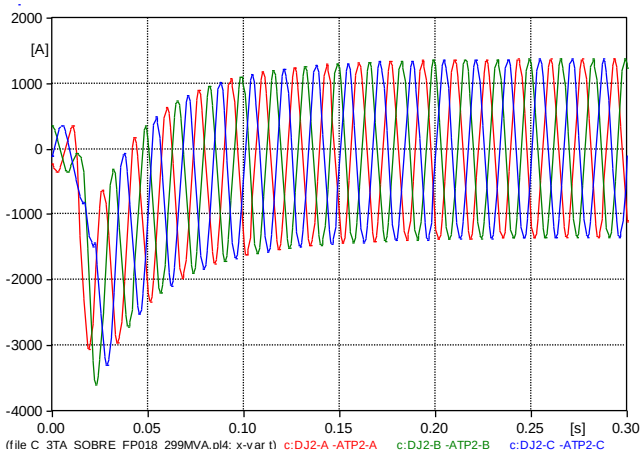
Corrente no disjuntor de 500 kV D1, máquina 01, modelo 59 – zero atrasado em 97,6 ms



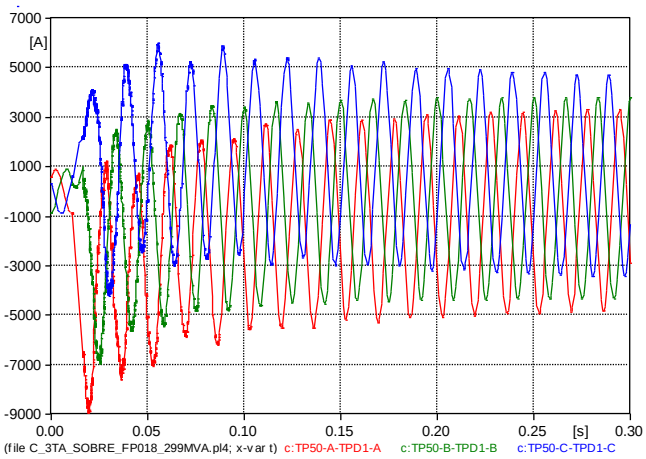
Corrente no disjuntor de 500 kV D1, com resistência de falta de 0,5 Ohms e resistência de retorno pela terra de 0,4 Ohms - zero atrasado em 29,9 ms



Corrente no disjuntor de 500 kV D2 - zero atrasado em 85.27ms

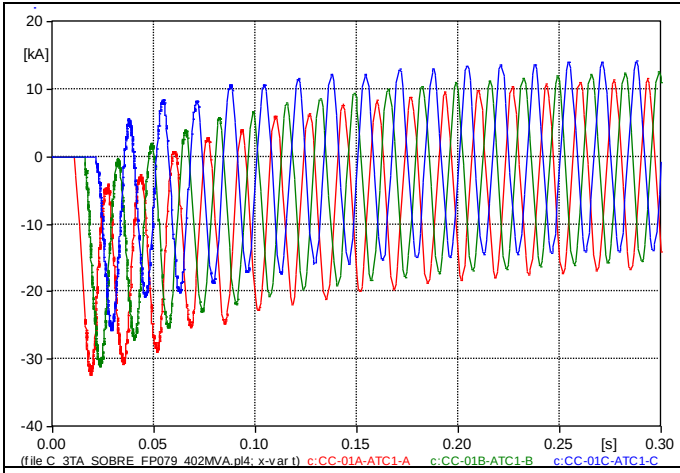


Corrente no disjuntor de 500 kV D2, com resistência de falta de 0,5 Ohms e resistência de retorno pela terra de 0,4 Ohms - zero atrasado em 39,6 ms

