



Universidade Federal de Uberlândia
Faculdade de Engenharia Elétrica
Graduação em Engenharia Elétrica

LUIZ GUSTAVO BORZANI ABDALLA

**ESTUDO DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS –
ENERGIZAÇÃO DO TERCEIRO AUTOTRANSFORMADOR DA
SUBESTAÇÃO CAMPO GRANDE 2**

Uberlândia
2018

LUIZ GUSTAVO BORZANI ABDALLA

**ESTUDO DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS –
ENERGIZAÇÃO DO TERCEIRO AUTOTRANSFORMADOR DA
SUBESTAÇÃO CAMPO GRANDE 2**

Trabalho apresentado como requisito parcial de avaliação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia.

Orientador: Isaque Nogueira Gondim

Assinatura do Orientador

Uberlândia
2018

LUIZ GUSTAVO BORZANI ABDALLA

**ESTUDO DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS –
ENERGIZAÇÃO DO TERCEIRO AUTOTRANSFORMADOR DA
SUBESTAÇÃO CAMPO GRANDE 2**

Trabalho apresentado como requisito parcial de avaliação
na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso do Curso
de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de
Uberlândia.

Banca examinadora

Prof. Me. Fernando Bento Silva

Prof. Dr. Paulo Henrique Oliveira Rezende

Prof. Dr. Isaque Nogueira Gondim

Uberlândia
2018

Dedico esse trabalho ao meu pai Camilo e a minha mãe Denise por toda a dedicação na formação do meu caráter e dos meus valores e por abrirem mão de vários sonhos para que, não só financeiramente, pudessem contribuir para a minha formação acadêmica.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter guiado todo o meu caminho até então.

Aos meus avós pelo exemplo de vida. Em especial à minha avó Yone, a que mais convivi em vida e que, se não fosse ela, boa parte deste meu sonho não seria possível.

Aos meus pais pelo carinho, dedicação e compreensão.

Ao meu irmão Luiz Felipe pelo companheirismo e conversas.

Aos meus tios, tias, primos e primas que me ajudaram a trilhar esse caminho.

A todos da Faculdade de Engenharia Química da UFU, professores e amigos que me ajudaram durante o tempo em que cursei Engenharia Química.

Aos professores da Faculdade de Engenharia Elétrica da UFU por terem colaborado com a minha graduação com todos os ensinamentos e sabedoria. Em especial ao professor Isaque pela orientação desse trabalho.

Aos amigos que fiz na Faculdade de Engenharia Elétrica, por todas as ajudas, discussões e contribuições na minha graduação.

Ao Diretório Acadêmico da Faculdade de Engenharia Elétrica, ao qual participei como parte de gestão e como colaborador. Onde passei boa parte da minha graduação aprendendo, lidando com problemas e fazendo vários amigos que levarei para toda a vida.

Ao meu amigo de apartamento João Gabriel pelas ajudas e parceria.

À Dona Nilcéa, síndica do prédio que morei por quase todos esses anos de graduação, por todo o carinho e atenção que teve comigo.

RESUMO

Esse estudo determinará as correntes de *inrush* e as sobretensões transitórias oriundas da energização do terceiro autotransformador da subestação Campo Grande 2, considerando a presença e a ausência dos outros autotransformadores presentes nessa mesma subestação. Devido à complexidade da metodologia para o estudo da energização dos transformadores, as simulações necessárias serão feitas através do programa computacional ATP (*Alternative Transients Program*) de acordo com as especificações do ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico).

Palavras-chave: *inrush*, sobretensões, transitórios, ATP, autotransformador.

ABSTRACT

This study will determine the inrush currents and transient overvoltages originated by the third autotransformer's energization at the substation Campo Grande 2, observing others autotransformers's presence and absence operating in the same substation. Due to the complexity of the methodology for the transformer's energization study, the necessary simulations will be done through the ATP software (Alternative Transients Program), according with ONS's specification (ONS – National Electric System Operator).

Keywords: inrush, overvoltages, transients, ATP, autotransformer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Exemplo de um surto de tensão.	14
Figura 1.2 - Corrente de <i>inrush</i>	15
Figura 1.3 - Diagrama do fragmento do sistema elétrico.	17
Figura 2.1 - Curva de histerese por fase do autotransformador.	24
Figura 3.1 - Componente usado nas linhas.	25
Figura 3.2 - Fonte em série com a impedância.	26
Figura 3.3 - Componente utilizado para a impedância.	26
Figura 3.4 - Componente para os transformadores.	27
Figura 3.5 Autotransformadores de Campo Grande 2.	28
Figura 3.6 - Pontos da curva de saturação inseridos.	28
Figura 3.7 - Arranjo das chaves.	29
Figura 3.8 - Configuração das chaves.	30
Figura 3.9 - Configuração para o estudo estatístico.	30
Figura 3.10 - Arranjo da subestação no ATP para o caso 1.	31
Figura 3.11 - Arranjo da Subestação no ATP para o caso 2.	32
Figura 3.12 - Arranjo da Subestação no ATP para o caso 3.	33
Figura 3.13 - Arranjo da Subestação no ATP para o caso 4.	34
Figura 3.14 - Arranjo da Subestação no ATP para o caso 5.	35
Figura 3.15 - Arranjo da Subestação no ATP para o caso 6.	36
Figura 3.16 - Chave trifásica comum.	37
Figura 4.1 - Caso 1: Dourados 230kV.	39
Figura 4.2 - Caso 1: CG Imbirissu 138kV.	40
Figura 4.3 - Caso 1: Chapadão 230kV.	40
Figura 4.4 - Caso 1: São Gabriel 138kV.	41
Figura 4.5 - Caso 1: Anastácio 230kV.	41
Figura 4.6 - Caso 1: Imbirissu 230kV.	42
Figura 4.7 - Caso 1: CG Cuiabá 138kV.	42
Figura 4.8 - Caso 1: Campo Grande 2 230kV.	43
Figura 4.9 - Caso 1: Campo Grande 2 138kV.	43
Figura 4.10 - Caso 1: CG M. Couto 138kV.	44
Figura 4.11 - Caso 1: Mimoso 138kV.	44
Figura 4.12 - Caso 1: Chapadão 138kV.	45

Figura 4.13 - Caso 1: Corrente de <i>Inrush</i> .	45
Figura 4.14 - Caso 2: Dourados 230kV.	46
Figura 4.15 - Caso 2: CG Imbirissu 138kV.	46
Figura 4.16 - Caso 2: Chapadão 230kV.	47
Figura 4.17 - Caso 2: São Gabriel 138kV.	47
Figura 4.18 - Caso 2: Anastácio 230kV.	48
Figura 4.19 - Caso 2: Imbirissu 230kV.	48
Figura 4.20 - Caso 2: CG Cuiabá 138kV.	49
Figura 4.21 - Caso 2: Campo Grande 2 230kV.	49
Figura 4.22 - Caso 2: Campo Grande 2 138kV.	50
Figura 4.23 - Caso 2: CG M. Couto 138kV.	50
Figura 4.24 - Caso 2: Mimoso 138kV.	51
Figura 4.25 - Caso 2: Chapadão 138kV.	51
Figura 4.26 - Caso 2: Corrente de <i>Inrush</i> .	52
Figura 4.27 - Caso 3: Dourados 230kV.	52
Figura 4.28 - Caso 3: CG Imbirissu 138kV.	53
Figura 4.29 - Caso 3: Chapadão 230kV.	53
Figura 4.30 - Caso 3: São Gabriel 138kV.	54
Figura 4.31 - Caso 3: Anastácio 230kV.	54
Figura 4.32 - Caso 3: Imbirissu 230kV.	55
Figura 4.33 - Caso 3: CG Cuiabá 138kV.	55
Figura 4.34 - Caso 3: Campo Grande 2 230kV.	56
Figura 4.35 - Caso 3: Campo Grande 2 138kV.	56
Figura 4.36 - Caso 3: CG M. Couto 138kV.	57
Figura 4.37 - Caso 3: Mimoso 138kV.	57
Figura 4.38 - Caso 3: Chapadão 138kV.	58
Figura 4.39 - Caso 3: Corrente de <i>Inrush</i> .	58
Figura 4.40 - Caso 4: Dourados 230kV.	59
Figura 4.41 - Caso 4: CG Imbirissu 138kV.	59
Figura 4.42 - Caso 4: Chapadão 230kV.	60
Figura 4.43 - Caso 4: São Gabriel 138kV.	60
Figura 4.44 - Caso 4: Anastácio 230kV.	61
Figura 4.45 - Caso 4: Imbirissu 230kV.	61
Figura 4.46 - Caso 4: CG Cuiabá 138kV.	62

Figura 4.47 - Caso 4: Campo Grande 2 230kV.	62
Figura 4.48 - Caso 4: Campo Grande 2 138kV.	63
Figura 4.49 - Caso 4: CG M. Couto 138kV.	63
Figura 4.50 - Caso 4: Mimoso 138kV.	64
Figura 4.51 - Caso 4: Chapadão 138kV.	64
Figura 4.52 - Caso 4: Corrente de <i>Inrush</i>	65
Figura 4.53 - Caso 5: Dourados 230kV.	65
Figura 4.54 - Caso 5: CG Imbirissu 138kV.	66
Figura 4.55 - Caso 5: Chapadão 230kV.	66
Figura 4.56 - Caso 5: São Gabriel 138kV.	67
Figura 4.57 - Caso 5: Anastácio 230kV.	67
Figura 4.58 - Caso 5: Imbirissu 230kV.	68
Figura 4.59 - Caso 5: CG Cuiabá 138kV.	68
Figura 4.60 - Caso 5: Campo Grande 2 230kV.	69
Figura 4.61 - Caso 5: Campo Grande 2 138kV.	69
Figura 4.62 - Caso 5: CG M. Couto 138kV.	70
Figura 4.63 - Caso 5: Mimoso 138kV.	70
Figura 4.64 - Caso 5: Chapadão 138kV.	71
Figura 4.65 - Caso 5: Corrente de <i>Inrush</i>	71
Figura 4.66 - Caso 6: Dourados 230kV.	72
Figura 4.67 - Caso 6: CG Imbirissu 138kV.	72
Figura 4.68 - Caso 6: Chapadão 230kV.	73
Figura 4.69 - Caso 6: São Gabriel 138kV.	73
Figura 4.70 - Caso 6: Anastácio 230kV.	74
Figura 4.71 - Caso 6: Imbirissu 230kV.	74
Figura 4.72 - Caso 6: CG Cuiabá 138kV.	75
Figura 4.73 - Caso 6: Campo Grande 2 230kV.	75
Figura 4.74 - Caso 6: Campo Grande 2 138kV.	76
Figura 4.75 - Caso 6: CG M. Couto 138kV.	76
Figura 4.76 - Caso 6: Mimoso 138kV.	77
Figura 4.77 - Caso 6: Chapadão 138kV.	77
Figura 4.78 - Caso 6: Corrente de <i>Inrush</i>	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Dados das linhas de 230kV.	21
Tabela 2.2 - Dados das linhas de 230kV convertidos.	21
Tabela 2.3 - Dados das linhas de 138kV.	21
Tabela 2.4 - Dados das linhas de 138kV convertidos.	22
Tabela 2.5 - Dados dos equivalentes elétricos.	22
Tabela 2.6 - Dados dos transformadores.	23
Tabela 2.7 - Dados dos transformadores convertidos.	23
Tabela 2.8 - Dados dos autotransformadores de Campo Grande 2.	23
Tabela 3.1 - Piores casos das simulações estatísticas.	37
Tabela 4.1 - Tabela dos picos transitórios dos casos: 1, 2 e 3.	78
Tabela 4.2 - Tabela dos picos transitórios dos casos: 4, 5 e 6.	79
Tabela 5.1 - Energizações pelo lado de 230kV.	80
Tabela 5.2 - Energizações pelo lado de 138kV.	81

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Transitórios	14
1.2 A corrente de <i>inrush</i>	15
1.3 O estudo e seu objetivo.....	16
2. ESTUDO DE ENERGIZAÇÃO DE TRANSFORMADORES	19
2.1 Metodologia.....	19
2.2 Dados e considerações.....	20
3. MODELAGEM NO DOMÍNIO DO TEMPO	25
3.1 Componentes do sistema	25
3.1.1 Linhas de Transmissão	25
3.1.2 Equivalentes Elétricos	26
3.1.3 Transformadores de Anastácio, Imbirissu e Chapadão	27
3.1.4 Autotransformadores de Campo Grande 2	27
3.2 Simulações e resultados estatísticos	29
3.2.1 Caso 1: Energização pelo lado de 230kV com os outros dois autotransformadores em funcionamento	31
3.2.2 Caso 2: Energização pelo lado de 230kV com um autotransformador à vazio e o outro em funcionamento	32
3.2.3 Caso 3: Energização pelo lado de 230kV com os dois outros autotransformadores à vazio	33
3.2.4 Caso 4: Energização pelo lado de 138kV com os outros dois autotransformadores em funcionamento	34
3.2.5 Caso 5: Energização pelo lado de 138kV com um autotransformador à vazio e o outro em funcionamento	35
3.2.6 Caso 6: Energização pelo lado de 138kV com os dois outros autotransformadores à vazio	36
3.2.7 Resultados.....	37

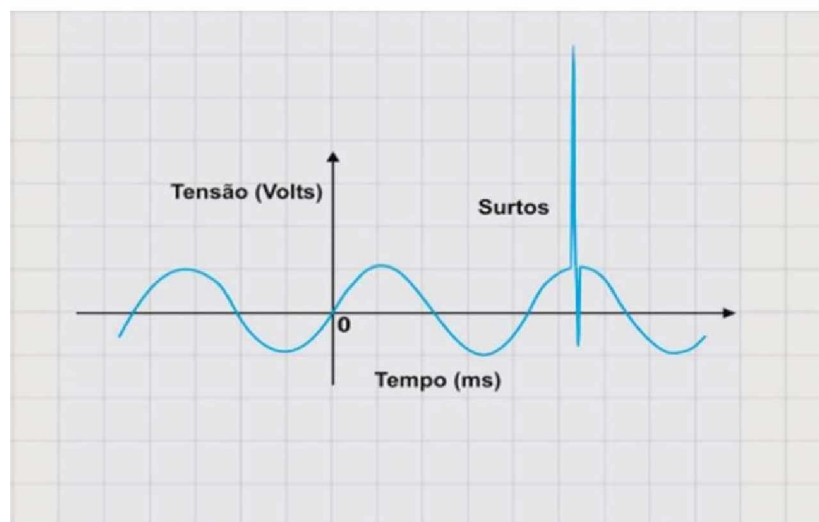
3.3 Simulações de energização.....	37
4. RESULTADOS	39
4.1 Caso 1: Energização pelo lado de 230kV com os outros dois autotransformadores em funcionamento	39
4.2 Caso 2: Energização pelo lado de 230kV com um autotransformador à vazio e o outro em funcionamento	46
4.3 Caso 3: Energização pelo lado de 230kV com os dois outros autotransformadores à vazio	52
4.4 Caso 4: Energização pelo lado de 138kV com os outros dois autotransformadores em funcionamento	59
4.5 Caso 5: Energização pelo lado de 138kV com um autotransformador à vazio e o outro em funcionamento	65
4.6 Caso 6: Energização pelo lado de 138kV com os dois outros autotransformadores à vazio	72
4.7 Tabelas dos valores máximos de pico	78
5. CONCLUSÕES	80
5.1 Energizações pelo lado de 230kV	80
5.2 Energizações pelo lado de 138kV	81
6. REFERÊNCIAS	83
APÊNDICE A – DIAGRAMA UNIFILAR CONSTRUÍDO NO ATP	84

1. INTRODUÇÃO

1.1 Transitórios

Transitórios são variações do sistema que denotam um evento momentâneo e indesejável às condições normais de operação. De outra forma, entende-se por transitórios eletromagnéticos as manifestações ou respostas elétricas locais ou nas adjacências, oriundas de alterações súbitas nas condições operacionais de um sistema de energia elétrica e que rapidamente voltam as suas condições normais de operação caso não haja nenhum problema causado por tal fenômeno, como por exemplo um surto de tensão conforme apresentado na figura 1.1.

Figura 1.1 - Exemplo de um surto de tensão.



Os sistemas elétricos estão sujeitos a inúmeros fenômenos transitórios, variando desde as oscilações eletromecânicas até as rápidas variações de tensões e correntes causadas por chaveamentos, descargas atmosféricas, variações nas cargas, energização de grandes transformadores, etc. Geralmente, a duração de um transitório é muito pequena (de milissegundos a segundos), mas de grande importância, uma vez que dependendo da magnitude e desses transitórios, os equipamentos presentes nos sistemas elétricos podem sofrer sérios danos, comprometendo parte ou todo o funcionamento do sistema de uma região (os famosos blackouts, por exemplo).

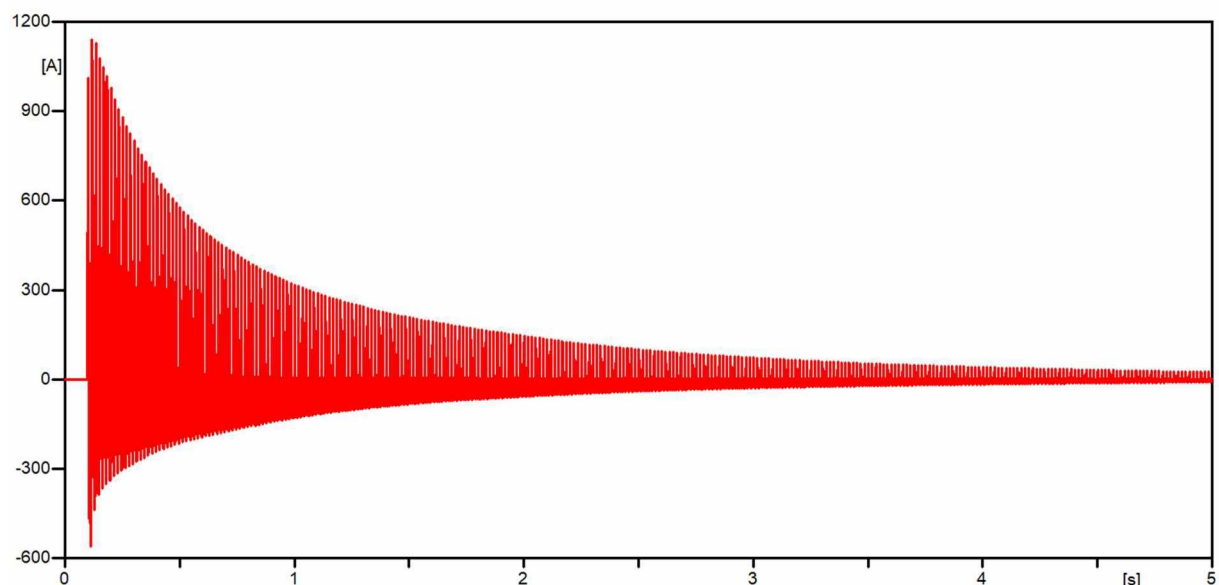
Manobras de energização, como no caso dos transformadores, provocam variações de tensões transitórias, que podem causar danos em equipamentos da própria subestação e ou de

suas vizinhanças. Esses equipamentos devem estar preparados para tais eventos, evitando assim problemas como falhas de isolamento, curtos-circuitos, comprometimento de partes mecânicas de disjuntores e chaves, etc.

1.2 A corrente de *inrush*

As variações de tensões transitórias causadas no sistema pela energização dos transformadores se dão devido a um fenômeno chamado corrente de *inrush*. Esta corrente, a qual é caracterizada como sendo quase que praticamente unidirecional, cresce abruptamente, atingindo o seu pico máximo no primeiro meio ciclo após a energização do transformador e, a partir daí, começa a decair até que o transformador atinja sua condição normal de magnetização, conforme apresentado na figura 1.2. A corrente exigida na condição normal de magnetização é chamada de corrente de excitação, ou popularmente corrente à vazio, uma corrente pequena em comparação a sua corrente nominal, que apenas alimenta o transformador para manter a magnetização do seu núcleo.

Figura 1.2 - Corrente de *inrush*.



Segundo (BRONZEADO, 1999), da teoria clássica de transformadores, sabe-se que a magnitude e a duração da corrente de *inrush* dependem basicamente:

- Do ponto da forma de onda de tensão no momento que o transformador é energizado.
- Do valor e polaridade do fluxo residual do núcleo do transformador em relação ao fluxo de regime permanente, no momento da energização.

- Do nível de saturação ou densidade de fluxo máximo do material ferromagnético do núcleo do transformador.
- Da impedância total do circuito em que a corrente de *inrush* flui.

No entanto, no caso de haver um ou mais transformadores já conectados ao sistema, a duração e a magnitude da corrente de *inrush* pode mudar drasticamente. Isto ocorre devido a saturação dos transformadores já conectados ao sistema, provocada pela assimetria da tensão da tensão nos transformadores causada pela circulação da corrente de *inrush*. Assim, uma nova característica deve ser considerada, já que ela afeta esse fenômeno transitório:

- A característica e o nível de saturação dos transformadores que já estão conectados no sistema.

Isso faz com que a presença de um ou mais transformadores seja considerada, pois há uma interação entre o transformador a ser energizado e os possíveis transformadores em funcionamento, que normalmente não é considerada em estudos de transitórios eletromagnéticos.

1.3 O estudo e seu objetivo

Deseja-se colocar em operação um novo autotransformador Y-Y- Δ de 150MVA e de tensões 230/138/13,8 kV na subestação Campo Grande 2, que já se encontra com dois autotransformadores de mesmas especificações em funcionamento.

Para a manobra de energização deste terceiro é necessário analisar seus fenômenos transitórios, que somente podem ser analisados por meio de estudos de transitórios eletromagnéticos. Devido à sua complexidade será necessário o uso de ferramentas computacionais, que nesse caso será o ATP (*Alternative Transients Program*) em acordo com o submódulo 18.2 de 2016 do ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico), que padroniza o ATP para esse tipo de estudo.

Assim, visando obter uma proximidade com a realidade, a figura 1.3 apresenta um modelo adotado na simulação computacional de um fragmento do sistema elétrico brasileiro. Isso é possível porque órgãos como o ONS e a EPE (Empresa de Pesquisa Energética) disponibilizam arquivos contendo dados do sistema elétrico brasileiro, os quais servem como base de dados para elaboração de modelos e também possibilitam a verificação dos mesmos.

Esse estudo tem como objetivo determinar a magnitude das sobretensões transitórias na subestação Campo Grande 2 e nas suas vizinhanças, bem como a corrente de *inrush* do autotransformador. Os dados desse estudo serão necessários para que se analise os impactos provenientes dessa manobra e, conseqüentemente, a viabilidade da energização do terceiro autotransformador com o sistema e os outros dois autotransformadores em funcionamento.

2. ESTUDO DE ENERGIZAÇÃO DE TRANSFORMADORES

Como já citado, esse estudo segue as especificações do ONS, mais especificamente o submódulo 23.3 de 2016, denominado “diretrizes e critérios para estudos elétricos”. As premissas necessárias se encontram nos itens 9 e 10, que tratam das diretrizes e critérios dos estudos de transitórios eletromagnéticos sob condição de manobra.

2.1 Metodologia

As principais influências a serem consideradas nesse estudo são:

- A presença de outros transformadores em funcionamento ou à vazio na subestação.
- A aleatoriedade no fechamento das chaves no momento da energização, o que faz com que não se saiba ao certo em que ângulo as tensões se encontram.

Ambos os casos influenciam diretamente na corrente de *inrush* e consequentemente nas sobretensões transitórias. Devido a isso, o estudo foi dividido em alguns casos e submetidos a um estudo estatístico com 200 chaveamentos de duração de 1 segundo cada para tentar prever o pior caso de magnitude do pico dessas sobretensões no barramento em que será feita a energização.

Como nessa subestação já existiam dois transformadores em funcionamento, fez-se necessário a divisão em seis casos:

- Caso 1: Energização pelo lado de 230kV com os outros dois autotransformadores em funcionamento.
- Caso 2: Energização pelo lado de 230kV com um autotransformador à vazio e o outro em funcionamento.
- Caso 3: Energização pelo lado de 230kV com os dois outros autotransformadores à vazio.
- Caso 4: Energização pelo lado de 138kV com os outros dois autotransformadores em funcionamento.
- Caso 5: Energização pelo lado de 138kV com um autotransformador à vazio e o outro em funcionamento.

- Caso 6: Energização pelo lado de 138kV com os dois outros autotransformadores à vazio.

Após os chaveamentos em cada caso, o ATP gera um relatório com os tempos de fechamento das chaves com as respectivas tensões medidas no barramento. Com esses dados é possível verificar em qual tempo de fechamento se originou a sobretensão de maior magnitude.

Possuindo os tempos de fechamento das três fases é feita uma nova simulação em cada caso, porém apenas com uma chave trifásica comum e com um tempo total de 5 segundos, pois não é necessário verificar a estabilização do sistema. Com isso determina-se as sobretensões nas vizinhanças de Campo Grande 2, bem como a corrente de *inrush* do autotransformador energizado.

2.2 Dados e considerações

Para a modelagem do fragmento do sistema no ATP são necessários os parâmetros das linhas de transmissão, dos transformadores das subestações e dos equivalentes elétricos.

Foram necessários conversões de unidade devido à entrada de dados no ATP. Além disso existem também algumas ressalvas sobre os dados que serão apresentados:

- Todas as conversões de impedâncias usaram 60Hz como frequência da rede.
- As tensões apresentadas são as de linha.
- Onde existirem mais que um componente indicado na tabela é porque foi considerado que os dados são iguais para os respectivos componentes.
- Onde não existirem dados foi considerado valor próximo de zero.

Os dados das linhas de 230kV estão representados pelas tabelas 2.1 e 2.2:

Tabela 2.1 - Dados das linhas de 230kV.

De	Para	R+ (Ω/km)	R0 (Ω/km)	X+ (Ω/km)	X0 (Ω/km)	B+ (μS/km)	B0 (μS/km)	Extensão (km)	Nº de linhas
Campo Grande 2	Imbirissu	0.0413	0.4624	0.3778	1.323	4.382	2.723	38	1
Campo Grande 2	Chapadão	0.0413	0.4624	0.3778	1.323	4.382	2.723	271	1
Imbirissu	Rio Brilhante	0.0412	0.387	0.3479	1.153	4.765	3.444	150	1
Imbirissu	Sidrolândia	0.0504	0.433	0.3482	1.499	4.818	3.483	43	1
Rio Brilhante	Porto Primavera	0.041	0.4076	0.3479	1.269	4.762	3.442	139	1
Sidrolândia	Anastácio	0.0499	0.4313	0.3406	1.195	4.798	3.468	105	1
Porto primavera	Ivinhema	0.0405	0.3678	0.3463	1.544	4.726	3.416	64	1
Ivinhema	Dourados	0.0407	0.3675	0.3463	1.544	4.736	3.423	152	1
Dourados	Anastácio	0.0562	0.3914	0.4402	1.658	3.726	2.693	208	1
Chapadão	Inocência	0.0392	0.2786	0.2998	1.184	5.523	3.992	135	3
Chapadão	Jataí	0.0484	0.3864	0.3542	1.282	4.696	3.394	128	2
Inocência	Ilha Solteira 2	0.0397	0.2854	0.3028	1.201	5.542	4.006	76	3

Tabela 2.2 - Dados das linhas de 230kV convertidos.

De	Para	R+ (Ω/m)	R0 (Ω/m)	L+ (mH/m)	L0 (mH/m)	C+ (μF/m)	C0 (μF/m)	Extensão (m)	Nº de linhas
Campo Grande 2	Imbirissu	4.130000E-05	4.624000E-04	1.002146E-03	3.509366E-03	1.162362E-05	7.222982E-06	38000	1
Campo Grande 2	Chapadão	4.130000E-05	4.624000E-04	1.002146E-03	3.509366E-03	1.162362E-05	7.222982E-06	271000	1
Imbirissu	Rio Brilhante	4.120000E-05	3.870000E-04	9.228334E-04	3.058427E-03	1.263956E-05	9.135494E-06	150000	1
Imbirissu	Sidrolândia	5.040000E-05	4.330000E-04	9.236292E-04	3.976221E-03	1.278014E-05	9.238944E-06	43000	1
Rio Brilhante	Porto Primavera	4.100000E-05	4.076000E-04	9.228334E-04	3.366127E-03	1.263160E-05	9.130189E-06	139000	1
Sidrolândia	Anastácio	4.990000E-05	4.313000E-04	9.034696E-04	3.169836E-03	1.272709E-05	9.199156E-06	105000	1
Porto primavera	Ivinhema	4.050000E-05	3.678000E-04	9.185893E-04	4.095587E-03	1.253610E-05	9.061221E-06	64000	1
Ivinhema	Dourados	4.070000E-05	3.675000E-04	9.185893E-04	4.095587E-03	1.256263E-05	9.079790E-06	152000	1
Dourados	Anastácio	5.620000E-05	3.914000E-04	1.167667E-03	4.397982E-03	9.883522E-06	7.143404E-06	208000	1
Chapadão	Inocência	3.920000E-05	2.786000E-04	7.952442E-04	3.140658E-03	1.465021E-05	1.058911E-05	135000	3
Chapadão	Jataí	4.840000E-05	3.864000E-04	9.395447E-04	3.400611E-03	1.245653E-05	9.002865E-06	128000	2
Inocência	Ilha Solteira 2	3.970000E-05	2.854000E-04	8.032019E-04	3.185751E-03	1.470061E-05	1.062625E-05	76000	3

Os dados das linhas de 138kV estão representados nas tabelas 2.3 e 2.4:

Tabela 2.3 - Dados das linhas de 138kV.

De	Para	R+ (Ω/km)	R0 (Ω/km)	X+ (Ω/km)	X0 (Ω/km)	B+ (μS/km)	B0 (μS/km)	Extensão (km)	Nº de linhas
Campo Grande 2	Campo Grande	0.131	0.4306	0.898	2.696	-	-	2	2
M. Couto	Campo Grande	0.1904	0.6339	0.495	1.714	3.361	2.429	7	2
M. Couto	A. Scafa	0.1989	0.5544	0.525	1.951	3.431	2.48	9	1
Almoxarifado	A. Scafa	0.1885	0.5266	0.498	1.85	2.003	1.448	20	1
Almoxarifado	Imbirissu	0.1826	0.5075	0.485	1.795	3.157	2.282	17	1
M. Couto	Lageado	0.1927	0.54	0.512	1.902	3.342	2.416	17	1
Lageado	Imbirissu	0.187	0.5177	0.499	1.839	3.241	2.343	11	1
Industrial	Imbirissu	0.2071	0.5023	0.493	1.343	3.17	2.291	8	1
Industrial	J. Abraão	0.2108	0.5142	0.498	1.362	3.244	2.345	14	1
Centro	J. Abraão	0.2176	0.4543	0.441	1.548	3.841	2.776	7	1
CG Cuiabá	Centro	0.1797	0.7082	0.419	3.049	3.771	2.726	16	1
CG Cuiabá	Campo Grande	0.1746	0.6015	0.441	2.028	3.221	2.328	12	2
S. Gabriel	Campo Grande 2	0.1884	0.5604	0.486	1.919	3.371	2.437	131	1
S. Gabriel	Camapuã	0.1895	0.5649	0.494	1.912	3.317	2.397	80	1
Paraíso	Camapuã	0.1883	0.556	0.492	1.897	3.322	2.401	132	1
Paraíso	Chap. Sul	0.1827	0.5463	0.475	1.844	3.229	2.334	54	1
Chapadão	Chap. Sul	0.1147	0.344	0.465	1.303	3.487	2.521	28.5	1
Mimoso	Campo Grande	0.1835	0.5102	0.457	1.616	3.346	2.419	109	1
Mimoso	Campo Grande	0.1897	0.6021	0.494	1.526	4.793	3.465	109	1
Mimoso	Campo Grande	0.198	0.5506	0.494	1.744	3.593	2.597	101	1
Mimoso	Campo Grande	0.198	0.5506	0.494	1.744	3.593	2.597	101	1
Aquidauana	Imbirissu	0.19	0.5221	0.505	1.862	3.291	2.379	118	2
Aquidauana	Anastácio	0.201	0.5586	0.501	1.773	3.676	2.657	9	2

Tabela 2.4 - Dados das linhas de 138kV convertidos.

De	Para	R+ (Ω /m)	R0 (Ω /m)	L+ (mH/m)	L0 (mH/m)	C+ (μ F/m)	C0 (μ F/m)	Extensão (m)	Nº de linhas
Campo Grande 2	Campo Grande	1.310000E-04	4.306000E-04	2.382019E-03	7.151362E-03	-	-	2000	2
M. Couto	Campo Grande	1.904000E-04	6.339000E-04	1.313028E-03	4.546526E-03	8.915329E-06	6.443123E-06	7000	2
M. Couto	A. Scafa	1.989000E-04	5.544000E-04	1.392606E-03	5.175188E-03	9.101010E-06	6.578404E-06	9000	1
Almoxarifado	A. Scafa	1.885000E-04	5.266000E-04	1.320986E-03	4.907277E-03	5.313123E-06	3.840939E-06	20000	1
Almoxarifado	Imbirissu	1.826000E-04	5.075000E-04	1.286502E-03	4.761385E-03	8.374203E-06	6.053193E-06	17000	1
M. Couto	Lageado	1.927000E-04	5.400000E-04	1.358122E-03	5.045212E-03	8.864930E-06	6.408639E-06	17000	1
Lageado	Imbirissu	1.870000E-04	5.177000E-04	1.323639E-03	4.878099E-03	8.597020E-06	6.215001E-06	11000	1
Industrial	Imbirissu	2.071000E-04	5.023000E-04	1.307723E-03	3.562418E-03	8.408686E-06	6.077066E-06	8000	1
Industrial	J. Abraão	2.108000E-04	5.142000E-04	1.320986E-03	3.612817E-03	8.604977E-06	6.220306E-06	14000	1
Centro	J. Abraão	2.176000E-04	4.543000E-04	1.169789E-03	4.106198E-03	1.018857E-05	7.363569E-06	7000	1
CG Cuiabá	Centro	1.797000E-04	7.082000E-04	1.111432E-03	8.087724E-03	1.000289E-05	7.230940E-06	16000	1
CG Cuiabá	Campo Grande	1.746000E-04	6.015000E-04	1.169789E-03	5.379437E-03	8.543968E-06	6.175212E-06	12000	2
S. Gabriel	Campo Grande 2	1.884000E-04	5.604000E-04	1.289155E-03	5.090306E-03	8.941855E-06	6.464343E-06	131000	1
S. Gabriel	Camapuã	1.895000E-04	5.649000E-04	1.310376E-03	5.071738E-03	8.798616E-06	6.358240E-06	80000	1
Paraíso	Camapuã	1.883000E-04	5.560000E-04	1.305071E-03	5.031949E-03	8.811879E-06	6.368850E-06	132000	1
Paraíso	Chap. Sul	1.827000E-04	5.463000E-04	1.259977E-03	4.891362E-03	8.565189E-06	6.191127E-06	54000	1
Chapadão	Chap. Sul	1.147000E-04	3.440000E-04	1.233451E-03	3.456315E-03	9.249555E-06	6.687160E-06	28500	1
Mimoso	Campo Grande	1.835000E-04	5.102000E-04	1.212230E-03	4.286573E-03	8.875541E-06	6.416597E-06	109000	1
Mimoso	Campo Grande	1.897000E-04	6.021000E-04	1.310376E-03	4.047841E-03	1.271383E-05	9.191198E-06	109000	1
Mimoso	Campo Grande	1.980000E-04	5.506000E-04	1.310376E-03	4.626104E-03	9.530729E-06	6.888756E-06	101000	1
Mimoso	Campo Grande	1.980000E-04	5.506000E-04	1.310376E-03	4.626104E-03	9.530729E-06	6.888756E-06	101000	1
Aquidauana	Imbirissu	1.900000E-04	5.221000E-04	1.339554E-03	4.939108E-03	8.729649E-06	6.310493E-06	118000	2
Aquidauana	Anastácio	2.010000E-04	5.586000E-04	1.328944E-03	4.703029E-03	9.750893E-06	7.047911E-06	9000	2
Imbirissu	J. Abraão	4.4753	11.255	28.3387	109.2631	-	-	1	1

A última linha da tabela 2.4 está em destaque para informar que foram utilizados os dados de parâmetros concentrados nessa linha de transmissão.

Os equivalentes elétricos e suas localizações estão representados na tabela 2.5:

Tabela 2.5 - Dados dos equivalentes elétricos.

Barramento	Tensão (kV)	R0 (Ω)	L0 (mH)	R+ (Ω)	L+ (mH)
Dourados	230	4.1791	96.2584	3.703	4.1791
Invinhema	230	11.7967	259.0276	11.5322	312.9098
Porto Primavera	230	0.1058	32.1329	0.1587	39.0085
Rio Brilhante	230	31.1581	558.6072	7.935	325.8191
Sidrolândia	230	27.2435	640.1321	24.1224	639.7111
Paraíso 2	230	26.1855	690.336	27.5609	1190.0395
Jataí	230	15.9758	300.8424	4.6522	213.1435
Ilha Solteira 2	230	0.4761	19.5042	0.1058	19.3639
Chapadão	138	11.4074	215.4447	4.6086	309.9575
Chapadão Sul	138	6.3988	86.9356	2.2281	53.9496
Paraíso	138	3.2375	99.9684	2.7995	154.2716
São Gabriel	138	0.3047	355.8248	458008	1594.1394
Mimoso	138	3.7707	136.0358	5.1419	240.1464
Campo Grande	138	11.4074	215.4447	4.6086	309.9575
Imbirissu	138	0	21.4687	0.2666	52.9393

Os dados dos transformadores de Chapadão, Anastácio e Imbirissu estão representados nas tabelas 2.6 e 2.7:

Tabela 2.6 - Dados dos transformadores.

Subestação	Potência (MVA)	Tensões (kV)			Ligações	Impedância (Ohms)			Nº de Trafos
		Primário	Secundário	Terciário		Xp	Xs	Xt	
Chapadão	225	230	138	13.8	Yt-Yt-Δ	11.26	5.96	0.92	1
Chapadão	225	230	138	13.8	Yt-Yt-Δ	31.1	1.085	0.761	1
Anastácio	75	230	138	13.8	Yt-Yt-Δ	92.99	7.56	6.051	1
Anastácio	75	230	138	13.8	Yt-Yt-Δ	77.49	2.228	1.016	1
Imbirissu	150	230	138	13.8	Yt-Yt-Δ	42.74	0.228	1.036	3

Tabela 2.7 - Dados dos transformadores convertidos.

Subestação	Potência (MVA)	Tensões (kV)			Ligações	Indutância (mH)			Nº de Trafos
		Primário	Secundário	Terciário		Lp	Ls	Lt	
Chapadão	225	230	138	13.8	Yt-Yt-Δ	29.86807765	15.80939101	2.440375794	1
Chapadão	225	230	138	13.8	Yt-Yt-Δ	82.49531217	2.878051888	2.018615195	1
Anastácio	75	230	138	13.8	Yt-Yt-Δ	246.663636	20.05352283	16.05077601	1
Anastácio	75	230	138	13.8	Yt-Yt-Δ	205.548609	5.909953553	2.695023703	1
Imbirissu	150	230	138	13.8	Yt-Yt-Δ	113.3713711	0.604788784	2.748075351	3

As resistências dos enrolamentos dos transformadores das tabelas 2.6 e 2.7 foram desprezadas. A resistência de magnetização para a modelagem no ATP foi considerada muito grande. Para esses transformadores também não foi considerado sua curva de saturação pois eles estarão em regime permanente durante esse estudo.

Os 3 (três) autotransformadores de Campo Grande 2 foram considerados iguais e seus dados estão descritos pela tabela 2.8:

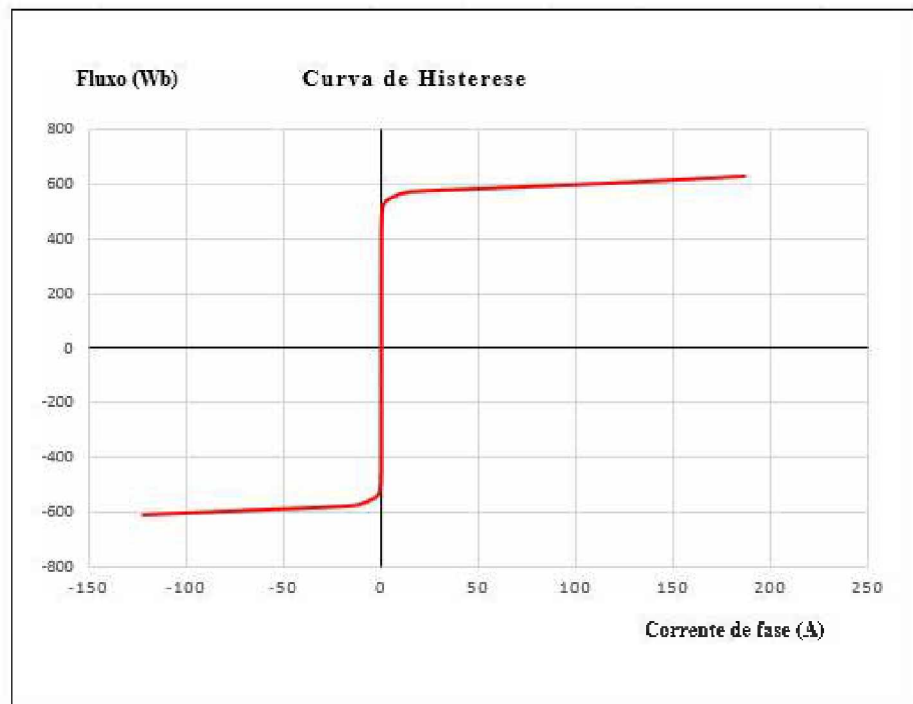
Tabela 2.8 - Dados dos autotransformadores de Campo Grande 2.

Campo Grande 2	Potência (MVA)	Tensões (kV)			Ligação	Indutância (mH)			Resistência (Ω)			
		Primário	Secundário	Terciário		Lp	Ls	Lt	Rp	Rs	Rt	Rm
Autotransformador	150	230	138	13.8	Yt-Yt-Δ	67.2	1.3	0.501	0.423	0.6823	0.0388	176333.33

Para verificar a influência dos outros autotransformadores para com o que será energizado, também é necessária sua curva de histerese para entrada no ATP. Os pontos da curva e o gráfico, estão representados pela figura 2.1. É importante observar que essa característica é por fase devido à modelagem do autotransformador em acordo com o submódulo 23.3. Essa modelagem será abordada no item 3 desse estudo.

Figura 2.1 - Curva de histerese por fase do autotransformador.

I(A)	Φ (Wb)
-122.39	-606.3
-66.43	-589.54
-14.57	-572.77
-5.19	-551.83
-1.29	-530.88
-0.49	-510.01
-0.16	-488.99
-0.13	-468.04
0.01	-447.09
0.03	0
0.14	447.09
0.29	468.04
0.34	488.99
0.68	510.01
1.51	530.88
5.45	551.83
14.86	572.77
66.74	589.54
122.53	606.3
166.9	623.05
187.08	630.52



É válido ressaltar que as informações dos níveis de curto foram fornecidos pelo ONS e os dados técnicos das linhas de transmissão, transformadores e autotransformadores fornecidos pela empresa Pantanal Transmissão S.A.

3. MODELAGEM NO DOMÍNIO DO TEMPO

Para a modelagem do sistema no ATP foi utilizado a versão 5.9p3 do ATPdraw, que permite a modelagem visual do circuito. Todas as simulações foram feitas com um *Time step* (campo “*deltaT*” nas configurações do ATP) de 10^{-6} segundos, o padrão de instalação.

Parâmetros que foram desprezados, foi utilizado o valor 10^{-6} e parâmetros que foram considerados valores muito grandes, foi inserido o valor 10^6 .

3.1 Componentes do sistema

Os subitens a seguir abordarão como foram modelados os componentes do sistema no ATP.

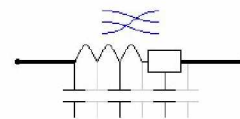
3.1.1 Linhas de Transmissão

Para os dados apresentados nas tabelas 2.2 e 2.4 foi utilizado o componente “*Transposed line (Clarke)*” de 3 fases. Esses foram inseridos nos campos “*VALUE*” e “*Length*” com as configurações em acordo com a figura 3.1:

Figura 3.1 - Componente usado nas linhas.

DATA	UNIT	VALUE
R/A	Ohm/m	0
R/0	Ohm/m	0
L' +		0
L' 0		0
C' +		0
C' 0		0

NODE	PHASE	NAME
IN1	ABC	X0042
OUT1	ABC	X0049



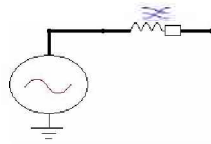
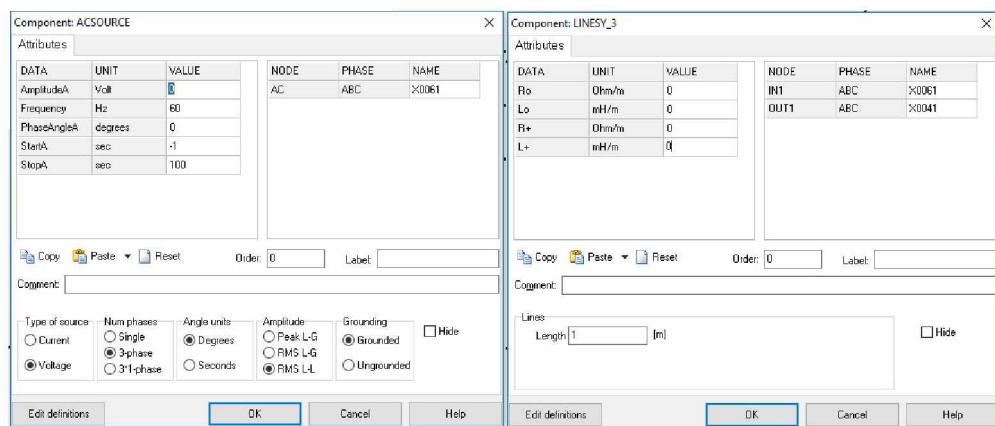
Porém para a linha de transmissão de Imbirissu para J. Abraão como indicado na figura 2.4 foi desprezado as capacitâncias e considerado uma linha de 1 metro, pois os seus parâmetros

dados não são distribuídos. As capacitâncias das linhas de Campo Grande 2 para Campo Grande também foram desprezadas.

3.1.2 Equivalentes Elétricos

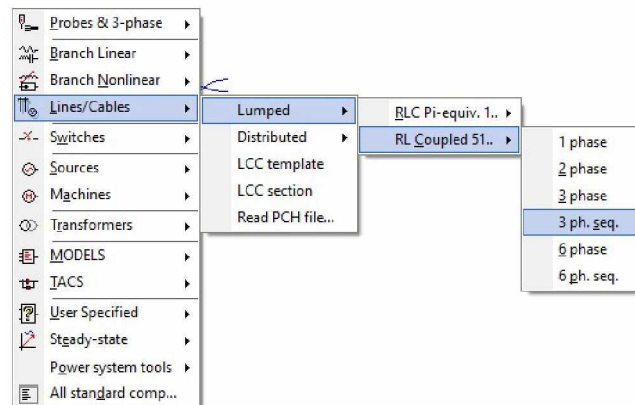
Os equivalentes foram modelados com uma fonte trifásica em série com um componente que permite a entrada dos dados em sequência positiva e negativa de acordo com a figura 3.2:

Figura 3.2 - Fonte em série com a impedância.



O componente para a impedância é encontrado seguindo o caminho da figura 3.3:

Figura 3.3 - Componente utilizado para a impedância.

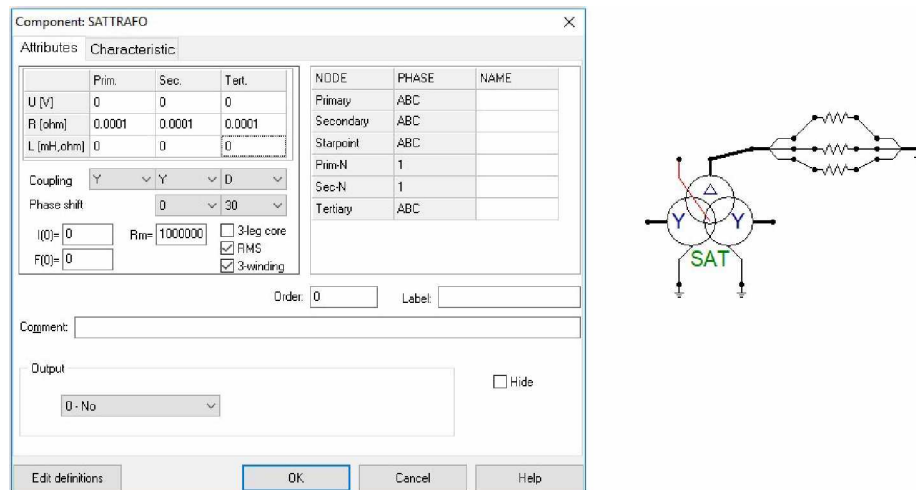


Os dados dos equivalentes elétricos foram apresentados na tabela 2.5 e no campo “length” do componente de impedância do equivalente foi inserido 1 metro pois os parâmetros são concentrados.