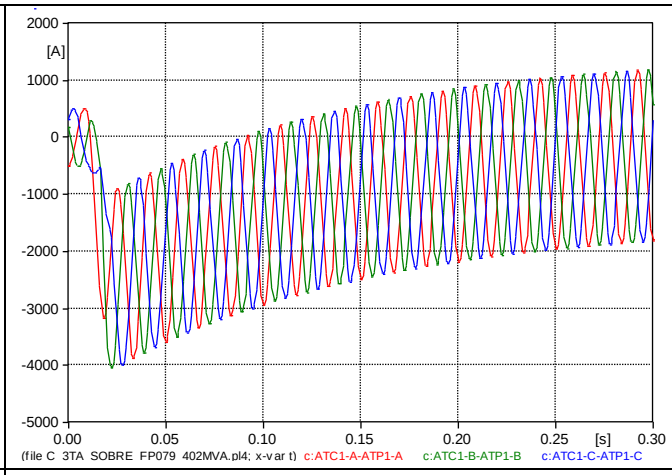


Corrente no disjuntor D3 - zero atrasado de 65,1 ms – não ocorre zero atrasado

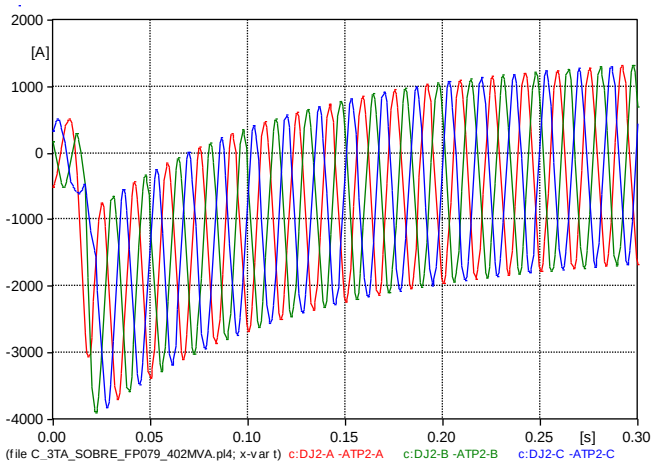
Gráfico 22 – Caso 16 Curto trifásico aterrado, no 500 kV, local 2,evolutivo, máquina 01 gerando 52 MW e com fator de potência 0,18, sobre-excitada, com todas as 5 máquinas representadas pelo modelo completo 59.
C_3TA_SOBRE_FP018_299MVA



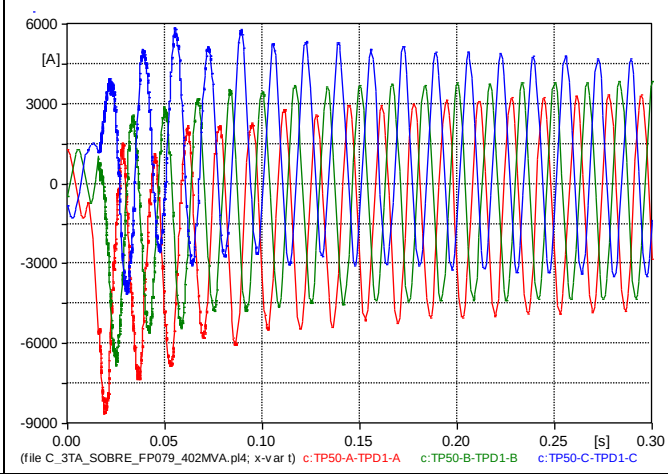
Corrente total de curto



Corrente no disjuntor de 500 kV D1, máquina 01, modelo 59 – zero atrasado de 80,2 ms

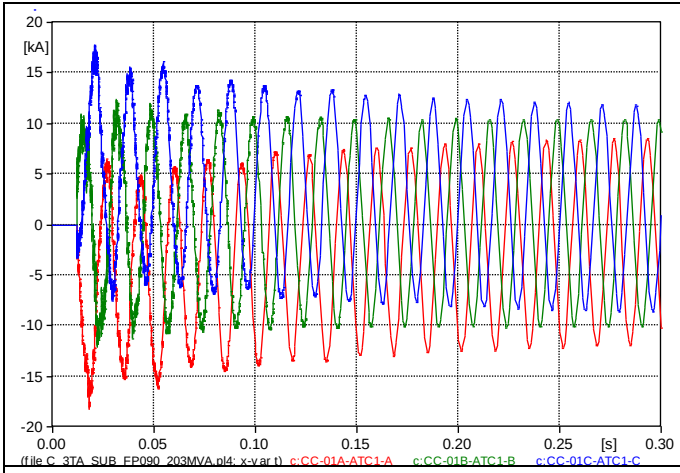


Corrente no disjuntor de 500 kV D2, máquina 01, modelo 59 – zero atrasado de 64,9ms

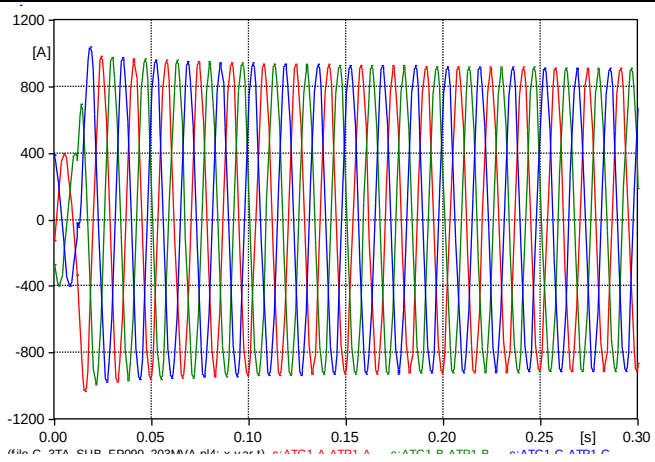


Corrente no disjuntor D3 - zero atrasado de 65,1 ms – não ocorre zero atrasado

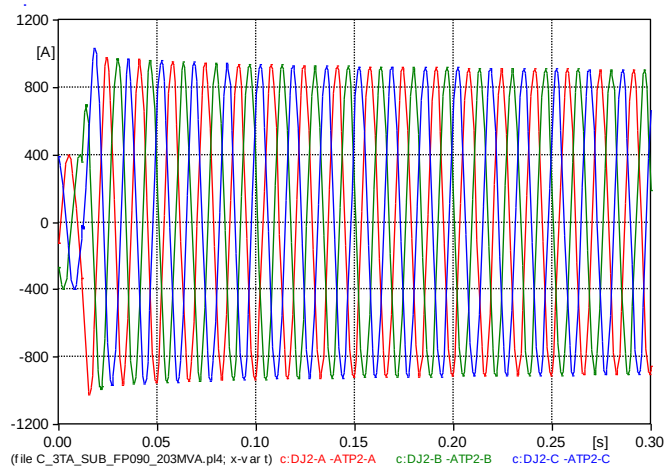
Gráfico 23 – Caso 17 Curto trifásico aterrado, no 500 kV, local 2, evolutivo, máquina 01 gerando 316 MW e com fator de potência 0,79, sobre-excitada, com todas as 5 máquinas representadas pelo modelo completo 59.
C_3TA_SOBRE_FP079_402MVA