3.1.3 Transformadores de Anastácio, Imbirissu e Chapadão

Para esses transformadores foi utilizado o componente “*Saturable transformer*” com as configurações de acordo com a figura 3.4:

Figura 3.4 - Componente para os transformadores.



Para esses transformadores as entradas foram as tensões de fase. As resistências dos enrolamentos foram desprezadas e a resistência de magnetização foi colocado um valor muito alto. As resistências ligadas no terciário em delta do transformador foram consideradas uma em cada fase de um valor muito alto, para simbolizar essa saída à vazio.

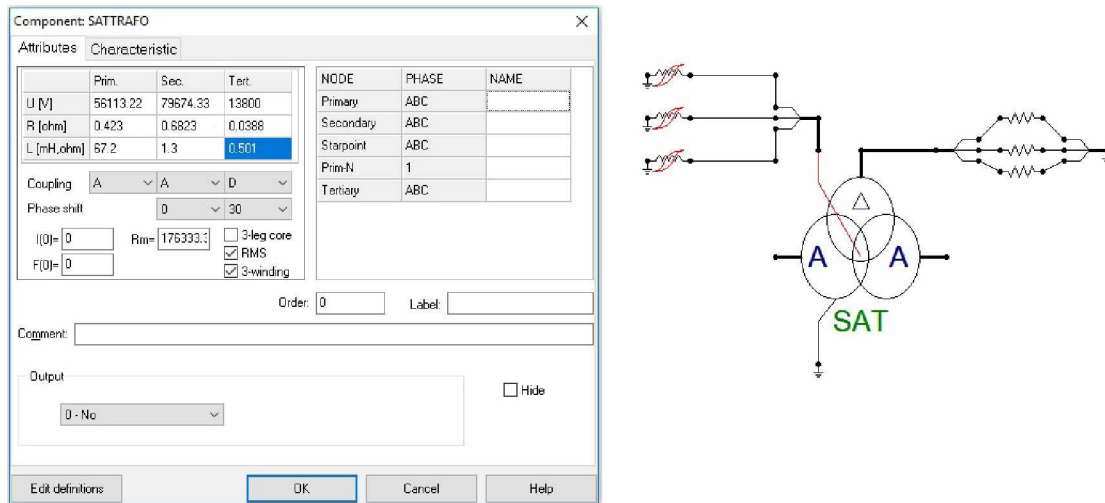
A característica magnética desses transformadores não foi considerada pois eles estarão em funcionamento em todos os casos simulados e essa influência não é significativa na energização do autotransformador de Campo Grande 2.

Os dados de entrada desses transformadores foram apresentados na tabela 2.7.

3.1.4 Autotransformadores de Campo Grande 2

Como já citado, os autotransformadores de Campo Grande 2 foram considerados com os mesmos parâmetros. Foi utilizado o mesmo componente para a simulação, porém com configurações para autotransformadores simbolizados pela figura 3.5:

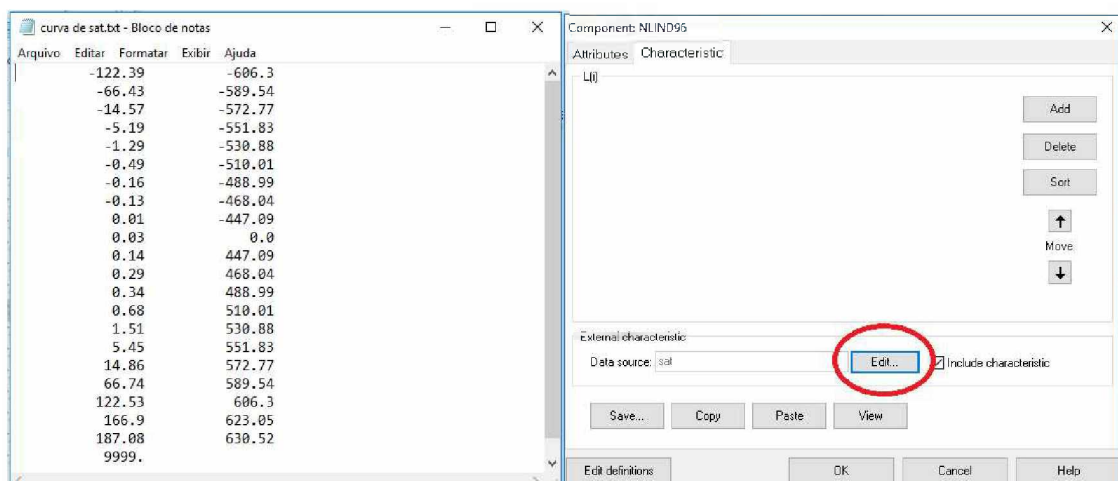
Figura 3.5 Autotransformadores de Campo Grande 2.



Assim como no caso dos outros transformadores, a saída do terciário desses autotransformadores foi considerada à vazio. As tensões de entrada também foram as de fase, porém de acordo com o arranjo de um autotransformador. As características magnéticas do núcleo em acordo com o submódulo 23.3 do ONS foram inseridas externamente ao transformador no componente “*Pseudo-nonlinear hysteretic inductor – type 96*” utilizando 3 deles, um para cada fase do núcleo. A característica magnética utilizada encontra-se na figura 2.1.

Os pontos da curva foram colocados em um arquivo de bloco de notas e posteriormente convertido em um arquivo de extensão “.lib” para ser inserido em cada um dos componentes. A figura 3.6 mostra como os pontos são inseridos no arquivo de texto e onde são inseridas no componente.

Figura 3.6 - Pontos da curva de saturação inseridos.



Após ir na opção “*edit*”, uma janela se abrirá. Basta apenas ir em “*File*” e clicar em “*import*” e selecionar o arquivo “.lib”. Para converter o arquivo texto em arquivo “.lib” foi necessário apenas mudar a extensão do arquivo, porém é necessário manter o padrão do texto ao inserir os pontos da curva e adicionar “9999.” Para indicar que é o fim da leitura do arquivo.

Assim, seguindo o diagrama unifilar da figura 1.3 foi possível preparar todo o sistema para as simulações (Apêndice A).

3.2 Simulações e resultados estatísticos

Para as simulações estatísticas é necessário a utilização do componente “*statistic switch*” ou chave estatística, porém como ela é monofásica, foi feito o uso de 3 delas (uma por fase) e foi feito um arranjo conforme a figura 3.7, onde uma é a chave mestre e as outras são escravas, onde as duas escravas utilizam a entrada e a saída da chave mestre como referência.

Foi configurado o tempo médio de fechamento da chave mestre em 0,1 segundo com desvio de 0,0055 e distribuição gaussiana e tempo total de simulação de 1 segundo para cada chaveamento conforme a figura 3.8. A chave estatística chaveia em tempos diferentes em torno do ponto 0,1 segundo e apresenta as tensões de linha encontradas no barramento da energização, bem como o tempo de chaveamento de cada chave dos 200 chaveamentos configurados no ATP e sua configuração está ilustrada pela figura 3.9.

Figura 3.7 - Arranjo das chaves.

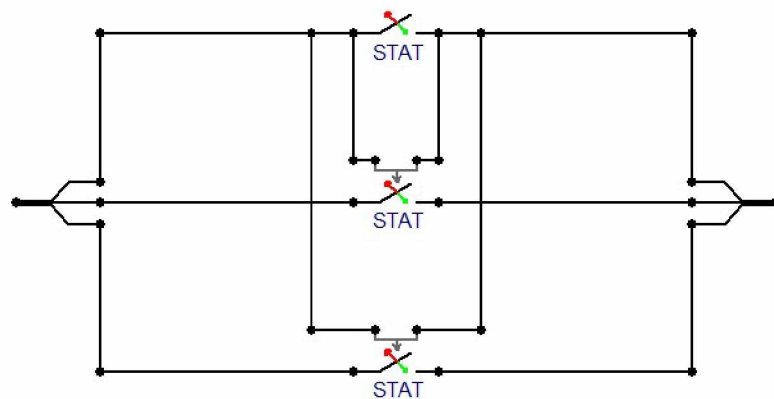


Figura 3.8 - Configuração das chaves.

Component: SW_STAT

Attributes

STATISTIC SWITCH

Switch type: Master

Open/Close: ☐ Opening ☒ Closing

T: 0.1

Dev.: 0.0055

Distribution: ☐ Uniform ☒ Gaussian ☐ Linear

NODE	PHASE	NAME
SW_F	A	
SW_T	A	

Order: 0 Label:

Comment:

Output: 0 - No ☐ Hide

Edit definitions OK Cancel Help

Component: SW_STAT

Attributes

STATISTIC SWITCH

Switch type: Slave

Open/Close: ☐ Opening ☒ Closing

T: 0

Dev.: 0.0055

Distribution: ☐ Uniform ☒ Gaussian ☐ Linear

NODE	PHASE	NAME
SW_F	B	
SW_T	B	
REF_F	A	
REF_T	A	

Order: 0 Label:

Comment:

Output: 0 - No ☐ Hide

Edit definitions OK Cancel Help

Figura 3.9 - Configuração para o estudo estatístico.

ATP Settings

Simulation Output Format **Switch/UM** Load flow Variables

Switch study

Statistic study ☒

Systematic study ☐

Num.: 200

Switch controls

ISW: 1

ITEST: 1

IDIST: 0

IMAX: 0

IDICE: 1

KSTOUT: -1

NSEED: 0

Universal machines

Initialization

☒ Automatic ☐ Manual

Units

☒ SI ☐ Per unit

Interface

☒ Prediction ☐ Compensation

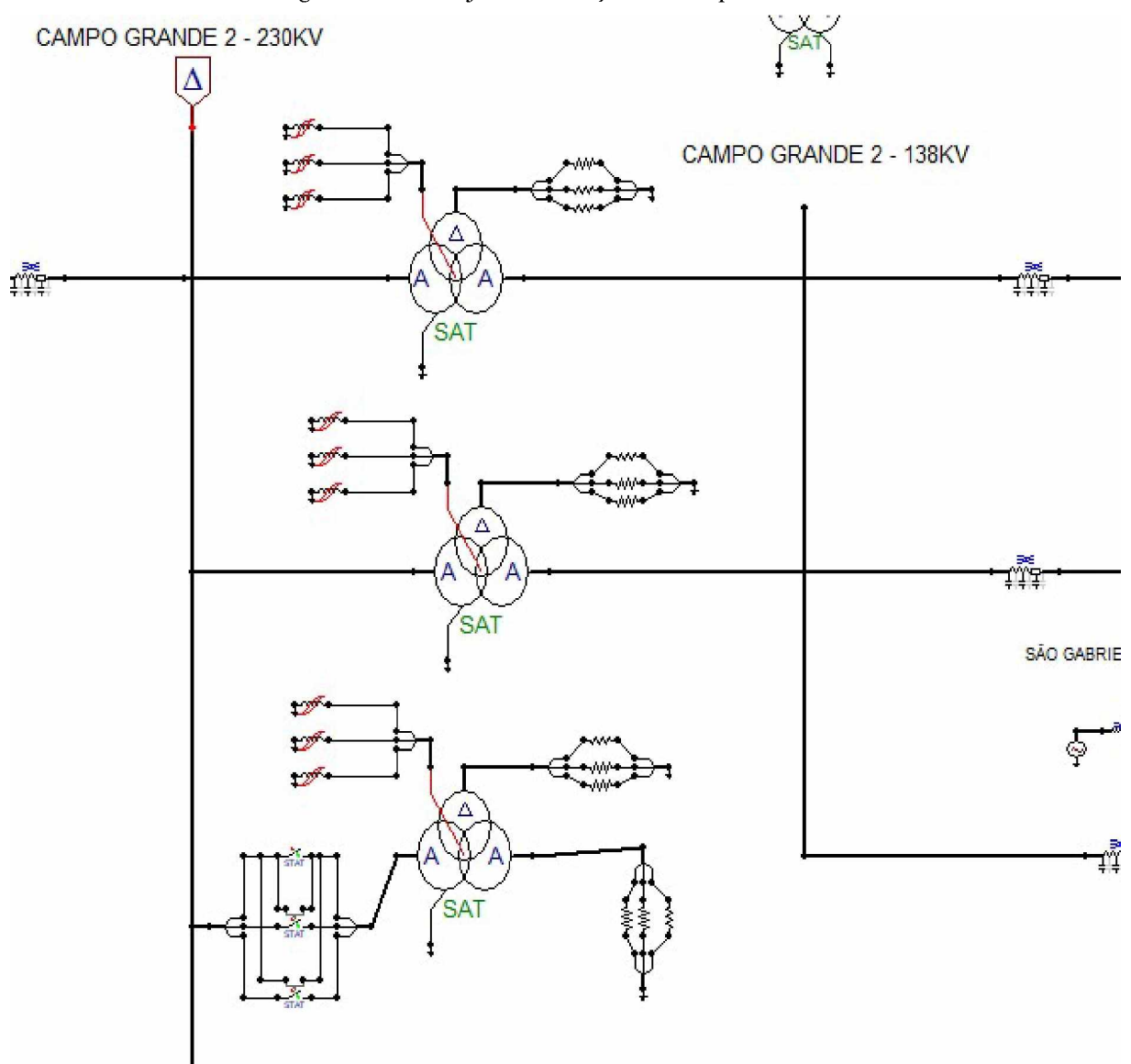
OK Help

Para simular os casos citados no item 2.1, os arranjos dentro de Campo Grande 2 foram alterados e serão mostrados nos próximos itens.

3.2.1 Caso 1: Energização pelo lado de 230kV com os outros dois autotransformadores em funcionamento

A Figura 3.10 apresenta o diagrama unifilar contendo os três autotransformadores, onde ocorre a energização pelo lado de 230kV do terceiro autotransformador, com os outros dois em funcionamento.

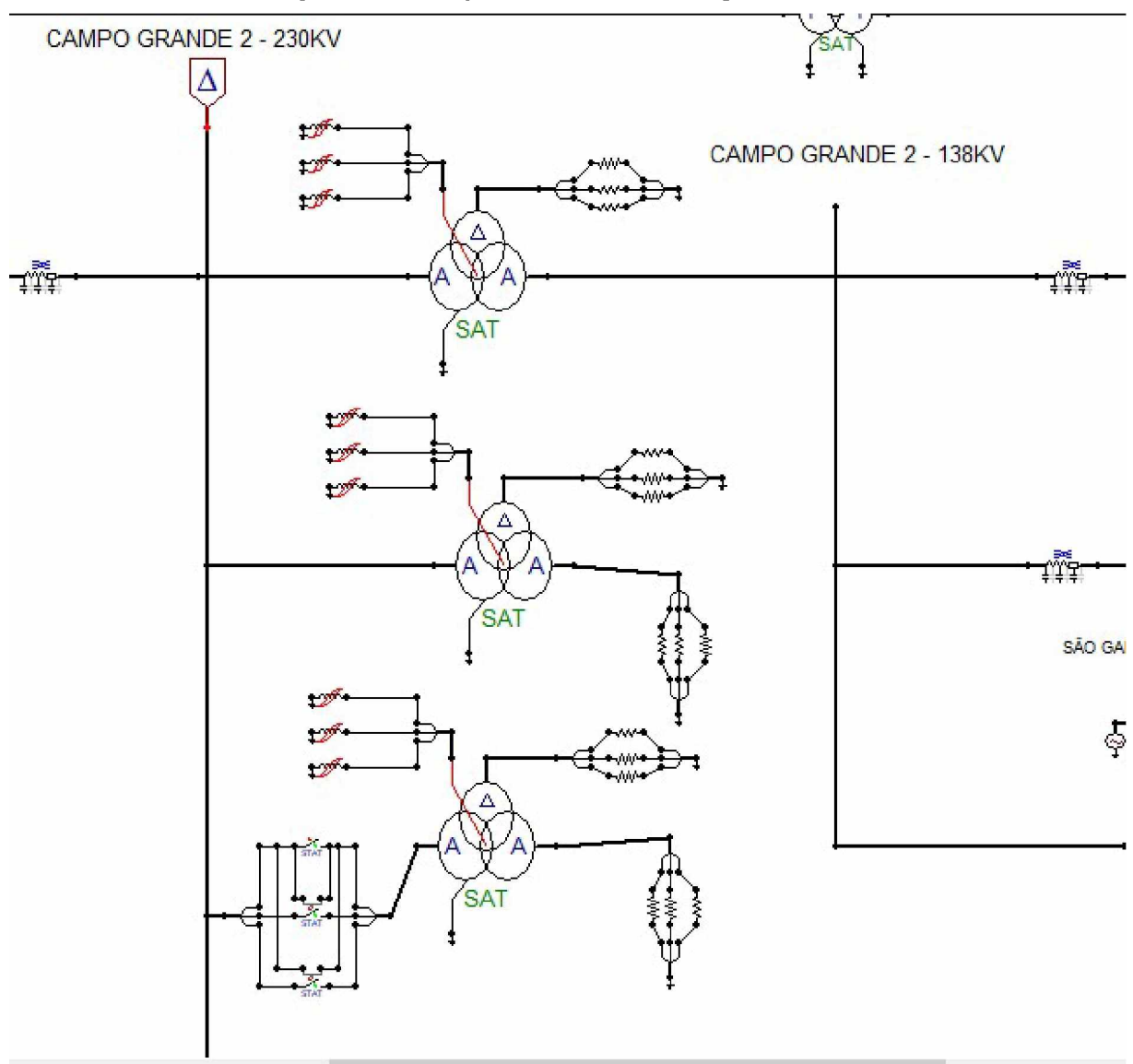
Figura 3.10 - Arranjo da subestação no ATP para o caso 1.



3.2.2 Caso 2: Energização pelo lado de 230kV com um autotransformador à vazio e o outro em funcionamento

A Figura 3.11 apresenta o diagrama unifilar contendo os três autotransformadores, onde ocorre a energização pelo lado de 230kV do terceiro autotransformador, com um à vazio e o outro em funcionamento.

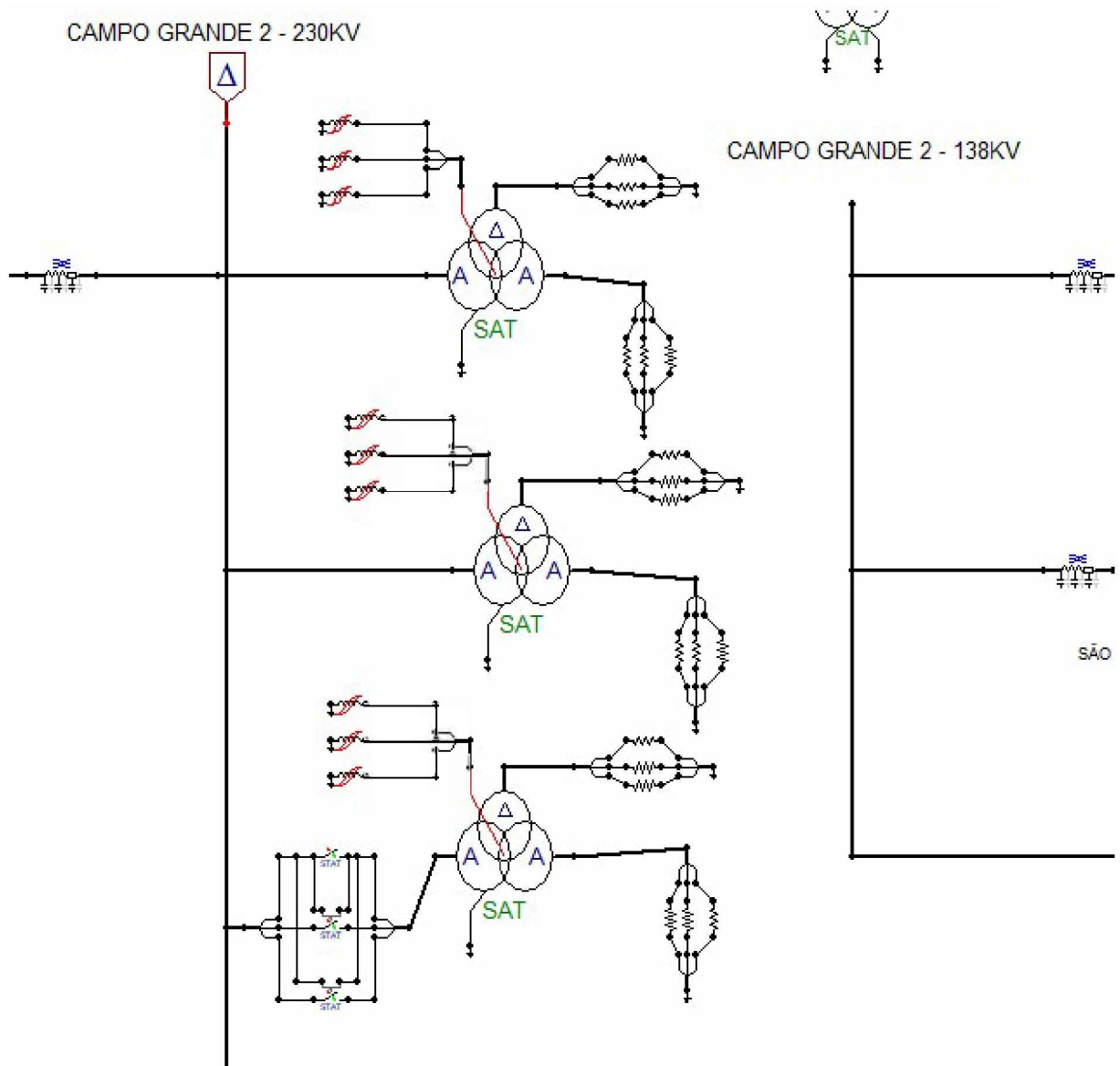
Figura 3.11 - Arranjo da Subestação no ATP para o caso 2.



3.2.3 Caso 3: Energização pelo lado de 230kV com os dois outros autotransformadores à vazio

A Figura 3.12 apresenta o diagrama unifilar contendo os três autotransformadores, onde ocorre a energização pelo lado de 230kV do terceiro autotransformador, com os outros dois à vazio.

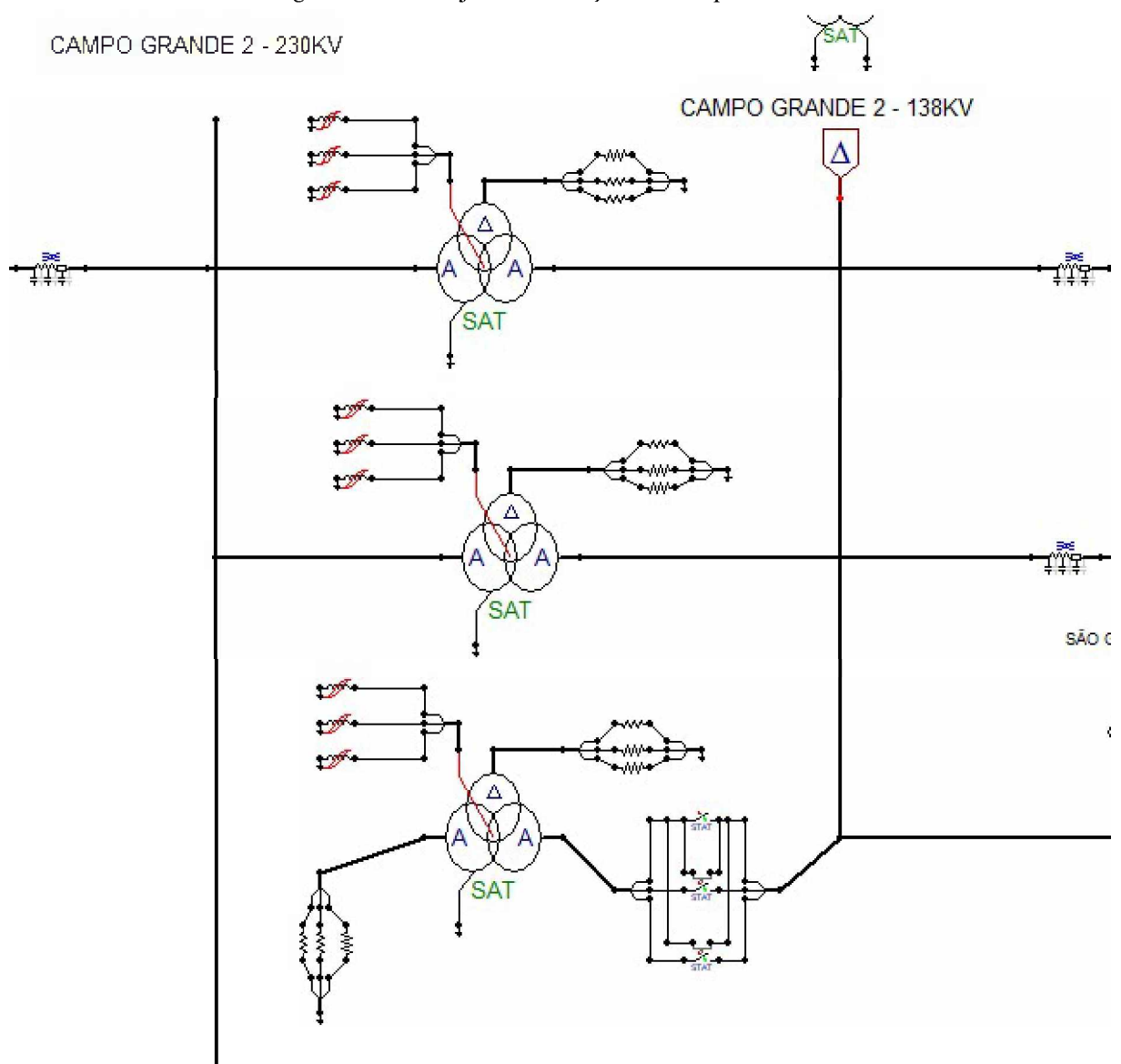
Figura 3.12 - Arranjo da Subestação no ATP para o caso 3.



3.2.4 Caso 4: Energização pelo lado de 138kV com os outros dois autotransformadores em funcionamento

A Figura 3.13 apresenta o diagrama unifilar contendo os três autotransformadores, onde ocorre a energização pelo lado de 138kV do terceiro autotransformador, com os outros dois em funcionamento.

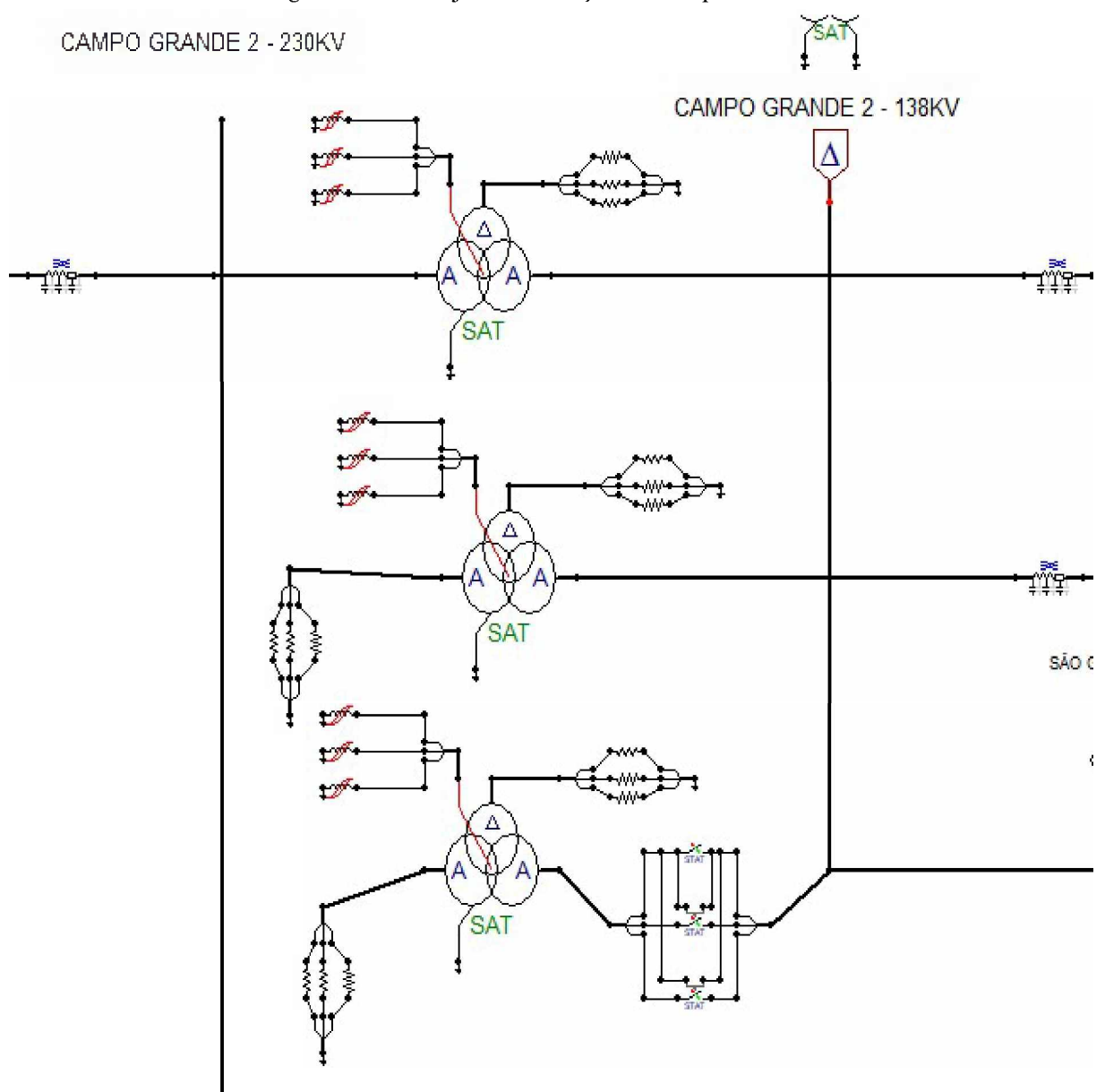
Figura 3.13 - Arranjo da Subestação no ATP para o caso 4.



3.2.5 Caso 5: Energização pelo lado de 138kV com um autotransformador à vazio e o outro em funcionamento

A Figura 3.14 apresenta o diagrama unifilar contendo os três autotransformadores, onde ocorre a energização pelo lado de 138kV do terceiro autotransformador, com um à vazio e o outro em funcionamento.

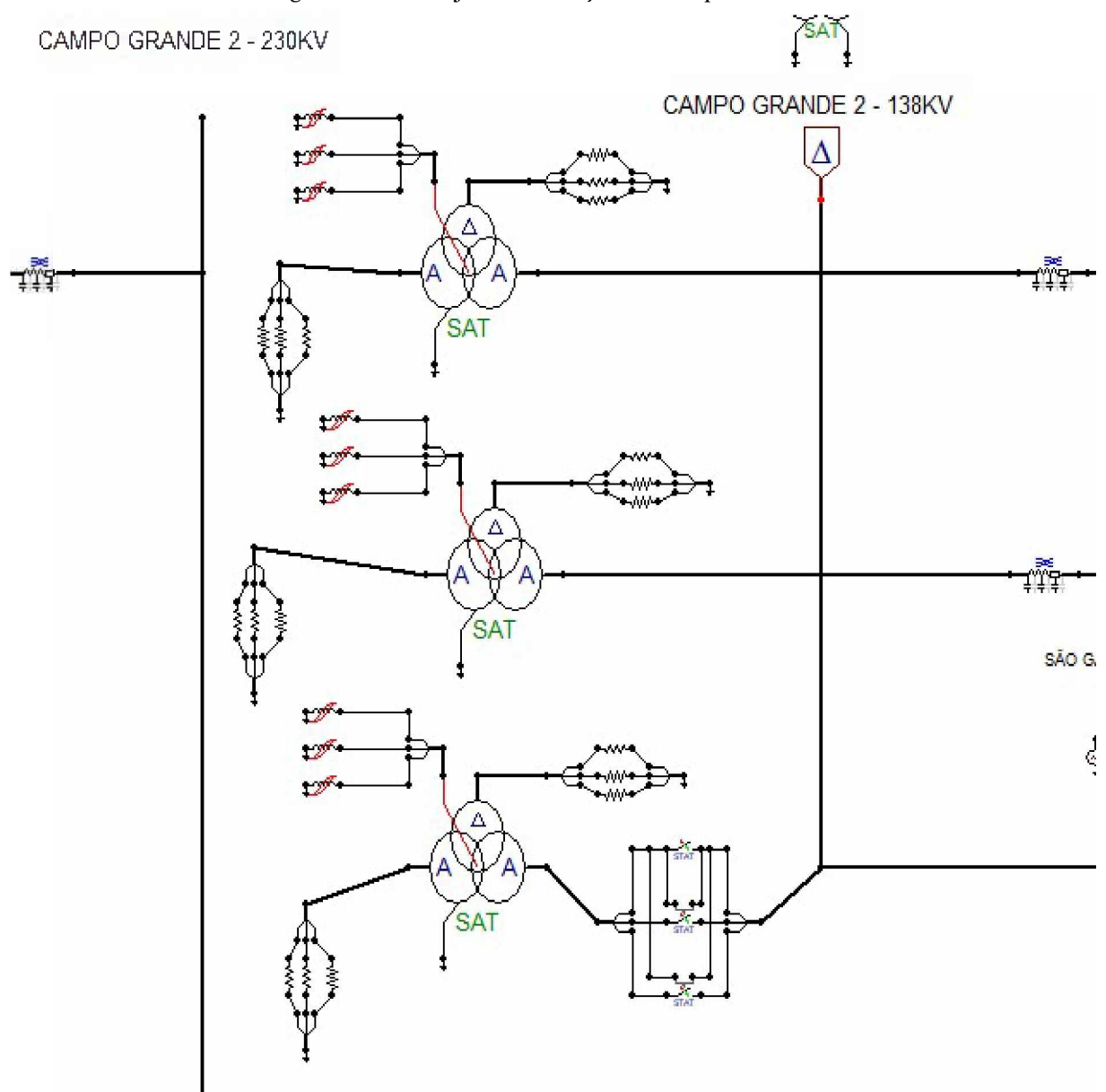
Figura 3.14 - Arranjo da Subestação no ATP para o caso 5.



3.2.6 Caso 6: Energização pelo lado de 138kV com os dois outros autotransformadores à vazio

A Figura 3.15 apresenta o diagrama unifilar contendo os três autotransformadores, onde ocorre a energização pelo lado de 138kV do terceiro autotransformador, com os outros dois à vazio.

Figura 3.15 - Arranjo da Subestação no ATP para o caso 6.



3.2.7 Resultados

Após realizadas as simulações estatísticas de cada caso foram encontrados resultados de acordo com a tabela 3.1:

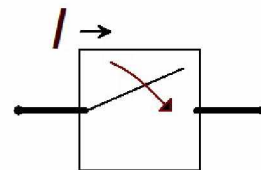
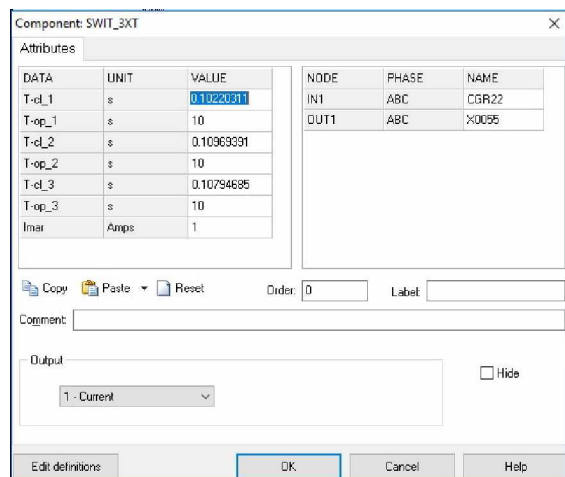
Tabela 3.1- Piores casos das simulações estatísticas.

Caso	Pico (kV)	Tempo da chave 1 (s)	Tempo da chave 2 (s)	Tempo da chave 3 (s)
1	420386.699	1.0220311E-01	1.0969391E-01	1.0794685E-01
2	415907.644	9.7250653E-02	9.4161008E-02	1.0050187E-01
3	424645.446	9.0189137E-02	9.1353645E-02	9.2144194E-02
4	236588.167	1.0691480E-01	1.1036405E-01	1.0863009E-01
5	235626.31	9.8478043E-02	9.8887586E-02	9.8976403E-02
6	250083.03	1.0024792E-01	1.0011586E-01	9.1562142E-02

3.3 Simulações de energização

Possuindo os tempos das chaves é possível agora simular os piores casos de energização de cada caso de estudo substituindo a chave estatística por uma chave trifásica normal em acordo com a figura 3.16, desmarcando-se a opção de estudo estatístico nas opções do ATP e alterando o tempo total de simulação para 5 segundos.

Figura 3.16 - Chave trifásica comum.



Foi colocado, nas configurações da chave trifásica, tempos de abertura da chave superior ao tempo de simulação, pois não é de interesse a abertura das mesmas. Os dados de entrada para essa chave nos 6 casos foram apresentados na tabela 3.1.

Vale ressaltar que foi marcada a opção de saída de corrente na chave para que possa ser analisada a corrente de *inrush* por fase. Com essa simulação pode-se observar as sobretensões em toda a vizinhança de Campo Grande 2. Os barramentos escolhidos para tal análise foram: “Dourados 230kV”, “CG Imbirissu 138kV”, “Chapadão 230kV”, “São Gabriel 138kV”, “Anastácio 230kV”, “Imbirissu 230kV”, “CG Cuiabá 138kV”, “Campo Grande 2 230kV”, “Campo Grande 2 138kV”, “CG M. Couto 138kV”, “Mimoso 138kV” e “Chapadão 138kV”.

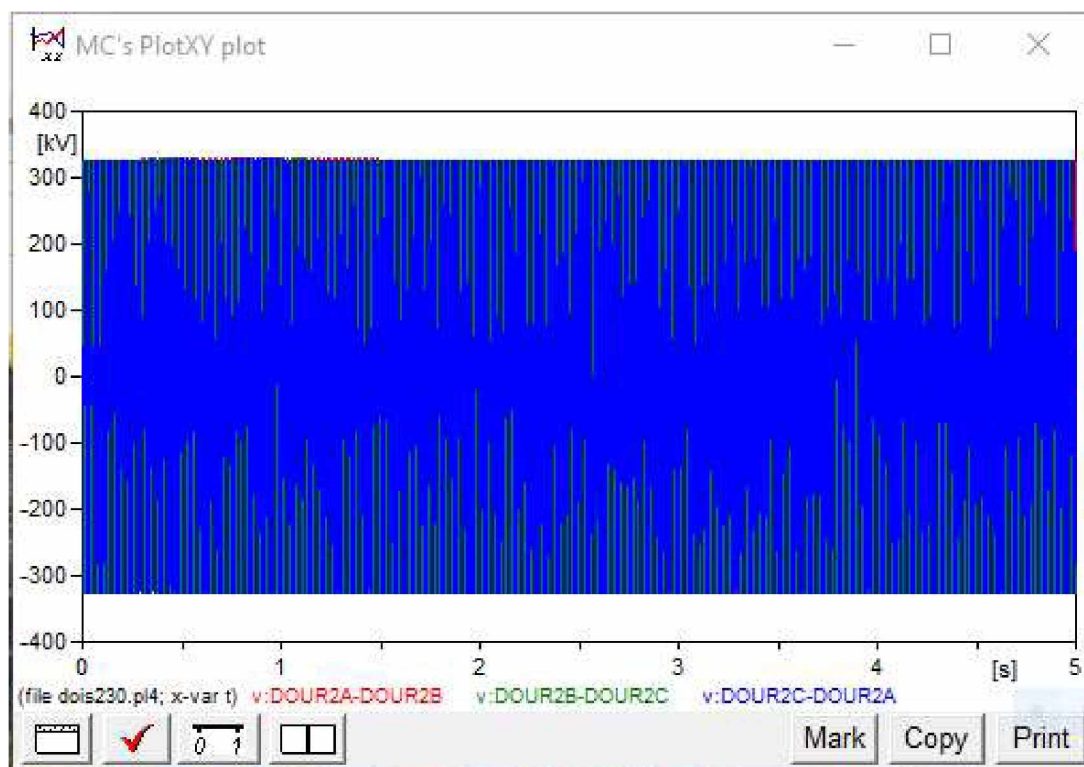
4. RESULTADOS

Foram coletados os gráficos referentes a 5 segundos de simulação em cada barramento citado (item 3.3) em todos os 6 casos de estudo. As tensões que serão apresentadas nos gráficos são as tensões de linha de cada barramento. Em cor vermelha é a tensão de linha AB, em verde é a BC e em azul a CA.

4.1 Caso 1: Energização pelo lado de 230kV com os outros dois autotransformadores em funcionamento

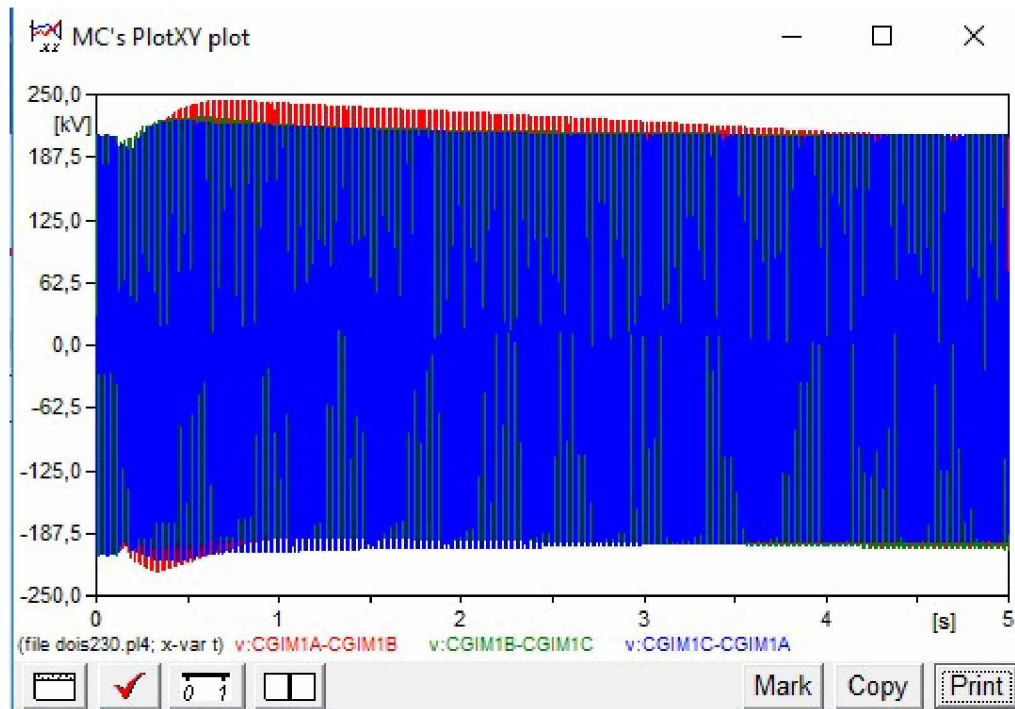
Nesse item serão mostrados os resultados das simulações referentes ao caso 1. A figura 4.1 representa o perfil de tensão do barramento “Dourados 230kV”:

Figura 4.1 - Caso1: Dourados 230kV.



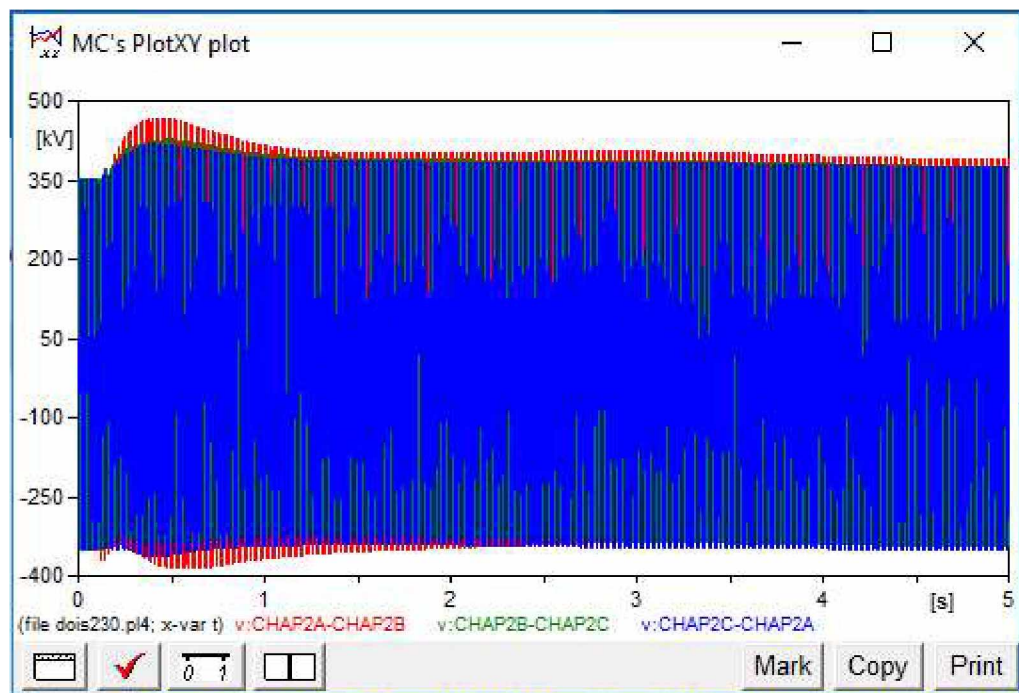
A figura 4.2 representa o perfil de tensão do barramento “CG Imbirissu 138kV”:

Figura 4.2 - Caso 1: CG Imbirissu 138kV.



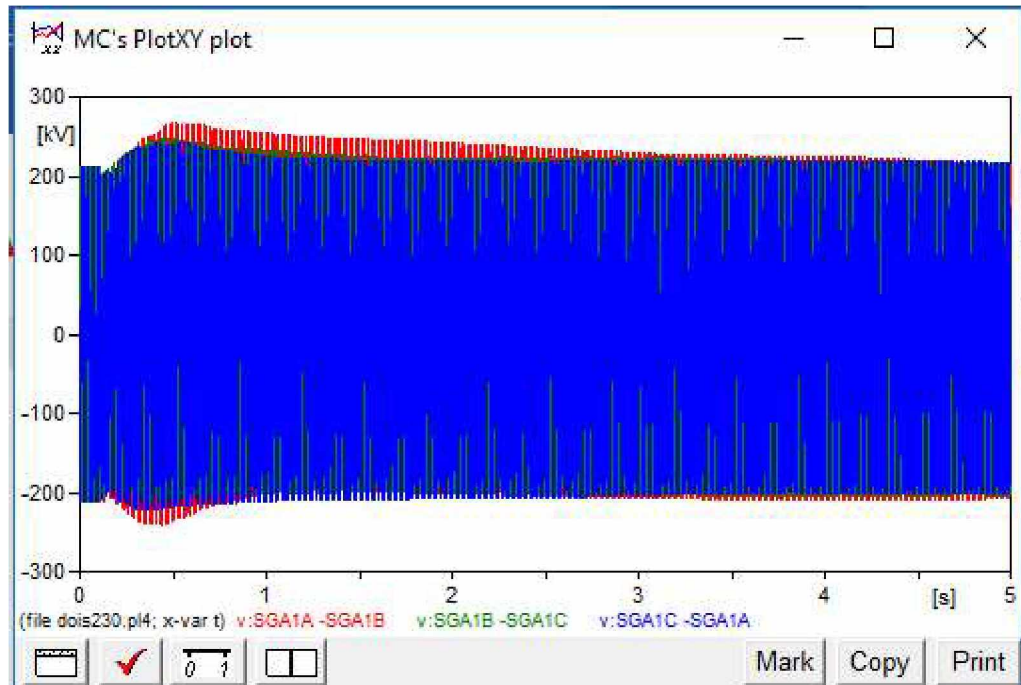
A figura 4.3 representa o perfil de tensão do barramento “Chapadão 230kV”:

Figura 4.3 - Caso 1: Chapadão 230kV.