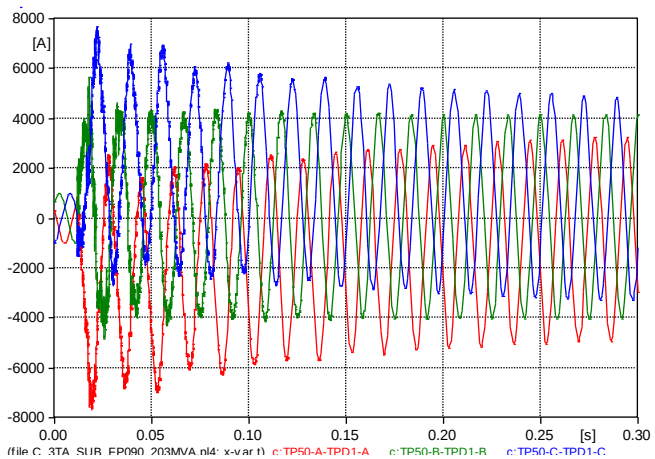
Corrente total de curto



Corrente no disjuntor de 500 kV D1

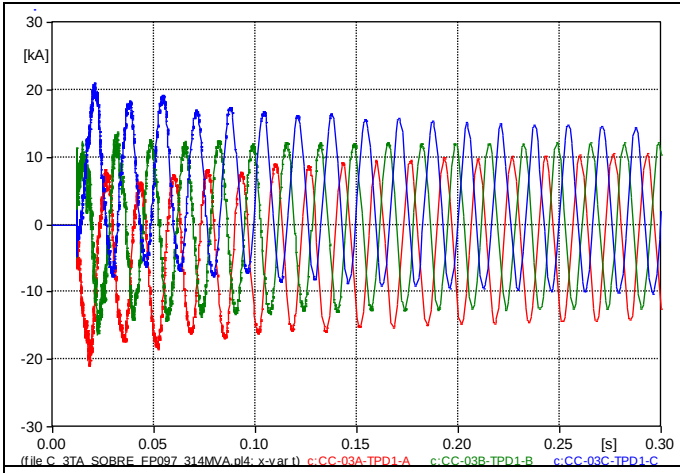


Corrente no disjuntor de 500 kV D2

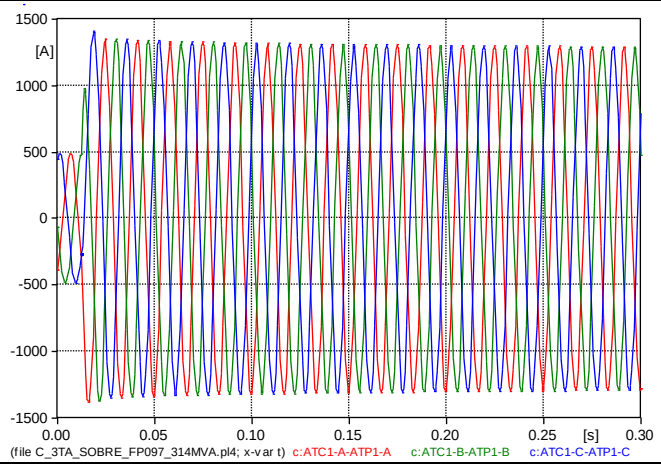


Corrente no disjuntor de 500 kV D3

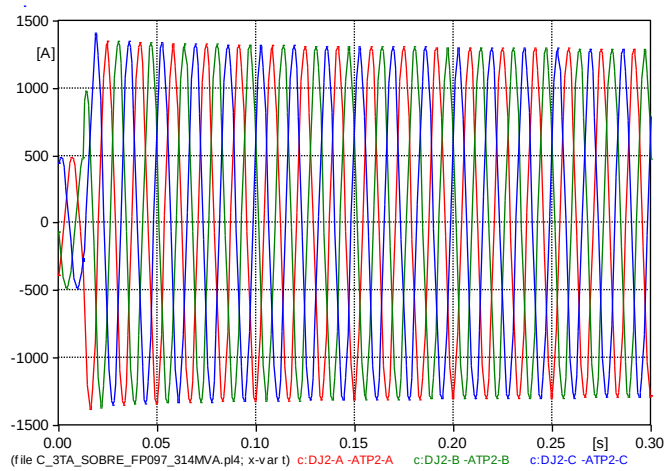
Gráfico 24 – Caso 18 Curto trifásico aterrado, no 500 kV, local 2, NÃO evolutivo, máquina 01 gerando 183 MW e com fator de potência 0,90, sub-excitada, com todas as 5 máquinas representadas pelo modelo completo 59.
C_3TA_SUB_FP090_203MVA



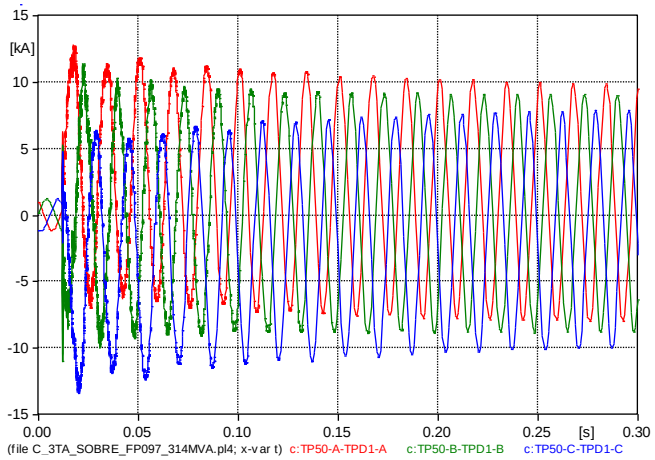
Corrente total de curto



Corrente no disjuntor de 500 kV D1



Corrente no disjuntor de 500 kV D2



Corrente no disjuntor de 500 kV D3

Gráfico 25 – Caso 19 Curto trifásico aterrado, no 500 kV, local 3, NÃO evolutivo, máquina 01 gerando 303 MW e com fator de potência 0,97, sobre-excitada, com todas as 5 máquinas representadas pelo modelo completo 59.
C_3TA_SOBRE_FP097_314MVA

5.2. Análise dos resultados de zeros atrasados

As condições operativas analisadas tiveram por objetivo a avaliação de ocorrência de zeros atrasados nas condições de operação da usina de Teles Pires, com fator de potência situado na faixa normalizada[9] para a operação do SIN e com todas as cinco máquinas da UTE sincronizadas. Foram exploradas algumas situações de fator de potência fora dessa faixa, no intuito de cobrir pontos extremos da curva de capacidade da máquina (casos 15 a 17). Também foram analisadas condições operativas variando o número de geradores sincronizados (casos 4, 4.1, 4.2, 7.1, 7.2, 7.3, 12, 12.1 e 12.2).

As análises se dedicaram a explorar os zeros atrasados para as condições de operação elencadas na Tabela 5.1-1 e para as posições de defeitos identificadas como mais críticas para a topologia de rede simulada (Figura 4-1).

Ao se considerar as resistências de falta, o decaimento da componente contínua da corrente de defeito é notadamente acelerado. A inserção de resistência[10] de 0,5 ohms como impedância para as faltas mais críticas em termo de zero atrasado, no nível de tensão de 500 kV, leva à redução da ausência de zeros da corrente de defeito passante nos disjuntores (casos 5, 6, 7, 9 e 11.1).

Para os casos com maiores solicitações de zero atrasado foi analisada também a inserção de resistência de retorno pela terra da corrente de curto, ainda que a inclusão da resistência do arco da falta tenha reduzido os valores de zero atrasado abaixo de 100 ms. Para os casos 7.1, 7.2, 7.3, 7.4, 9.1 e 11.2, 13, 15, e 16 foi utilizada uma resistência de retorno de 0,4 ohms e de 1,0 ohm para o caso 7.4. Nestas situações, a menos do caso 7.4, os tempos de zeros atrasados se reduzem a valores inferiores a 50 ms, faixas passíveis de interrupção por disjuntores de alta tensão. Tal consideração foi avaliada visto que faltas trifásicas em linhas estabelecem-se através da torre (descarga das três fases para a torre) ou do solo (queda das três fases à terra). Desta forma, é realista considerar-se as impedâncias de terra, por onde se estabelece a corrente de retorno nos períodos em que a falta evolutiva está desequilibrada. Como as resistências de pé de torre ou de retorno pela terra são da ordem de 10 a 20 vezes superiores aos valores considerados nesses casos, pode-se concluir que na prática não haverá problemas de interrupção de zeros atrasados para falta no lado de alta dos transformadores da UTE Teles Pires, bem como para faltas nas saídas de linhas de transmissão.

9 Para máquinas hidráulicas e térmicas acima de 10 MW o Submódulo 3.6 dos Procedimentos de Rede do ONS exige que em operação na potência ativa nominal a faixa de fator de potência da máquina seja de 0,95 sub-excitado a 0,90 sobre-excitado. Esta exigência está em conformidade com a definição dada no art. 2º, da Resolução ANEEL nº 407/2000.

10 Para o nível de 500 kV, assumindo um arco de falta de 6,5 m para curto trifásico na saída de linha com apenas uma máquina gerando (situação de maximização dos zeros atrasados), a corrente total de curto poder ser da ordem de 20 kA - a correspondente resistência de falta é de 0,5 ohm.

6. REFERÊNCIAS

[1] Maia, M. J. A. et alli - Interrupção com Zero Atrasado nos Disjuntores de 550 kV na Usina Hidroelétrica de Xingó. VI ERLAC - CE 13 - Equipamentos de Manobra, Foz do Iguaçu, 1995.

[2] Jorge Amon Filho - Impacto da Interligação Norte - Sul no Cálculo das Correntes de Curto-Circuito com Zeros Atrasados Para os Disjuntores de 500 kV da Usina de Serra da Mesa.

[3] Carvalho, A. C. e outros autores, Disjuntores e Chaves: Aplicações em Sistemas de Potência livro organizado pelo CIGRE/FURNAS e editado pela UFF/EDUFF, 1995.

[4] Zanetta, Luiz Cera, Transitórios eletromagnéticos em sistemas de potência, EDUSP, 2003

[5] Warrington, Protective Relays Their Theory and Practice, Springer, 3 edition (January 1, 2001)

[6] EPE, EPE-DEE-RE-089/2011-r1 Análise do sistema de integração dos aproveitamentos hidrelétricos da bacia do rio Teles Pires e reforços no SIN R2, 2011.

[7] Alternative Transients Program (ATP) - Rule Book, Canadian/American EMTP User Group, 1987-1998.

[8] Stron, A. P., Long 60 Cycles Arcs in Air, Transaction of the AIEE, vol. 65, pp.113-117, 1946.

[9] IEEE, Standard for AC High-Voltage Generator Circuit Breakers Rated on Symmetrical Current Basis, Norma IEEE Std C37.013-1997.

[10] Mazza, G. , Michaca, R., First international inquiry on high voltage circuit breaker failures and defects in service, ELECTRA no. 79, pp. 21-91, December/1981.

[11] CIGRE WG 13.06, Final report on the second international inquiry on high voltage circuit breaker failures and defects in service, CIGRE Brochure nº. 083, June 1994.

[12] CIGRE WG 23.02, Report on the second international survey on high voltage gas insulated substation (GIS): service experience, CIGRE Brochure nº. 150, February, 2000.

Farfilho
Comércio e Representações Ltda.

VOITH

ANEXO 1 – Dados Complementares

1) Parâmetros elétricos dos geradores da UHE Teles Pires

VOITH	Folha de dados elétricos	Voith Hydro
Número do documento :	0115-00922902 B	Página 1

Cliente	Hidrelétrica Teles Pires		
Identificação do cliente	U.H.E. TELES PIRES		
Tipo de máquina	Gerador síncrono de polos salientes		
Modelo	1DH 8953-3WF48-Z		
Tipo de acionamento	Turbina	Francis	
Número de série	SP 11 XXXXXX 01 a 05		
Potência nominal	404450	kVA	
Potência máxima	não aplicável		
Tensão nominal	13800	V	
Faixa de operação da tensão	± 5	%	
Corrente nominal	16921	A	
Freqüência nominal	60	Hz	
Fator de Potência nominal	0,9		
Fator de serviço	1,0		
Número de fases	3		
Número de pólos	96		
Rotação síncrona	75	rpm	
Rotação de disparo	155	rpm	
Regime de funcionamento	S1		
Classe de isolação	Estator :	F	
	Rotor :	F	
Elevação de temperatura para potência, tensão, fator de pot.	Estator :	83	K
e frequencia nominal (acima da temp. do ar frio de 40 o C)	Rotor :	90	K
Temperatura máxima da água de refrigeração	30	℃	
Efeito de inércia (GD2) do gerador	161000	tm2	
Forma construtiva	IM 8015 (W1)		