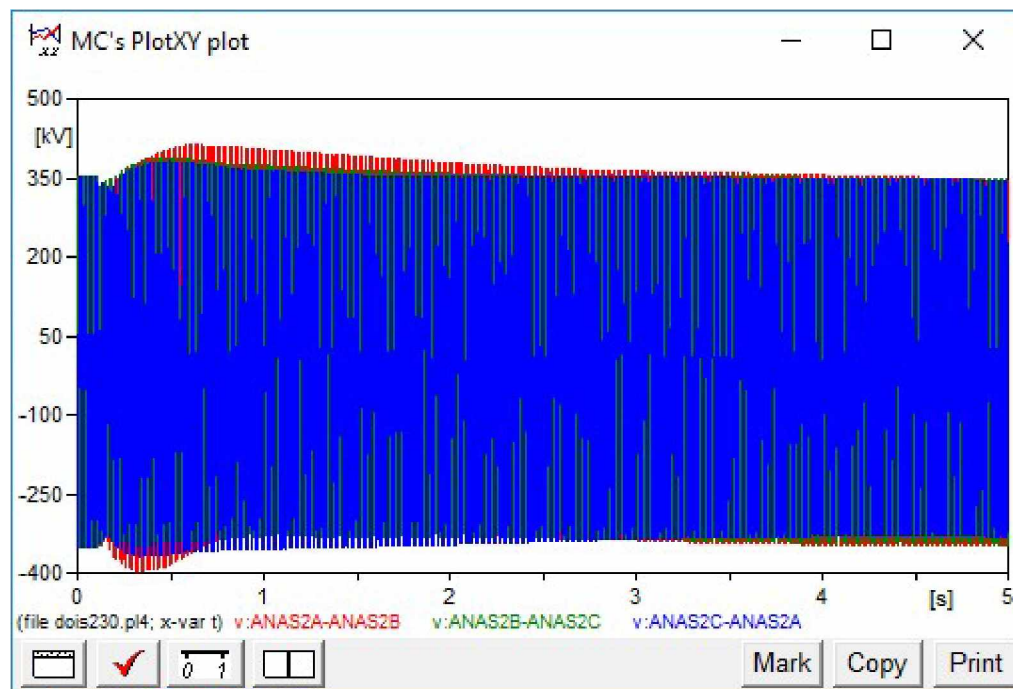
A figura 4.4 representa o perfil de tensão do barramento “São Gabriel 138kV”:

Figura 4.4 - Caso 1: São Gabriel 138kV.



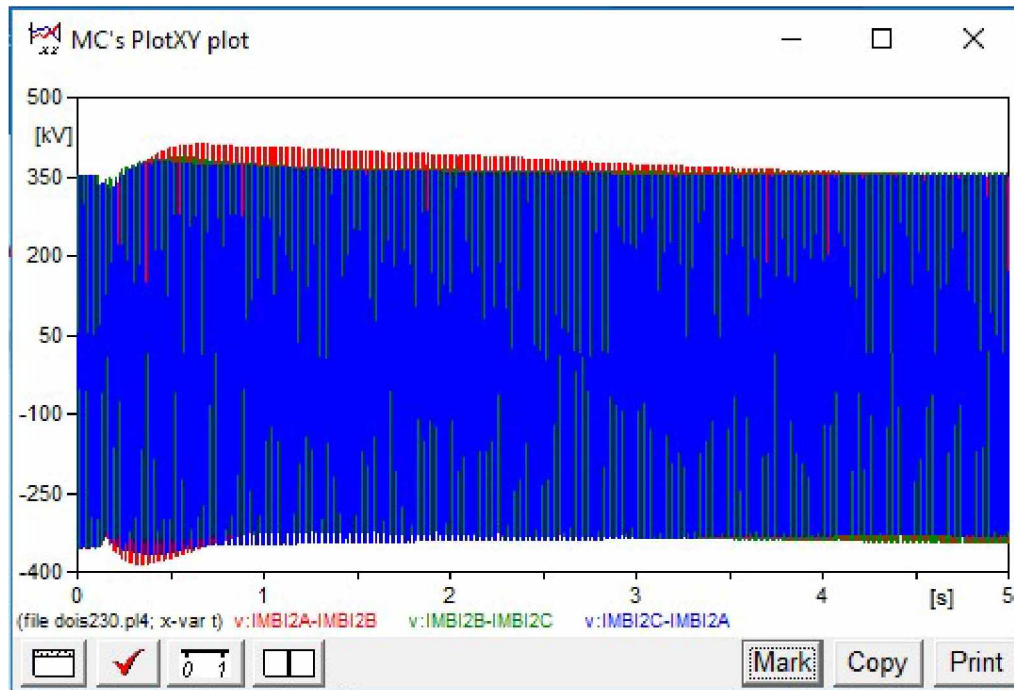
A figura 4.5 representa o perfil de tensão do barramento “Anastácio 230kV”:

Figura 4.5 - Caso 1: Anastácio 230kV.



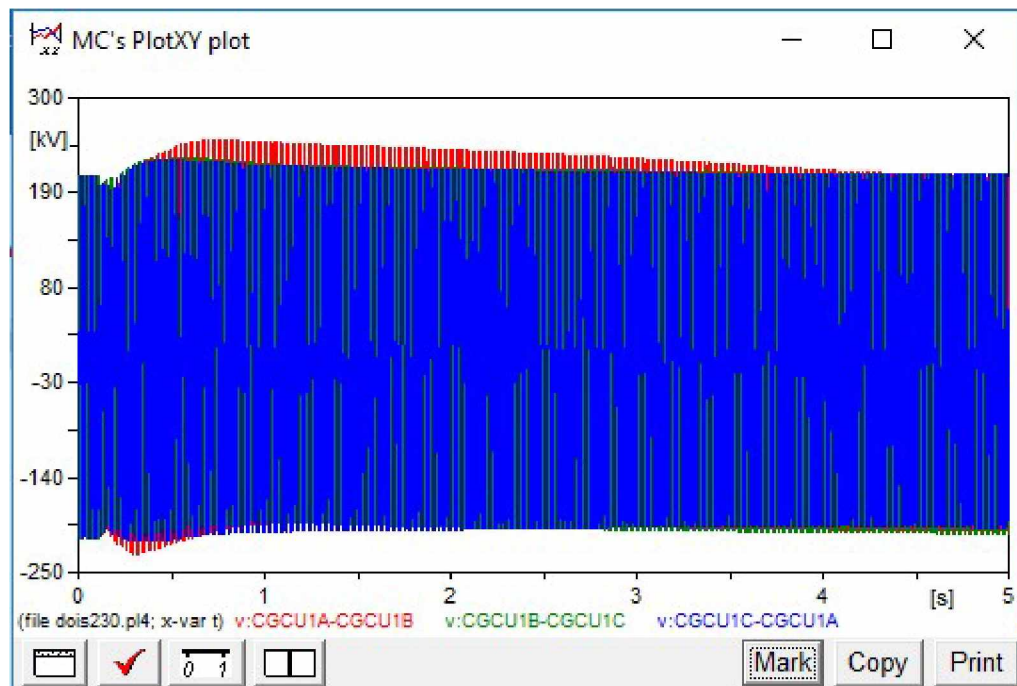
A figura 4.6 representa o perfil de tensão do barramento “Imbirissu 230kV”:

Figura 4.6 - Caso 1: Imbirissu 230kV.



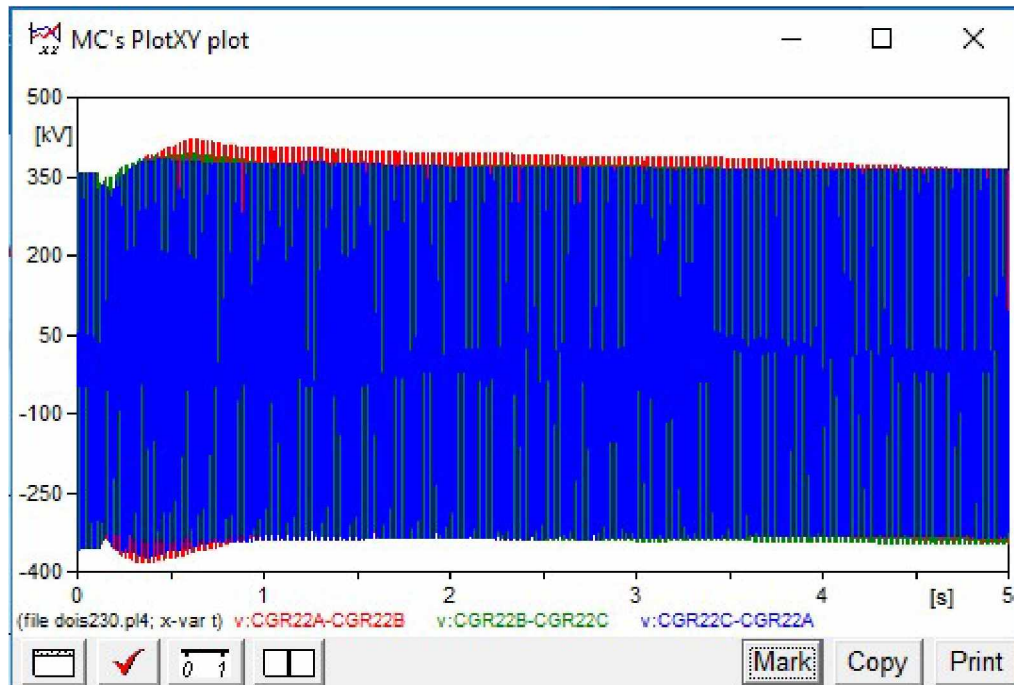
A figura 4.7 representa o perfil de tensão do barramento “CG Cuiabá 138kV”:

Figura 4.7 - Caso 1: CG Cuiabá 138kV.



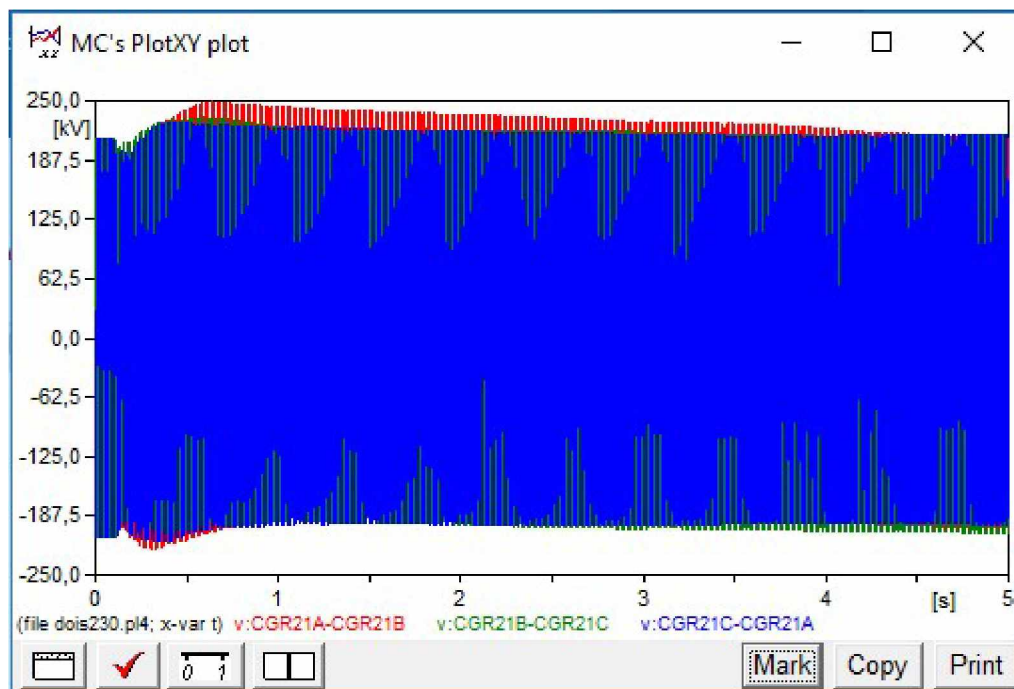
A figura 4.8 representa o perfil de tensão do barramento “Campo Grande 2 230kV”:

Figura 4.8 - Caso 1: Campo Grande 2 230kV.



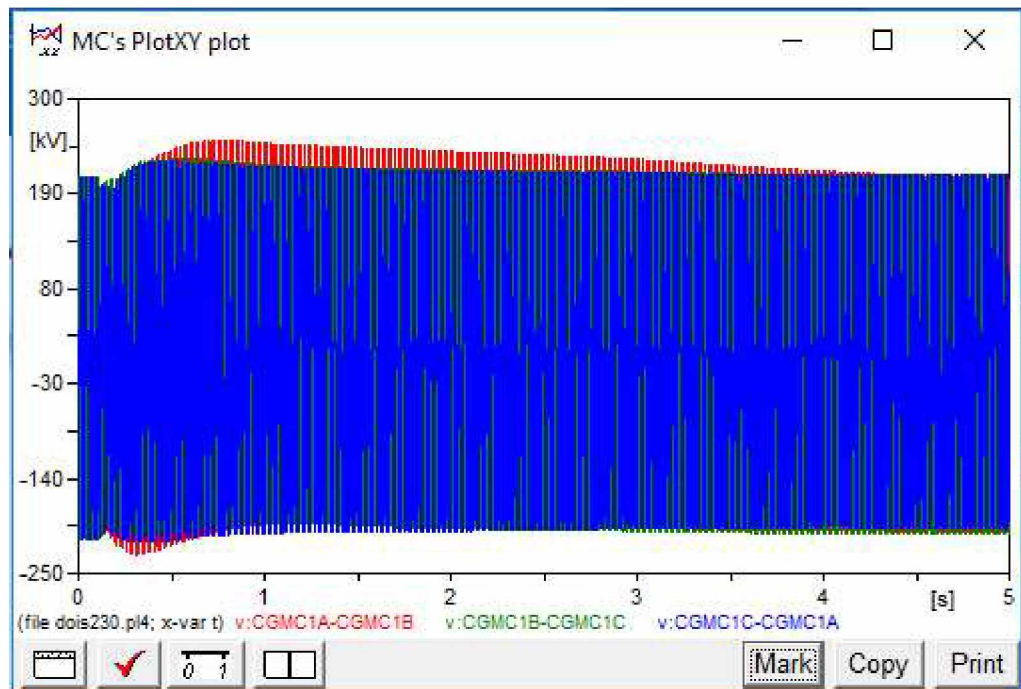
A figura 4.9 representa o perfil de tensão do barramento “Campo Grande 2 138kV”:

Figura 4.9 - Caso 1: Campo Grande 2 138kV.



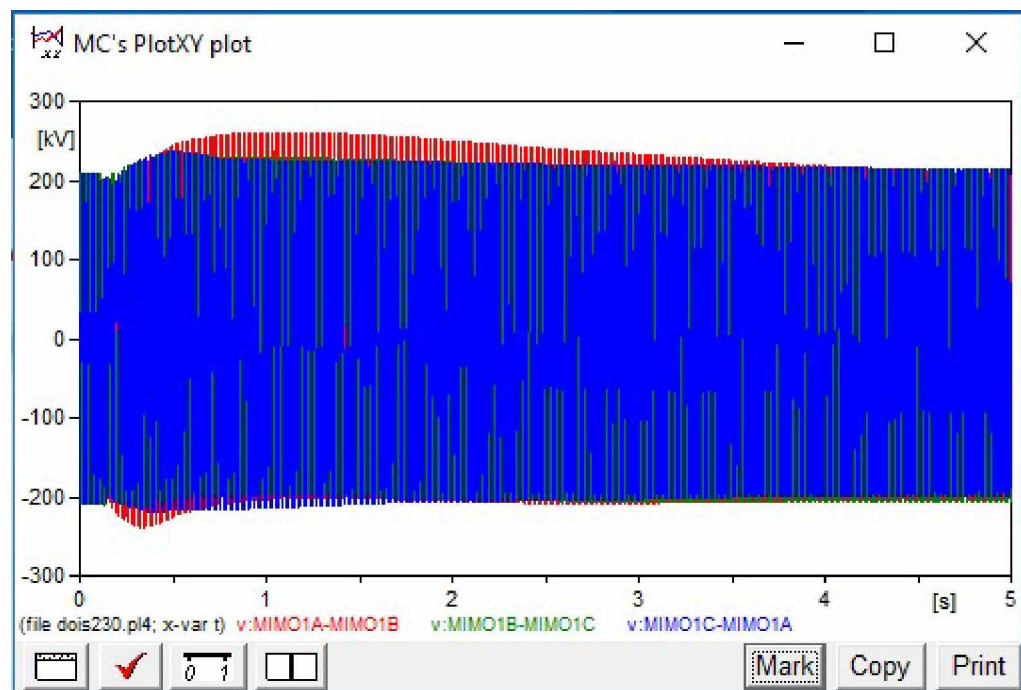
A figura 4.10 representa o perfil de tensão do barramento “CG M. Couto 138kV”:

Figura 4.10 - Caso 1: CG M. Couto 138kV.



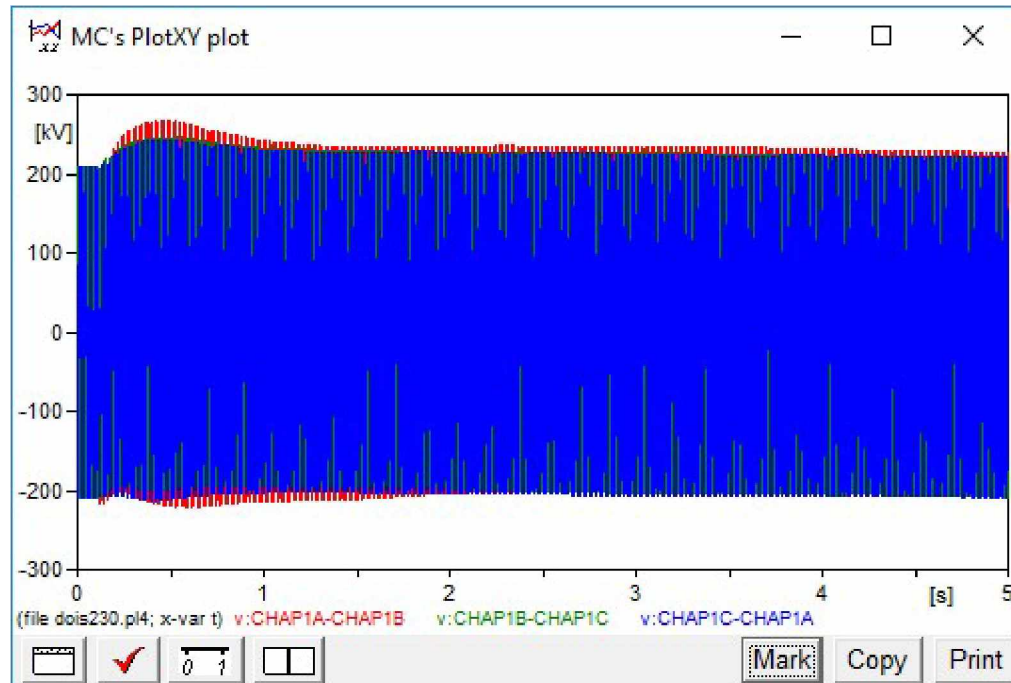
A figura 4.11 representa o perfil de tensão do barramento “Mimoso 138kV”:

Figura 4.11 - Caso 1: Mimoso 138kV.



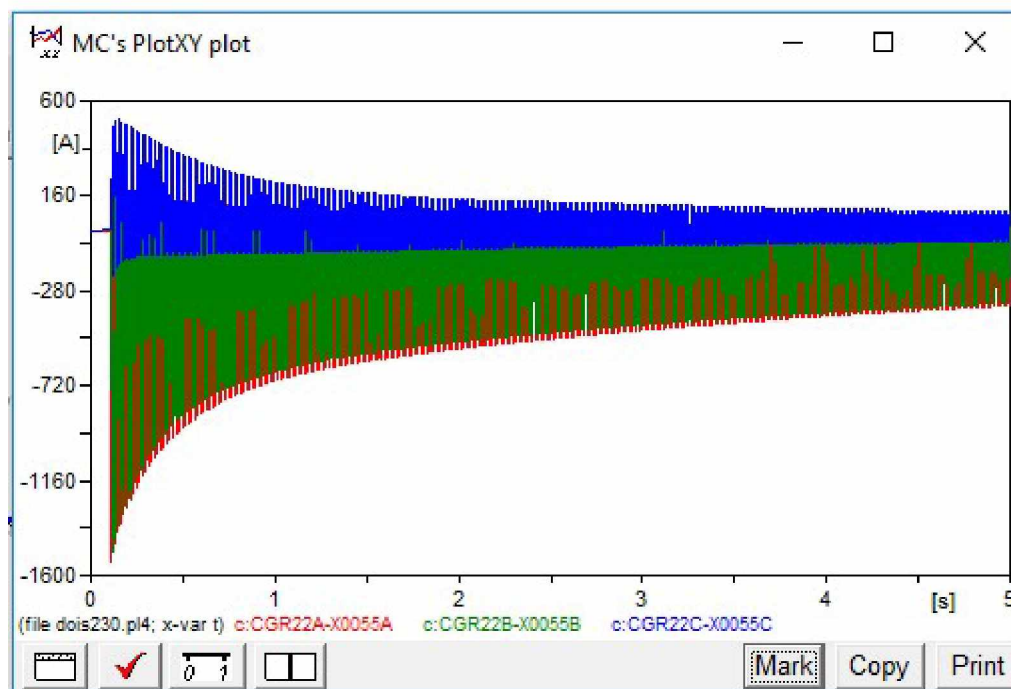
A figura 4.12 representa o perfil de tensão no barramento “Chapadão 138kV”:

Figura 4.12 - Caso 1: Chapadão 138kV.



A figura 4.13 representa o perfil da corrente de *inrush* do autotransformador energizado:

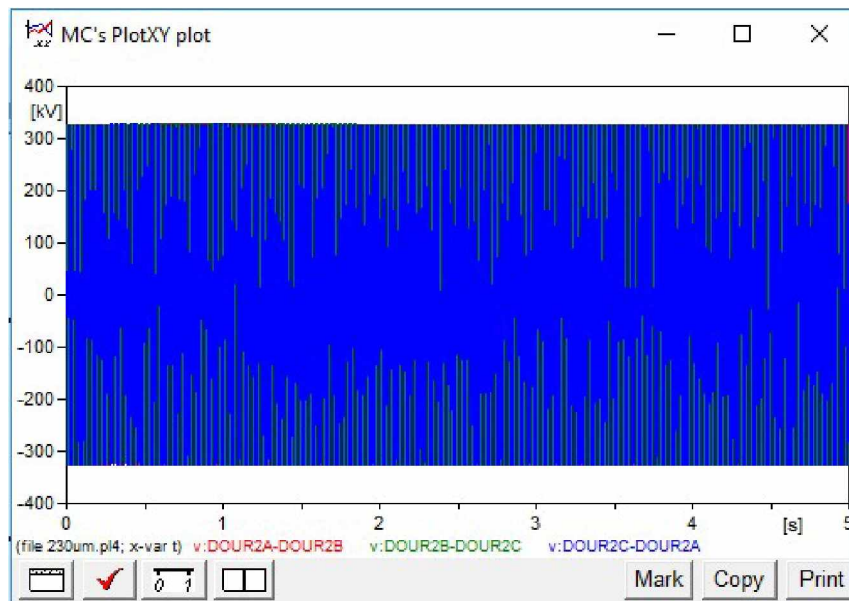
Figura 4.13 - Caso 1: Corrente de *Inrush*.



4.2 Caso 2: Energização pelo lado de 230kV com um autotransformador à vazio e o outro em funcionamento

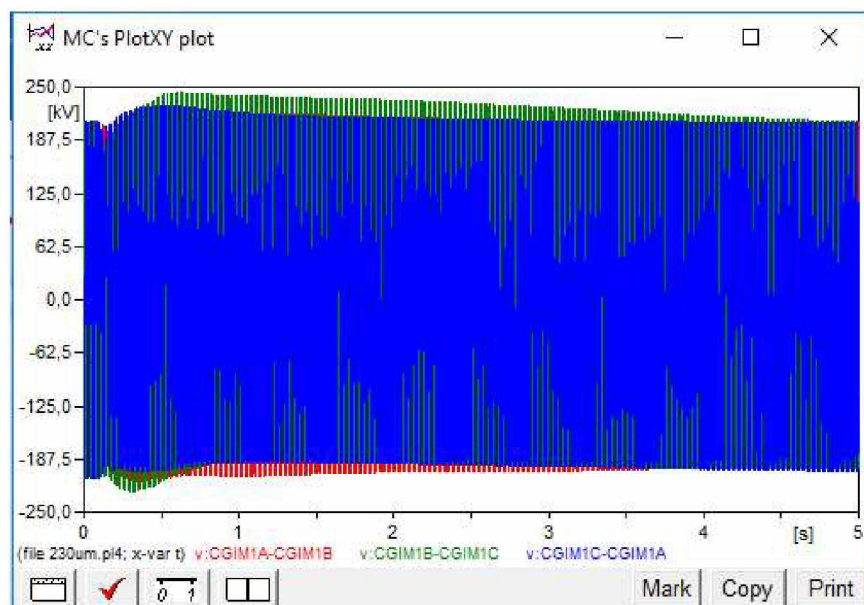
Nesse item serão mostrados os resultados das simulações referentes ao caso 2. A figura 4.14 representa o perfil de tensão do barramento “Dourados 230kV”:

Figura 4.14 - Caso 2: Dourados 230kV.