Executado por	Conferido por	Aprovado por	Data
mke	chal	ejf	06- Jan 12

Farfilho
Comércio e Representações Ltda.

VOITH

VOITH	Folha de dados elétricos	Voith Hydro
Número do documento :	0115-00922902 B	Página 2

Temperatura ambiente máxima	40	˚C			
Altitude máxima	164	m			
Corrente de excitação nominal	2428	A			
Corrente de excitação em vazio	1399	A			
Tensão de excitação nominal	511	V	@	130	˚C
Tipo de excitação	Excitação estática				
Rendimento e perdas para cargas parciais :	100%	75%	50%		
Rendimento com tensão e fator de potência nominais (%)	98,51	98,43	98,12		

Os rendimentos acima são garantidos com as condições a seguir:

1) Com frequencia, tensão e fator de potência nominais.

2) Temperatura de referência de 95°C para as perda s ôhmicas (I2R).

3) Somente as perdas do mancal guia superior estão inclusas no cálculo de rendimento.

4) Sem tolerancia nas perdas.

Potência contínua quando carregando uma linha de transmissão à freqüência e tensão nominais e fator de potência nulo, com corrente de campo igual a 10 % da corrente de campo em vazio, sem exceder os limites de temperatura para potência nominal	363,9	MVAr
Potência contínua sobreexcitado à freqüência e tensão nominais e fator de potência nulo, sem exceder os limites de temperatura para potência nominal	261,2	MVAr

Executado por	Conferido por	Aprovado por	Data
mke	chal	ejf	06- Jan 12

Farfilho
Comércio e Representações Ltda.

VOITH

VOITH	Folha de dados elétricos	Voith Hydro
Número do documento :	0115-00922902 B	Página 3

Reatâncias	Não saturada	Saturada
X d	1,00	0,90
X 'd	0,38	0,33
X "d	0,32	0,22
X q	0,72	
X 'q	0,72	
X "q	0,30	
X 2	0,31	
X 0	0,10	
Ik0 / In	1,12	

Constantes de tempo		
T ' do	5,77	s
T ' d	2,17	s
T " d	0,04	s
T " do	0,05	s
T " q	0,04	s
T " qo	0,10	s
T a	0,28	s
Porcentagem da corrente de seqüência negativa (I_2) / In	0,08	

Fator de influencia telefonica equilibrada	50
Fator de influencia telefonica residual	30
Fator de desvio de forma de onda, entre fases, a cicuito aberto, a tensão e frequencia nominal	10%
Requisitos de curto circuito, de acordo com IEC60034-1. Suportabilidade ao curto circuito com potencia nominal, 105% da tensão e excitação constante	20 s

Executado por	Conferido por	Aprovado por	Data
mke	chal	ejf	06- Jan 12

Farfilho
Comércio e Representações Ltda.

VOITH

VOITH	Folha de dados elétricos	Voith Hydro
Número do documento :	0115-00922902 B	Página 4

Resistência ôhmica do enrolamento do estator por fase	1,0633	mΩ	@	20	˚C
Resistência ôhmica do enrolamento do rotor	146,92	mΩ	@	20	˚C
Tipo de ligação do enrolamento do estator	Y				
Capacitância do enrolamento do estator para terra	2,26	µF	por fase		

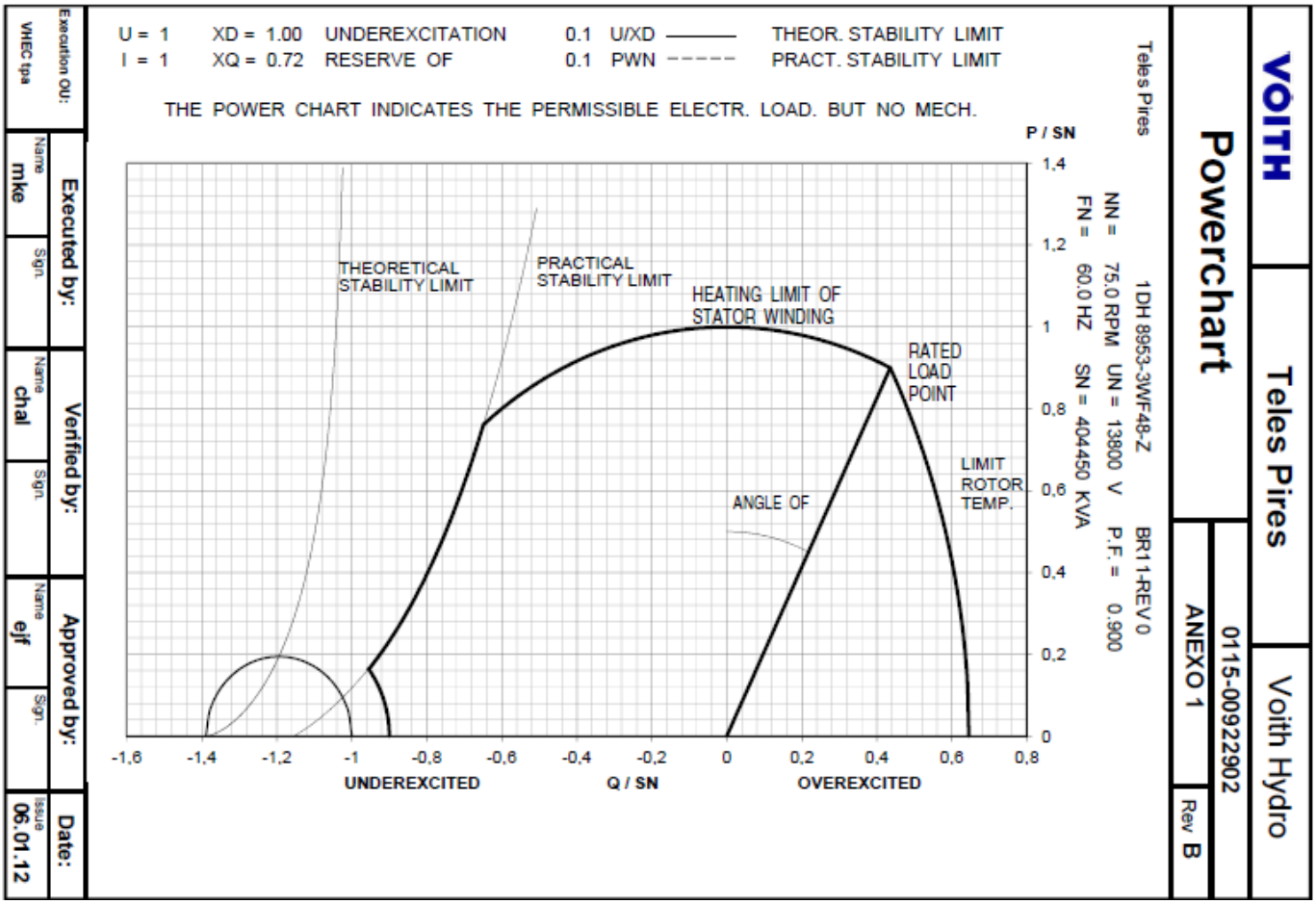
Anexos:

Diagrama de capabilidade	0115-00922902	(ANEXO 1)
Curva característica em vazio e curto circuito	0115-00922902	(ANEXO 2)
Curvas V	0115-00922902	(ANEXO 3)

Normas IEC / VDE

Executado por	Conferido por	Aprovado por	Data
mke	chal	ejf	06- Jan 12

2) Curva de Capacidade das maquinas da UHE Teles Pires



3) Parâmetros elétricos dos transformadores da UHE Teles Pires

1 Dados Técnicos Principais

1.1 Normas / Especificação técnica do cliente

- ABNT, NBR 5356: 2007
- Escopo de Fornecimento Transformador Elevador 243/324/405 MVA

1.2 Tipo de equipamento

- Transformador elevador
- Trifásico
- Núcleo envolvido

1.3 Relação de tensão

- Alta tensão (H): 525 kV ± 2 x 2,5% (CDST)
- Baixa tensão (X): 13,8 kV

1.4 Grupo de ligação (equipamento / banco)

- Polaridade subtrativa / YNd1
- AT: Estrela com neutro solidamente aterrado
- BT: Triângulo

1.5 Potência

Potência nominal [MVA]	ONAN	ONAF 1	ONAF 2
Alta tensão (H)	243	324	405
Baixa tensão (X)	243	324	405

1.6 Sistema de refrigeração e elevação de temperatura

Elevação de temperatura [° C]	ONAN	ONAF 1	ONAF 2
Óleo máximo (*top oil*)	65	65	65
Enrol. médio	65	65	65
Enrol. máximo (*hot spot*)	80	80	80