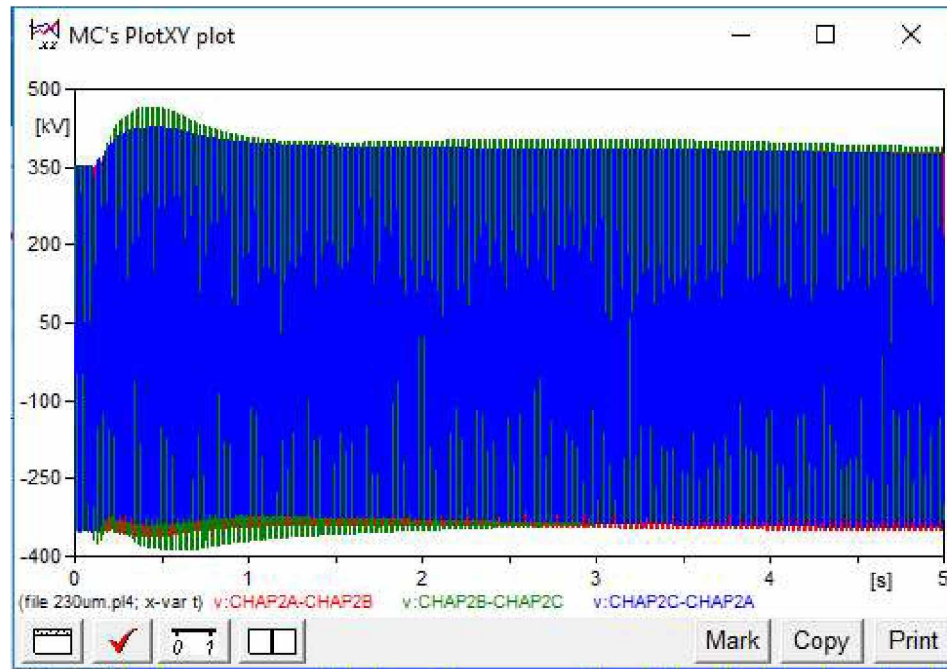
A Figura 4.15 representa o perfil de tensão do barramento “CG Imbirissu 138kV”:

Figura 4.15 - Caso 2: CG Imbirissu 138kV.



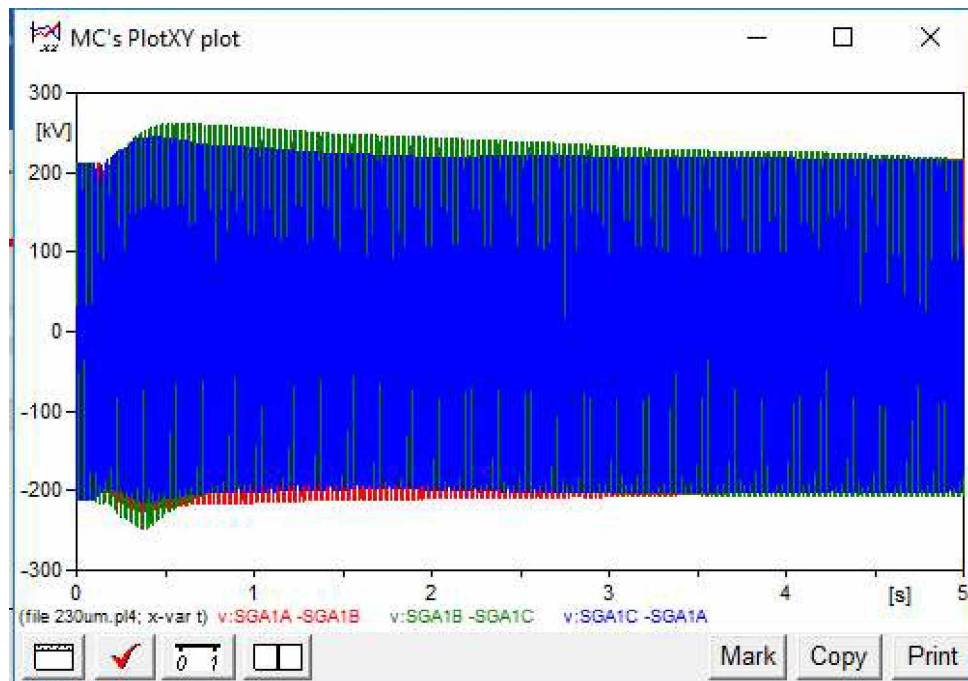
A Figura 4.16 representa o perfil de tensão do barramento “Chapadão 230kV”:

Figura 4.16 - Caso 2: Chapadão 230kV.



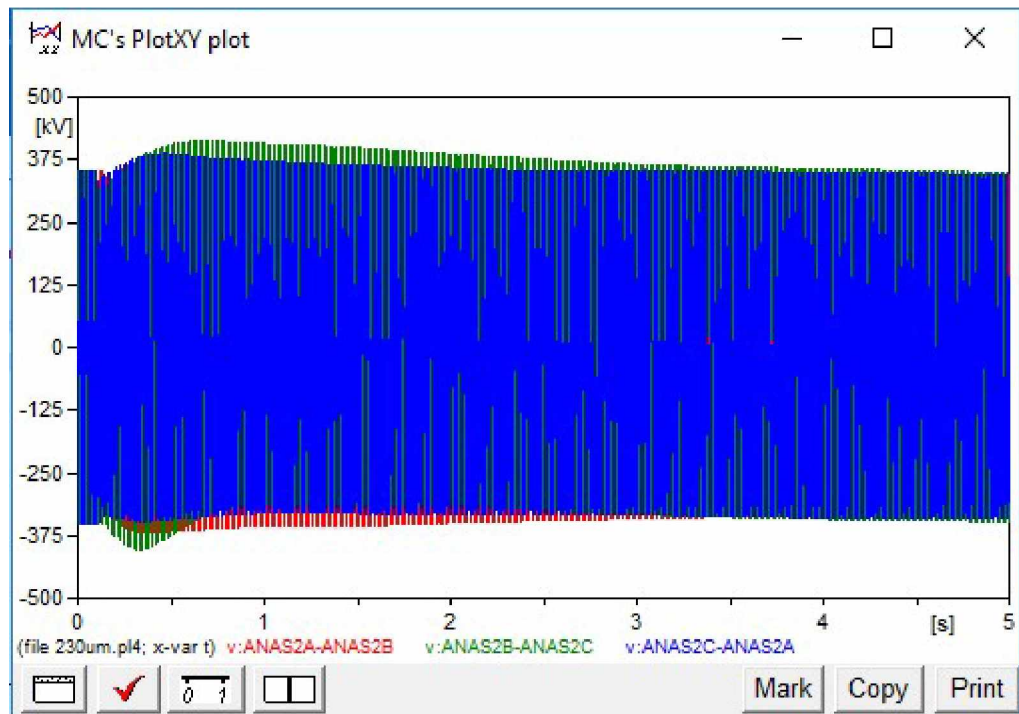
A figura 4.17 representa o perfil de tensão do barramento “São Gabriel 138kV”:

Figura 4.17 - Caso 2: São Gabriel 138kV.



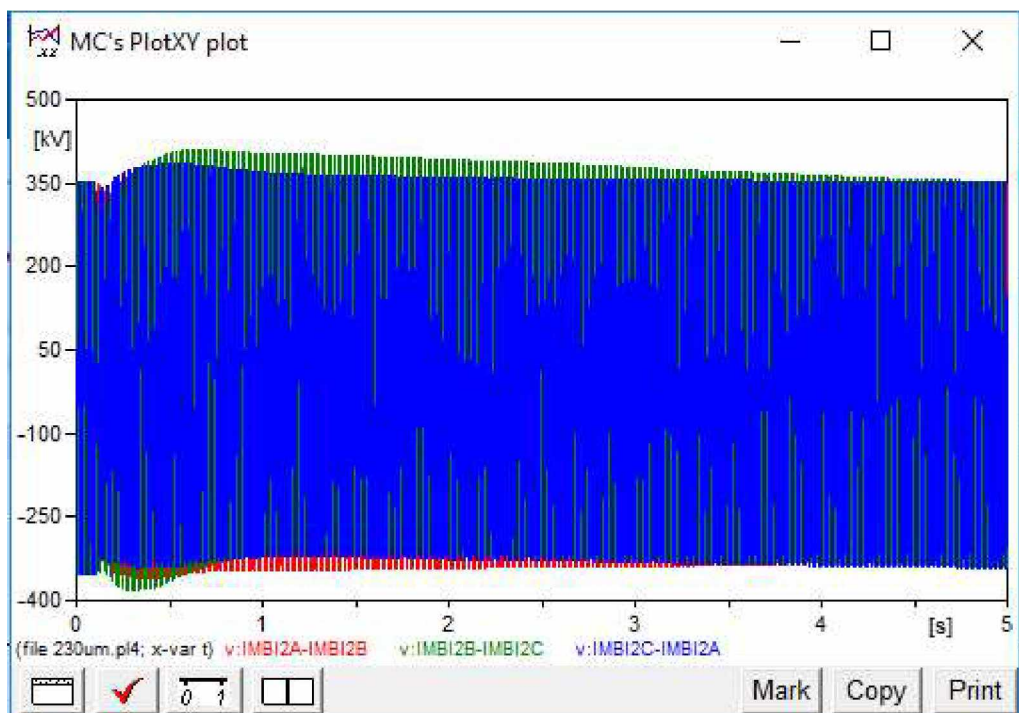
A figura 4.18 representa o perfil de tensão do barramento “Anastácio 230kV”:

Figura 4.18 - Caso 2: Anastácio 230kV.



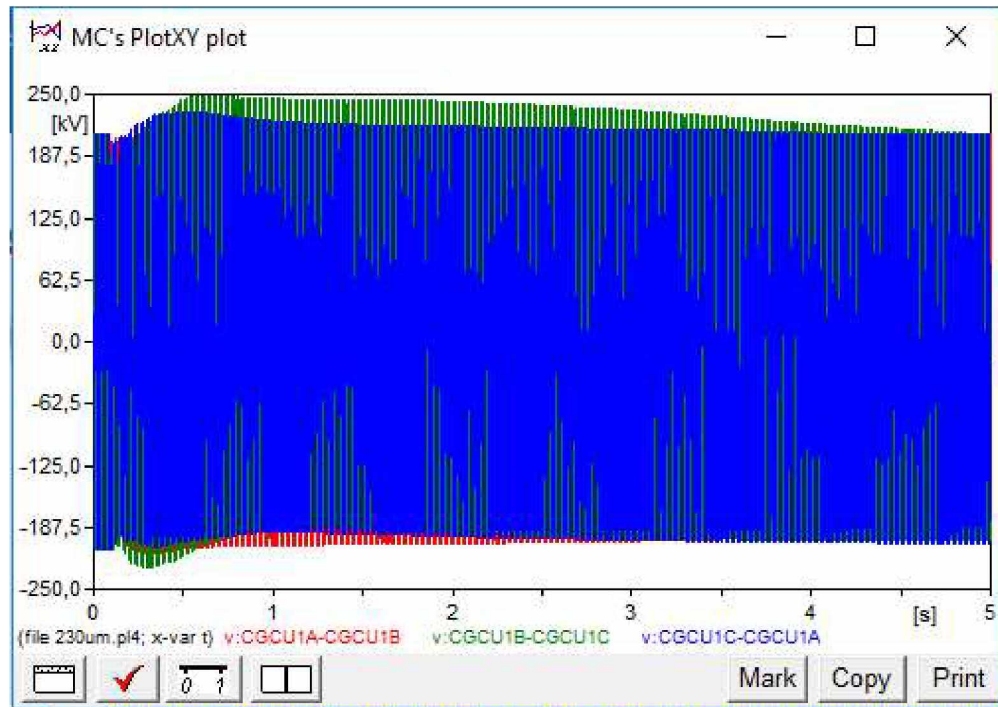
A figura 4.19 representa o perfil de tensão do barramento “Imbirissu 230kV”:

Figura 4.19 - Caso 2: Imbirissu 230kV.



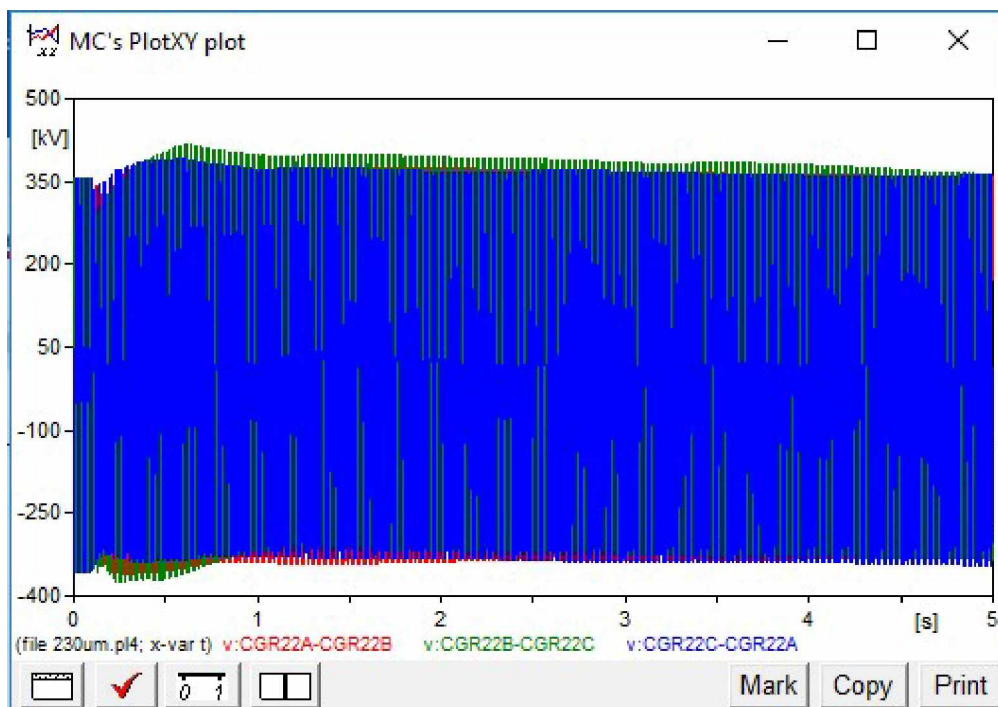
A figura 4.20 representa o perfil de tensão do barramento “CG Cuiabá 138kV”:

Figura 4.20 - Caso 2: CG Cuiabá 138kV.



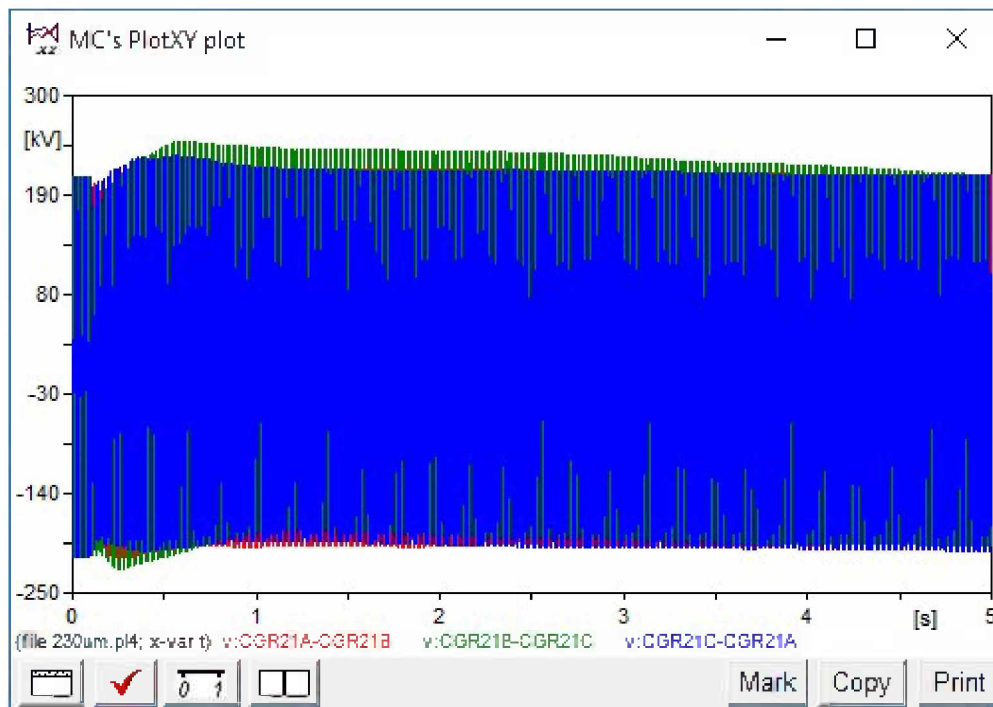
A figura 4.21 representa o perfil de tensão do barramento “Campo Grande 2 230kV”:

Figura 4.21 - Caso 2: Campo Grande 2 230kV.



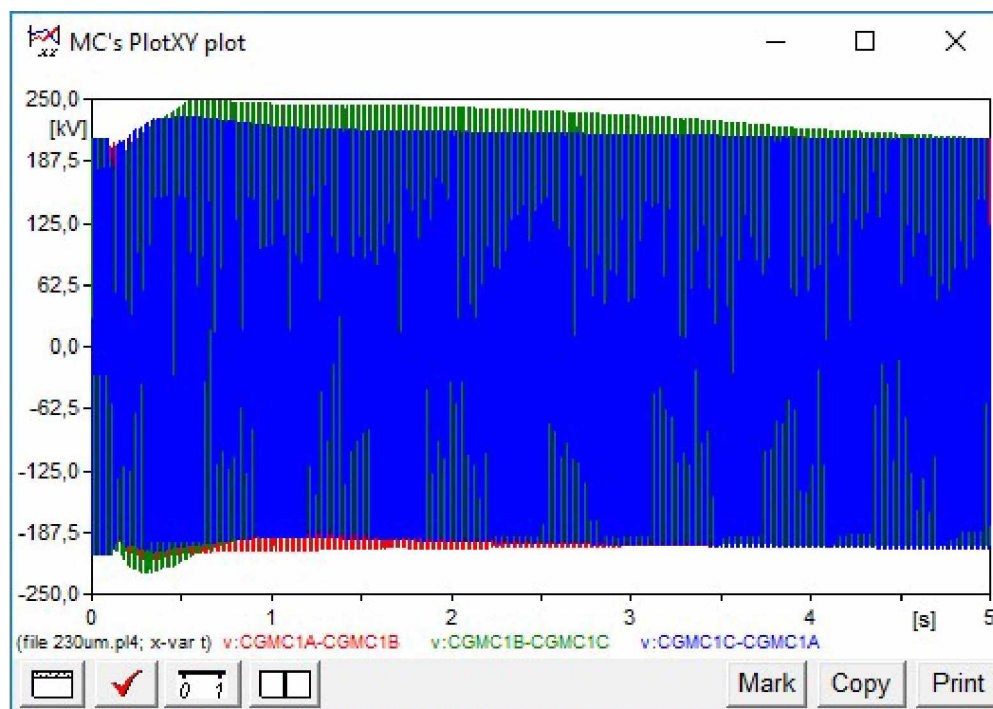
A figura 4.22 representa o perfil de tensão do barramento “Campo Grande 2 138kV”:

Figura 4.22 - Caso 2: Campo Grande 2 138kV.



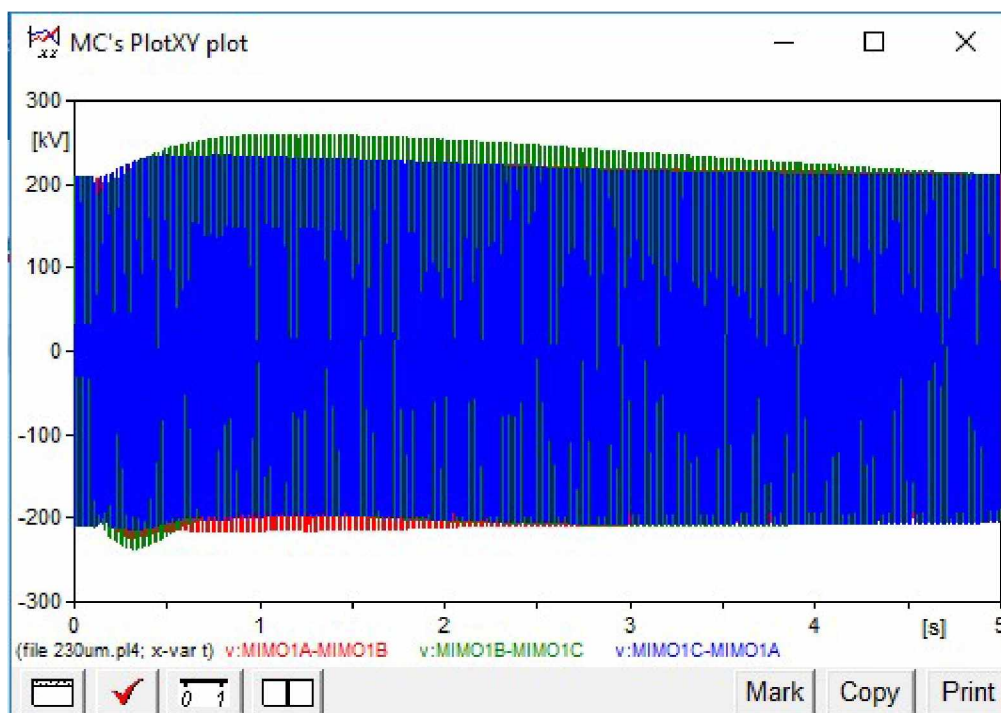
A figura 4.23 representa o perfil de tensão do barramento “CG M. Couto 138kV”:

Figura 4.23 - Caso 2: CG M. Couto 138kV.



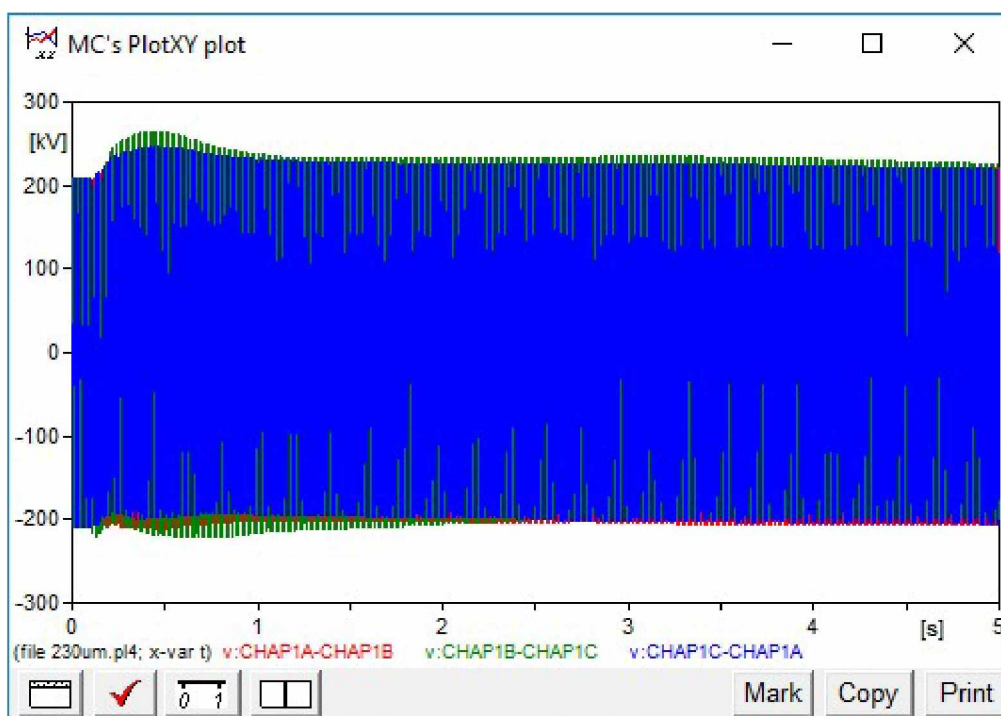
A figura 4.24 representa o perfil de tensão do barramento “Mimoso 138kV”:

Figura 4.24 - Caso 2: Mimoso 138kV.