1.7 Condições de sobrecarga

- Conforme ABNT NBR 5416

1.8 Nível de isolação

Nível de isolação [kV]		Terminal		
		H1,H2,H3	H0	X1,X2,X3
Impulso atmosférico	Onda plena	1550	110	110
	Onda cortada	1705	-	121
Impulso de manobra		1175	-	-
Tensão induzida de longa duração (1min/1h)		540/477	-	25/22
Tensão aplicada		34	34	34

1.9 Impedância

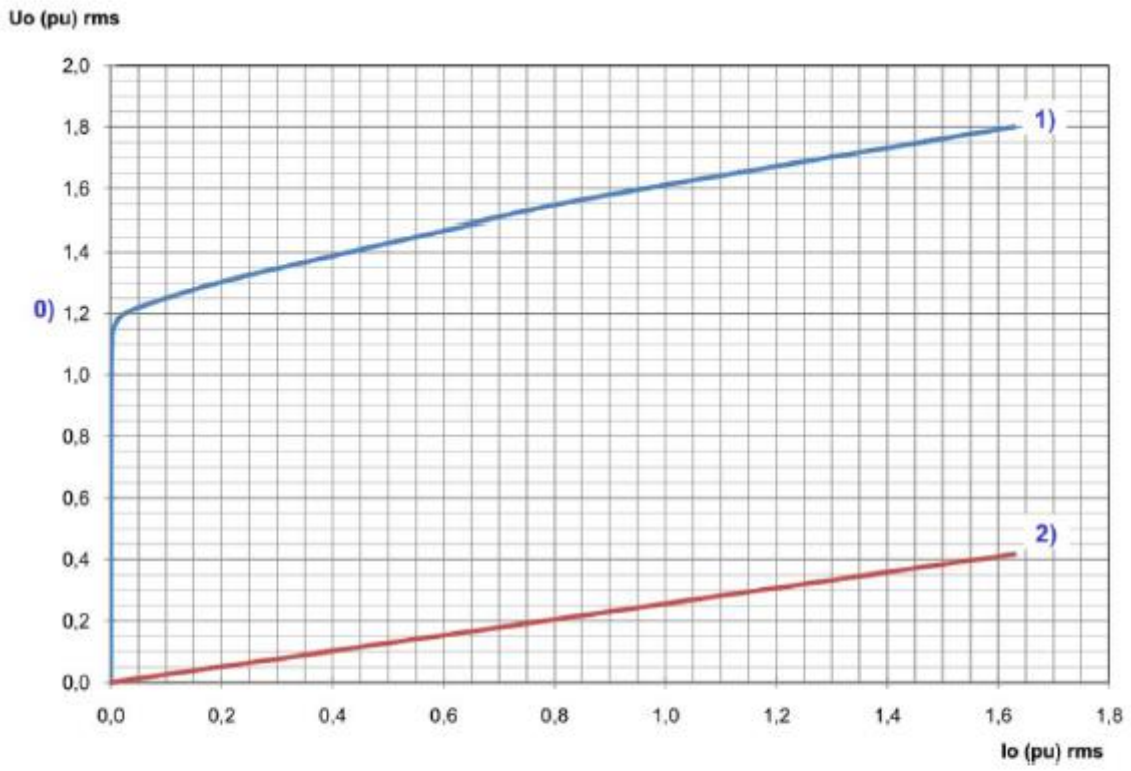
Potência base [MVA]	Tensão base [kV]	Impedância à 85 °C [%]			
		Sequência positiva		Sequência zero	
		Calculado	Garantido [1]	Calculado	Garantido
405	551,25 / 13,8	14,38	-	14,38	-
405	538,125 / 13,8	14,37	-	14,37	-
405	525 / 13,8	14,40	14,00	14,40	-
405	511,875 / 13,8	14,47	-	14,47	-
405	498,75 / 13,8	14,60	-	14,60	-

[1] Tolerâncias de ± 7,5% conforme item 10 – Tabela 2 da ABNT NBR 5356-2007, para transformadores de dois enrolamentos.

1.10 Resistência dos enrolamentos

Enrolamento	Tensão base [kV]	Resistência à 20 / 85 °C [mΩ] [1]
Alta tensão (H)	551,25	772,4 / 969,7
Baixa tensão (X)	13,8	1,1 / 1,4

[1] Valores aproximados (informativo).



U_0 – Tensão de excitação (p.u.)
I_0 – Corrente de excitação (p.u.)

0) Joelho da curva de saturação = 1,20 pu (aprox.)
1) Curva de saturação do núcleo (valor rms em pu)
2) Curva da reatância de núcleo de ar (X_{ACR}) = 25,6 % (aprox.)

Notas:

- Valores aproximados
- Referidos ao lado AT - 525 kV, Base 405 MVA – 60Hz