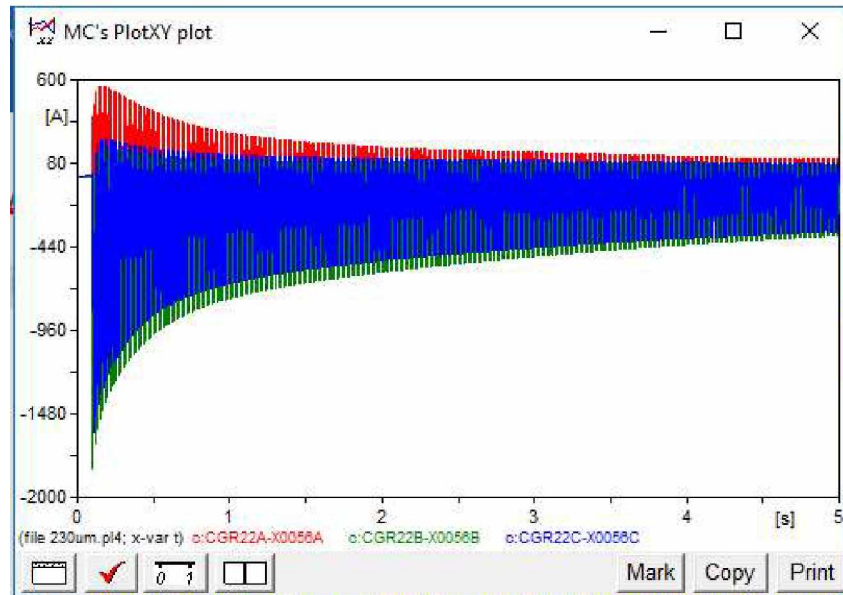
A figura 4.25 representa o perfil de tensão do barramento “Chapadão 138kV”:

Figura 4.25 - Caso 2: Chapadão 138kV.



A figura 4.26 representa o perfil da corrente de *inrush* do autotransformador energizado:

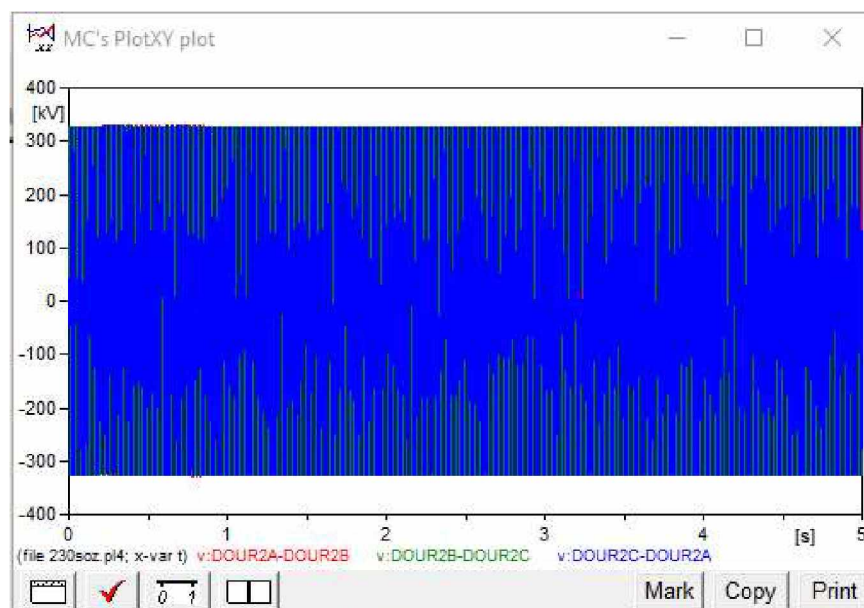
Figura 4.26 - Caso 2: Corrente de *Inrush*.



4.3 Caso 3: Energização pelo lado de 230kV com os dois outros autotransformadores à vazio

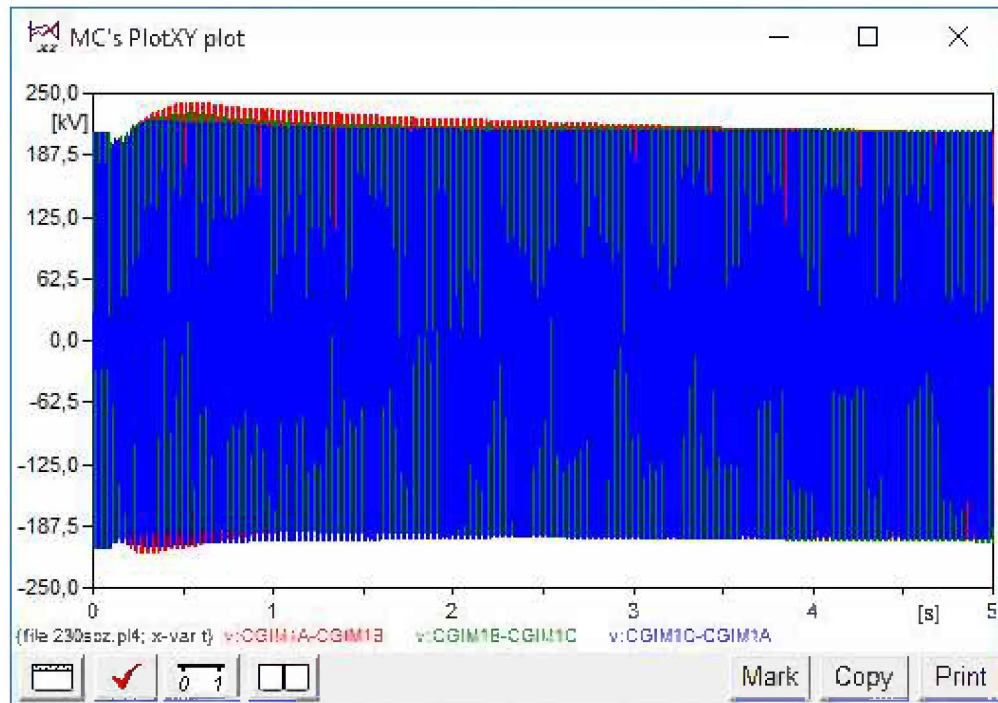
Nesse item serão mostrados os resultados das simulações referentes ao caso 3. A figura 4.27 representa o perfil de tensão do barramento “Dourados 230kV”:

Figura 4.27 - Caso 3: Dourados 230kV.



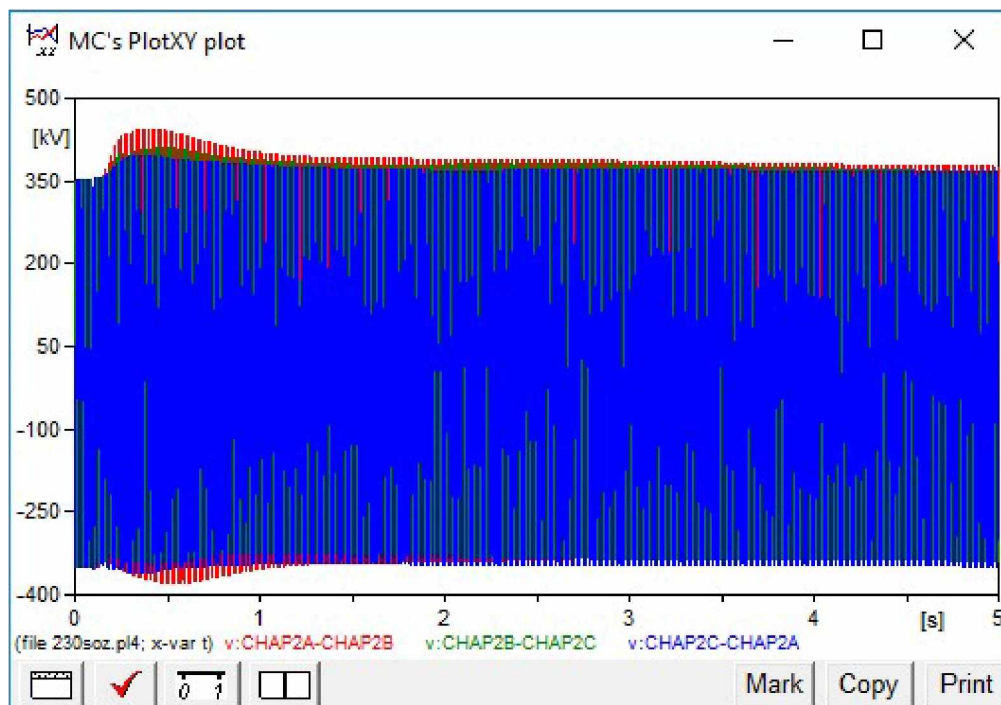
A figura 4.28 representa o perfil de tensão do barramento “CG Imbirissu 138kV”:

Figura 4.28 - Caso 3: CG Imbirissu 138kV.



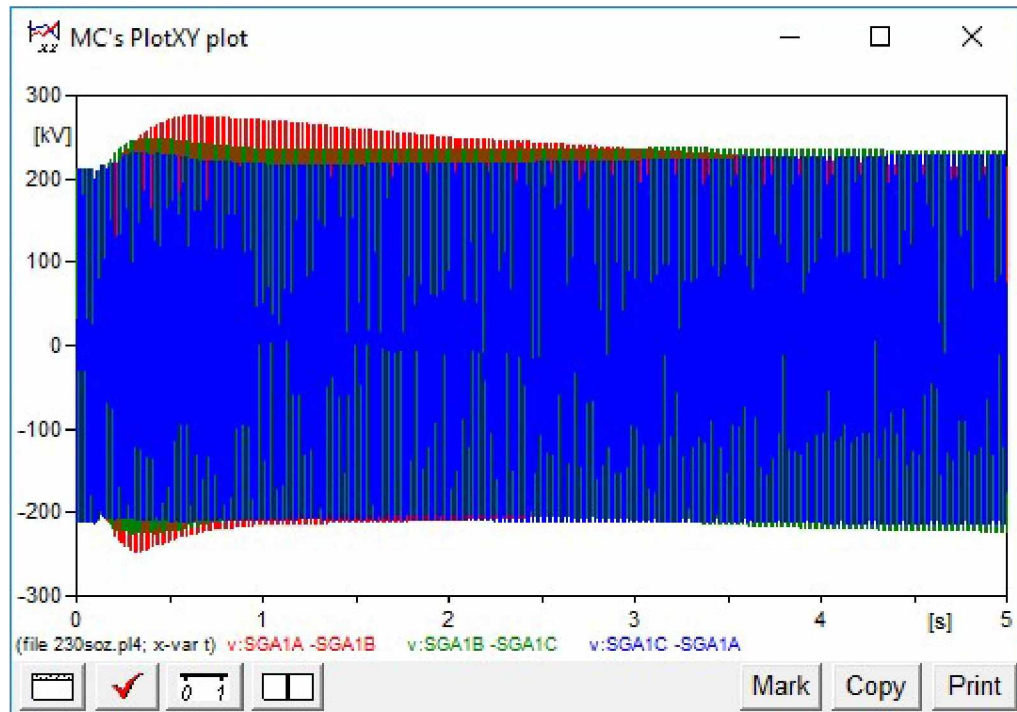
A figura 4.29 representa o perfil de tensão do barramento “Chapadão 230kV”:

Figura 4.29 - Caso 3: Chapadão 230kV.



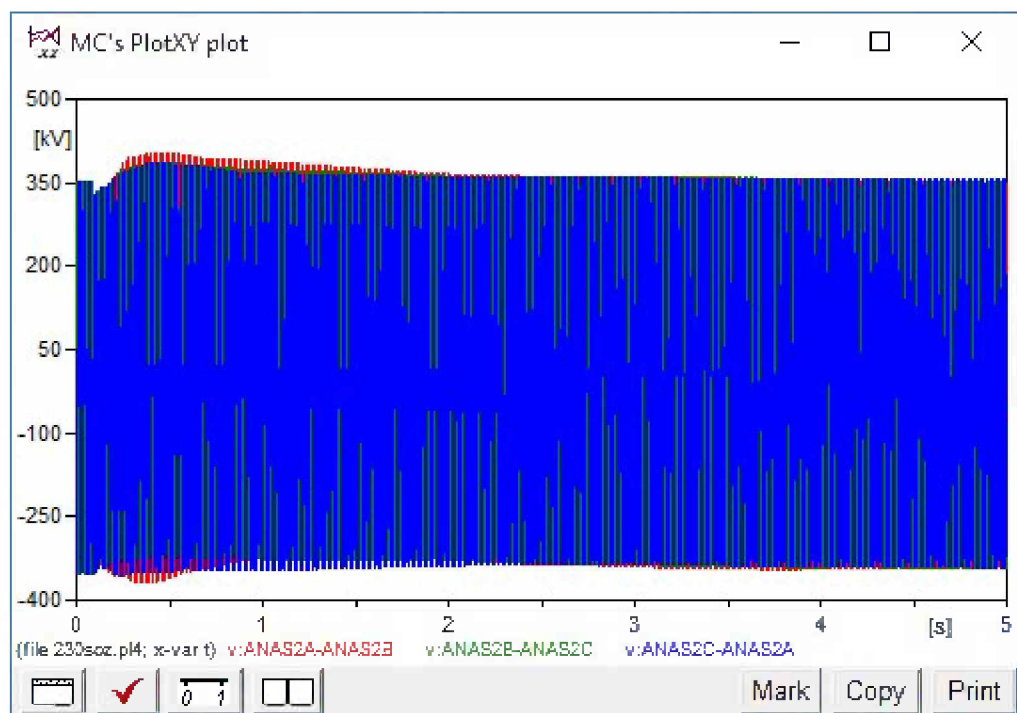
A figura 4.30 representa o perfil de tensão do barramento “São Gabriel 138kV”:

Figura 4.30 - Caso 3: São Gabriel 138kV.



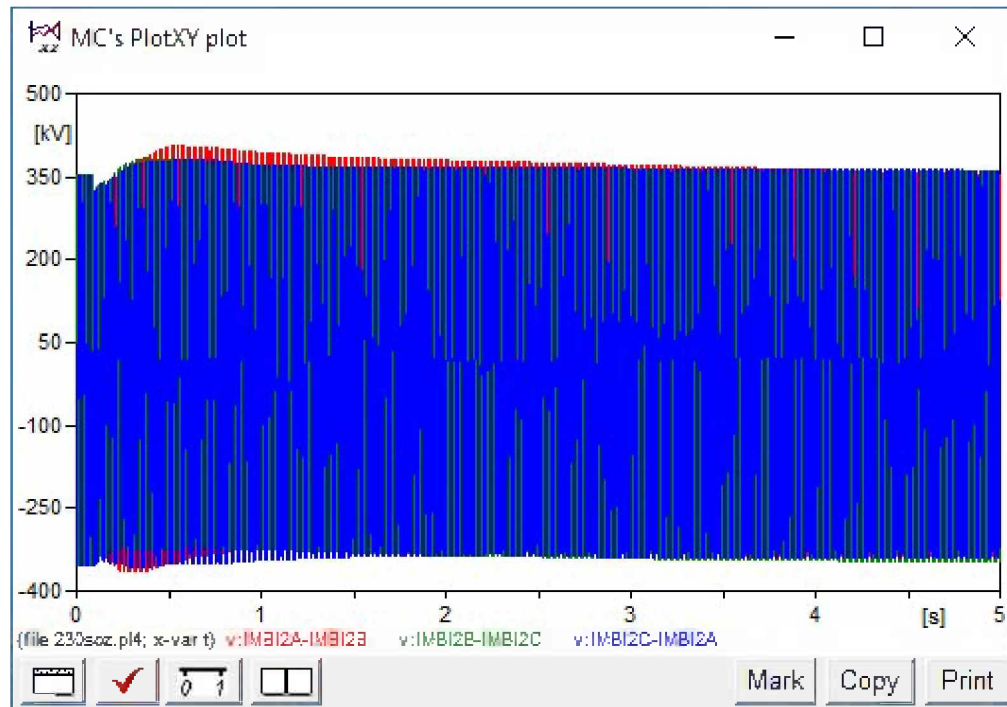
A figura 4.31 representa o perfil de tensão do barramento “Anastácio 230kV”:

Figura 4.31 - Caso 3: Anastácio 230kV.



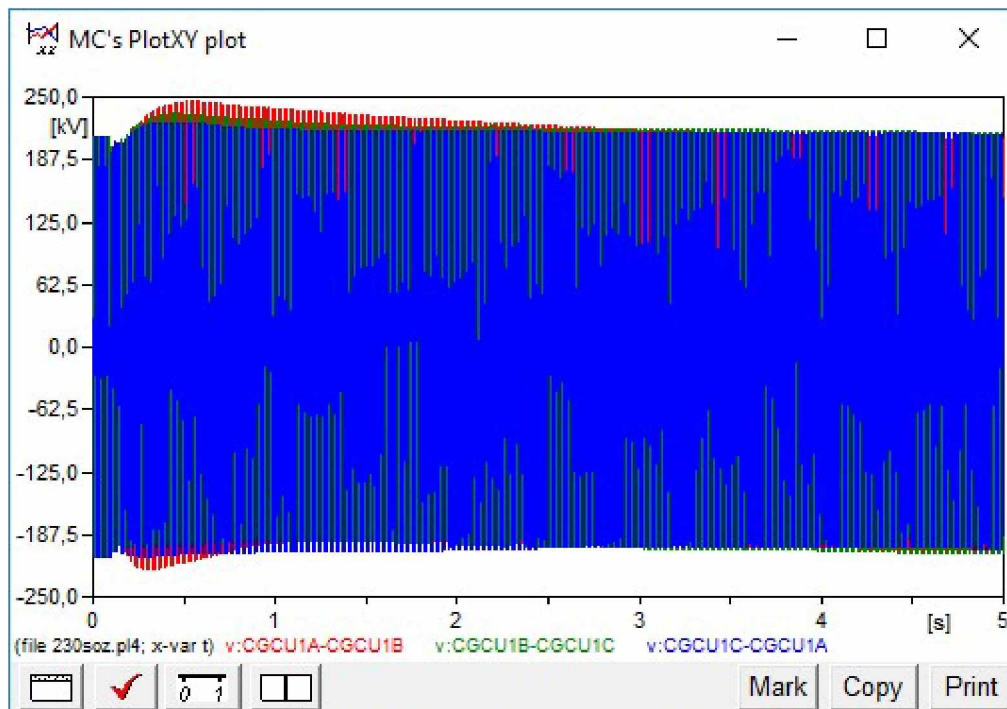
A figura 4.32 representa o perfil de tensão do barramento “Imbirissu 230kV”:

Figura 4.32 - Caso 3: Imbirissu 230kV.



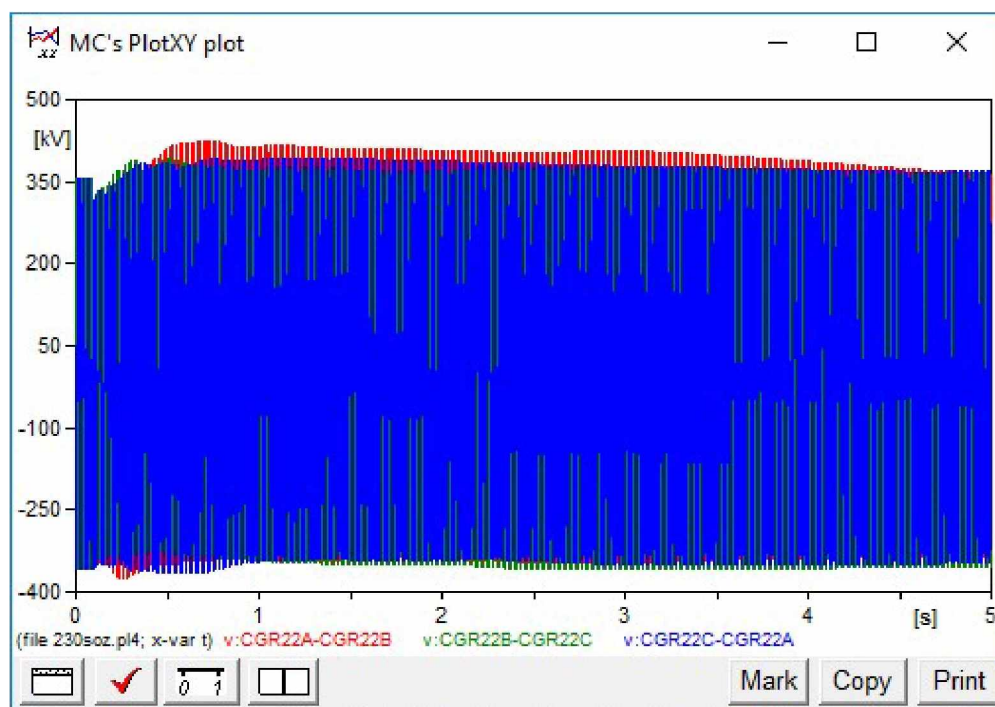
A figura 4.33 representa o perfil de tensão do barramento “CG Cuiabá 138kV”:

Figura 4.33 - Caso 3: CG Cuiabá 138kV.



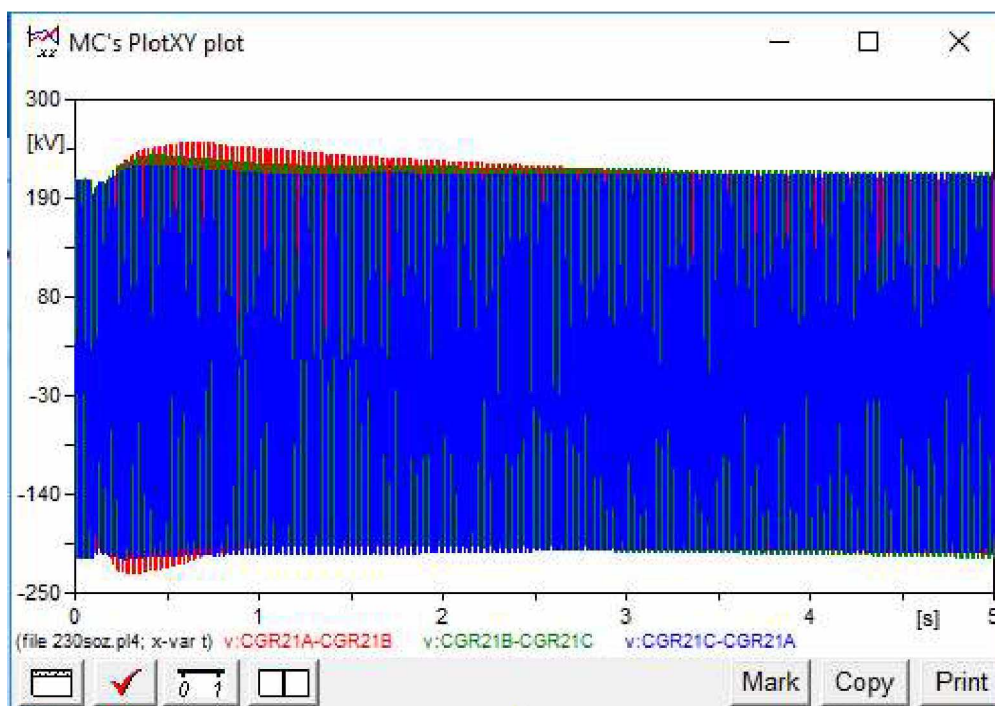
A figura 4.34 representa o perfil de tensão do barramento “Campo Grande 2 230kV”:

Figura 4.34 - Caso 3: Campo Grande 2 230kV.



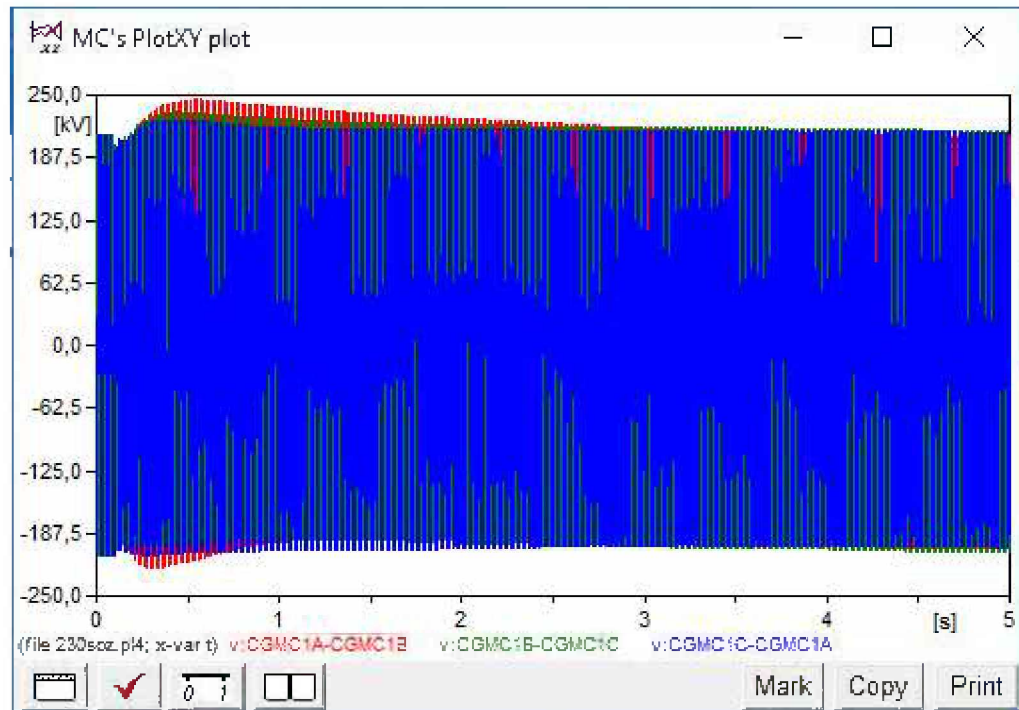
A figura 4.35 representa o perfil de tensão do barramento “Campo Grande 2 138kV”:

Figura 4.35 - Caso 3: Campo Grande 2 138kV.



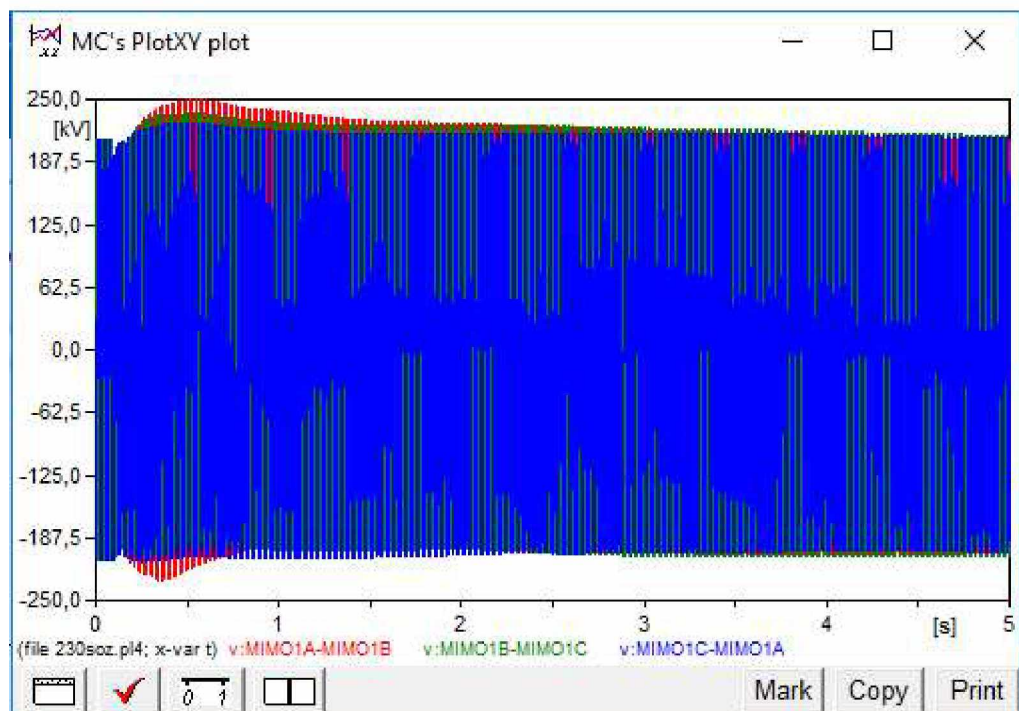
A figura 4.36 representa o perfil de tensão do barramento “CG M. Couto 138kV”:

Figura 4.36 - Caso 3: CG M. Couto 138kV.



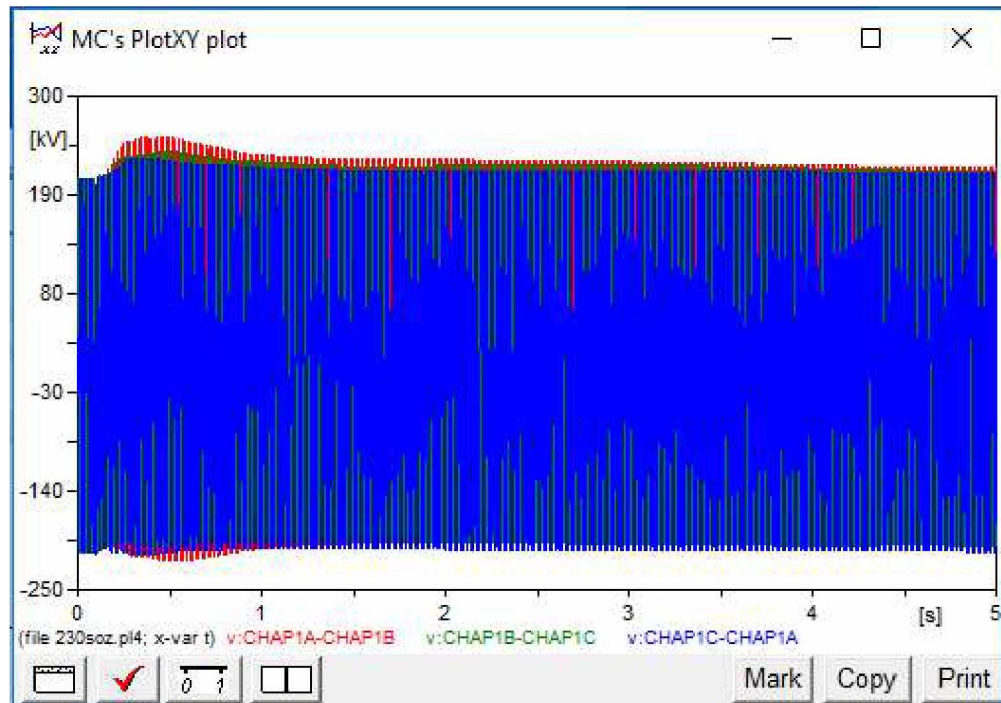
A figura 4.37 representa o perfil de tensão do barramento “Mimoso 138kV”:

Figura 4.37 - Caso 3: Mimoso 138kV.



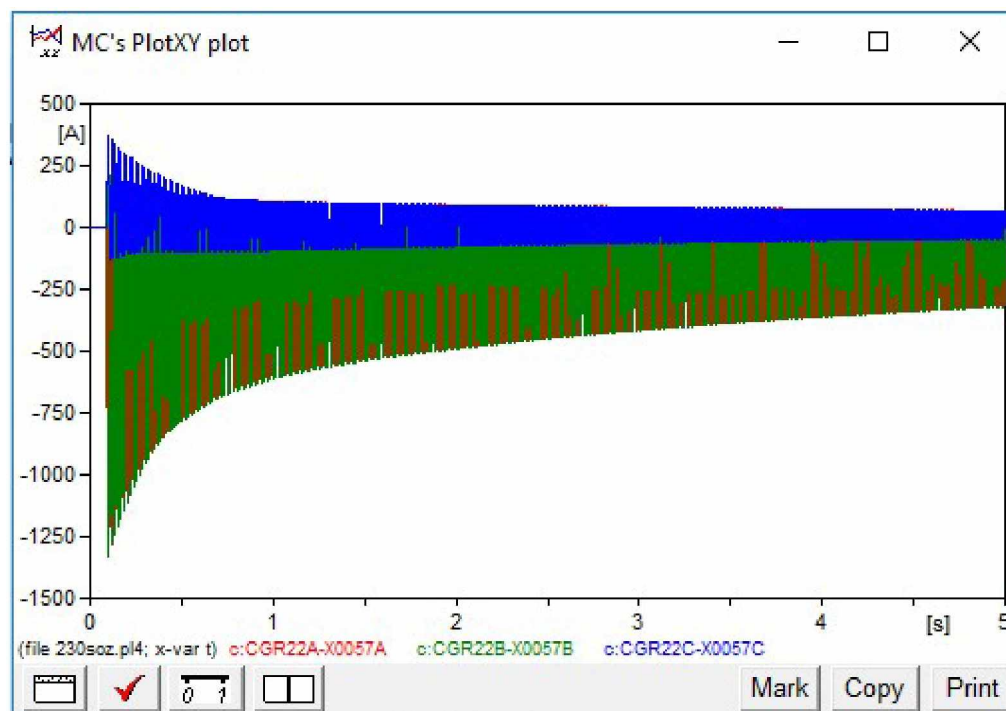
A figura 4.38 representa o perfil de tensão do barramento “Chapadão 138kV”:

Figura 4.38 - Caso 3: Chapadão 138kV.



A figura 4.39 representa o perfil da corrente de *inrush* do autotransformador energizado:

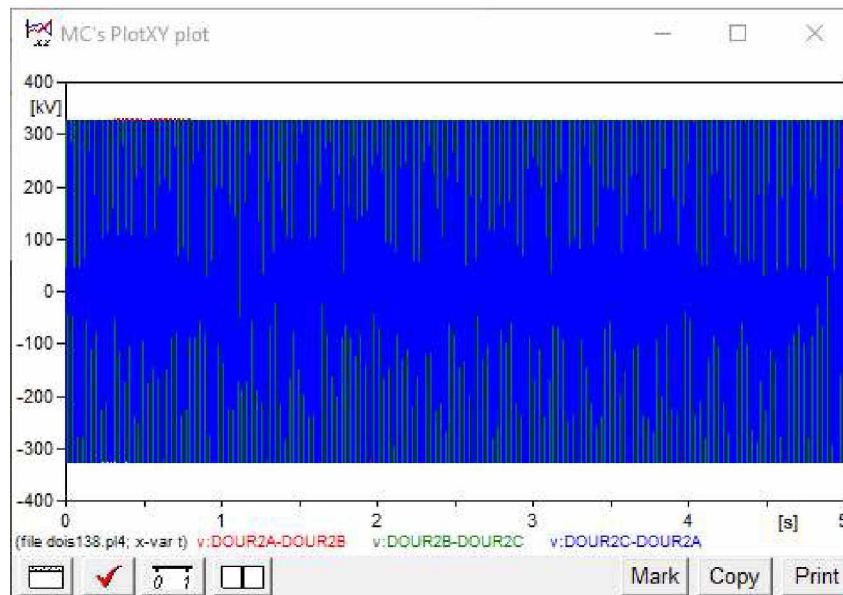
Figura 4.39 - Caso 3: Corrente de *Inrush*.



4.4 Caso 4: Energização pelo lado de 138kV com os outros dois autotransformadores em funcionamento

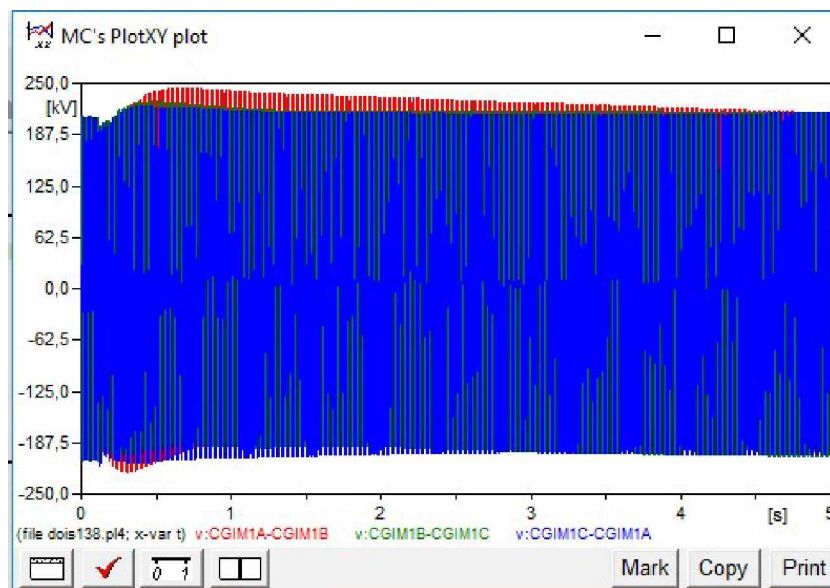
Nesse item serão mostrados os resultados das simulações referentes ao caso 4. A figura 4.40 representa o perfil de tensão do barramento “Dourados 230kV”:

Figura 4.40 - Caso 4: Dourados 230kV.



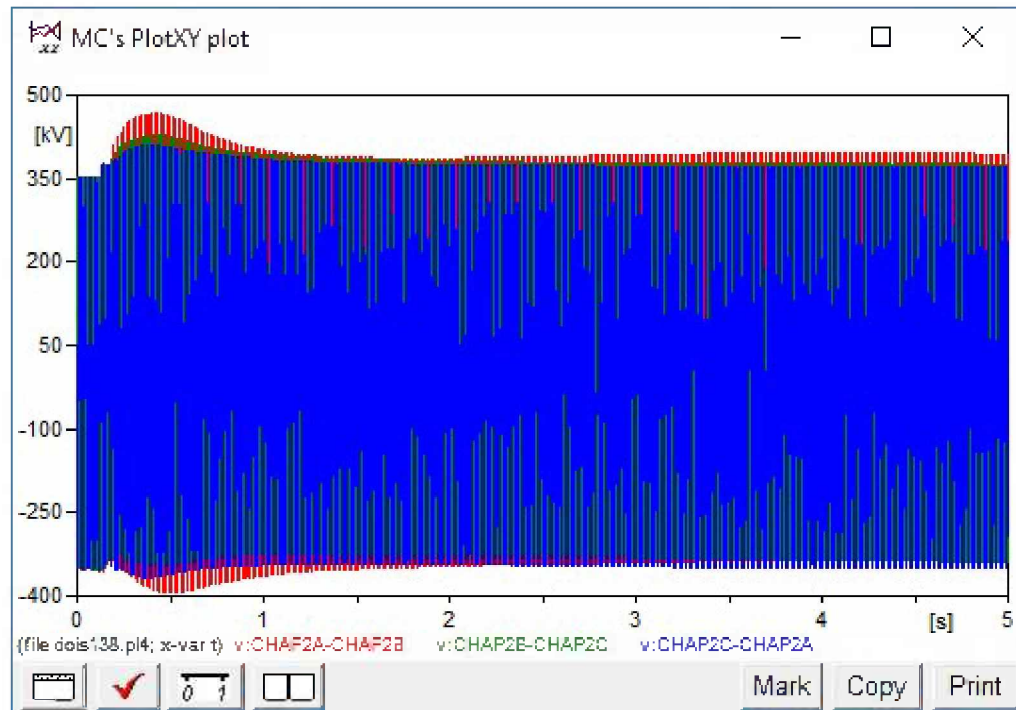
A figura 4.41 representa o perfil de tensão do barramento “CG Imbirissu 138kV”:

Figura 4.41 - Caso 4: CG Imbirissu 138kV.



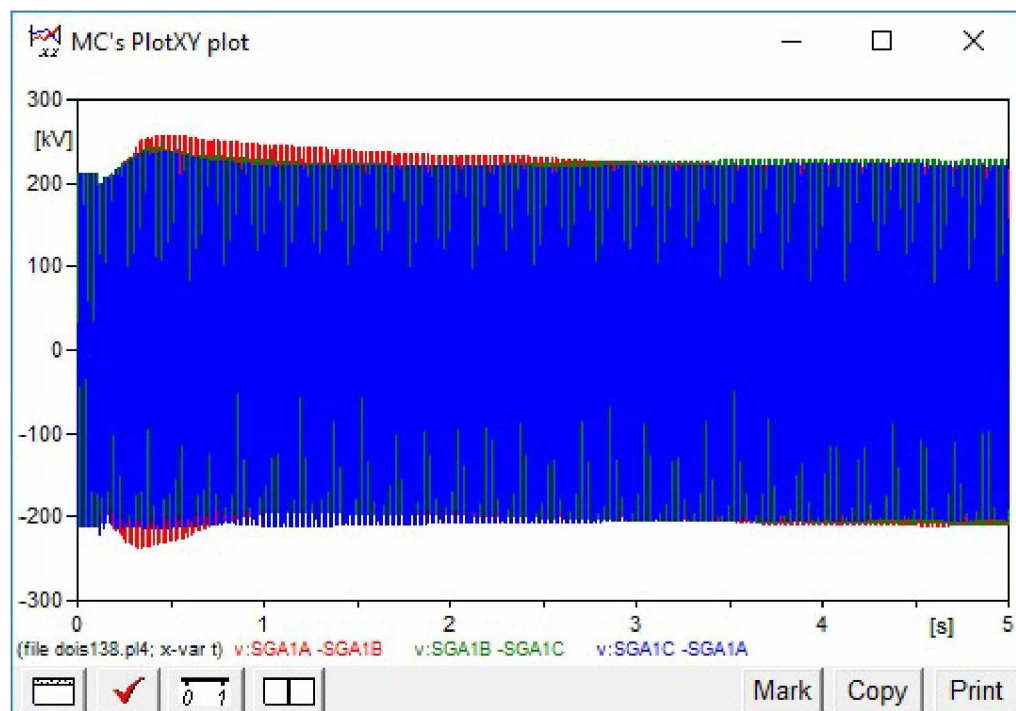
A figura 4.42 representa o perfil de tensão do barramento “Chapadão 230kV”:

Figura 4.42 - Caso 4: Chapadão 230kV.



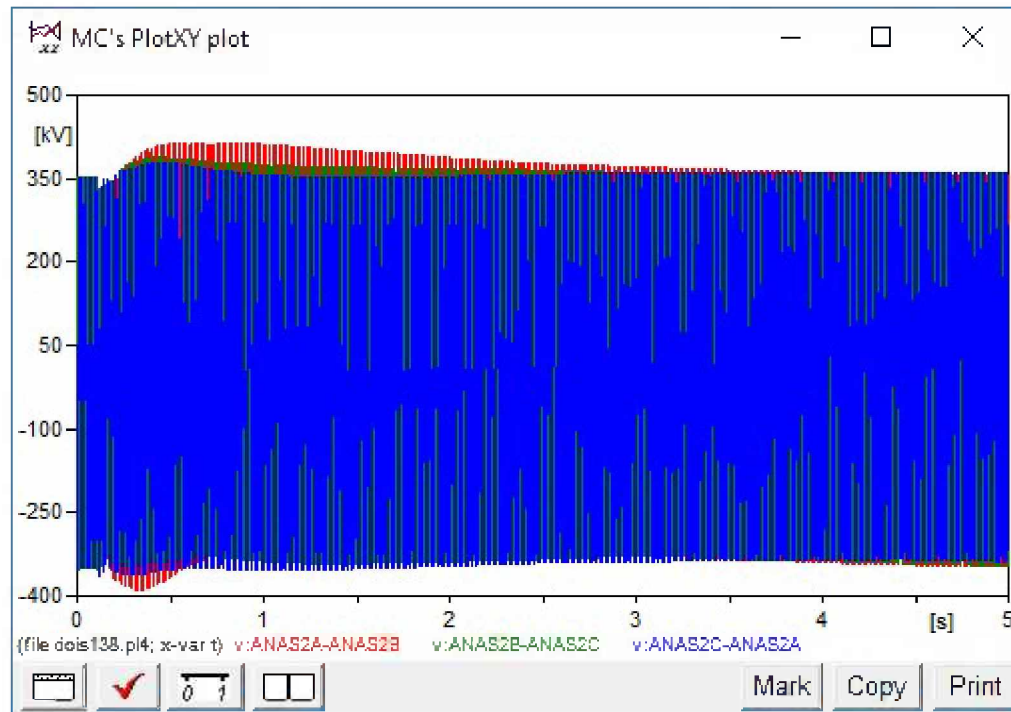
A figura 4.43 representa o perfil de tensão do barramento “São Gabriel 138kV”:

Figura 4.43 - Caso 4: São Gabriel 138kV.



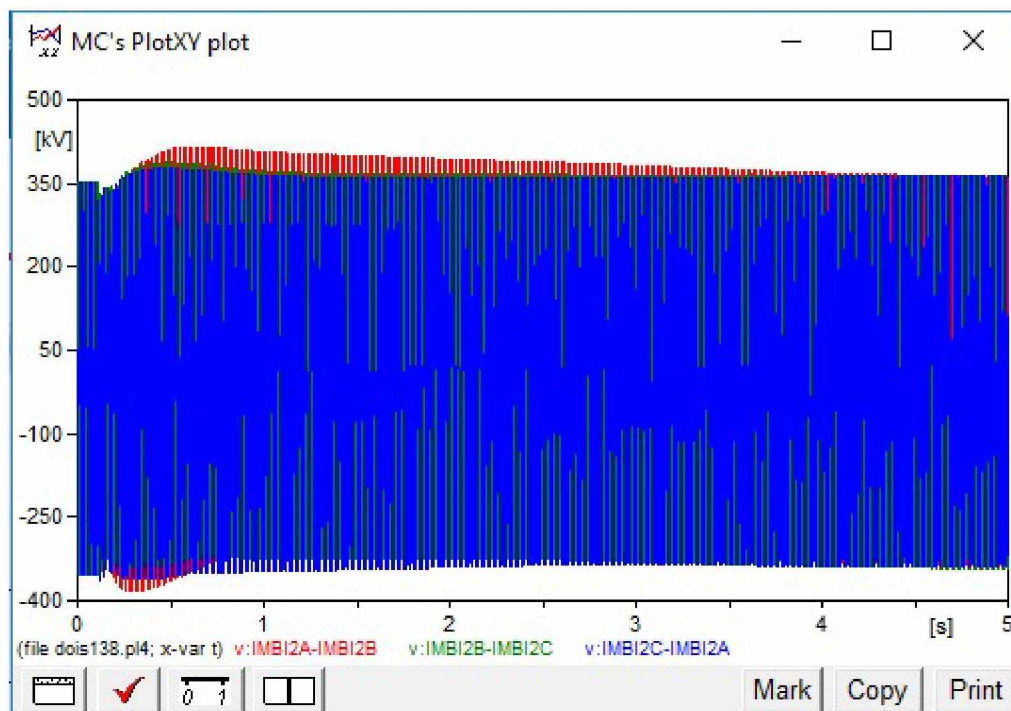
A figura 4.44 representa o perfil de tensão do barramento “Anastácio 230kV”:

Figura 4.44 - Caso 4: Anastácio 230kV.



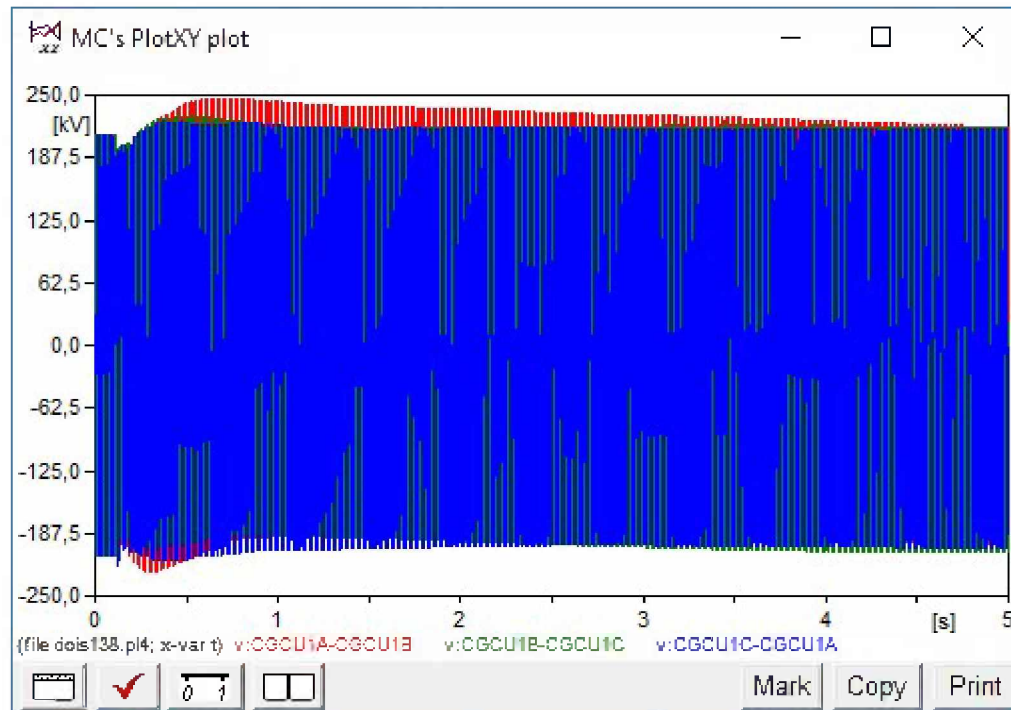
A figura 4.45 representa o perfil de tensão do barramento “Imbirissu 230kV”:

Figura 4.45 - Caso 4: Imbirissu 230kV.



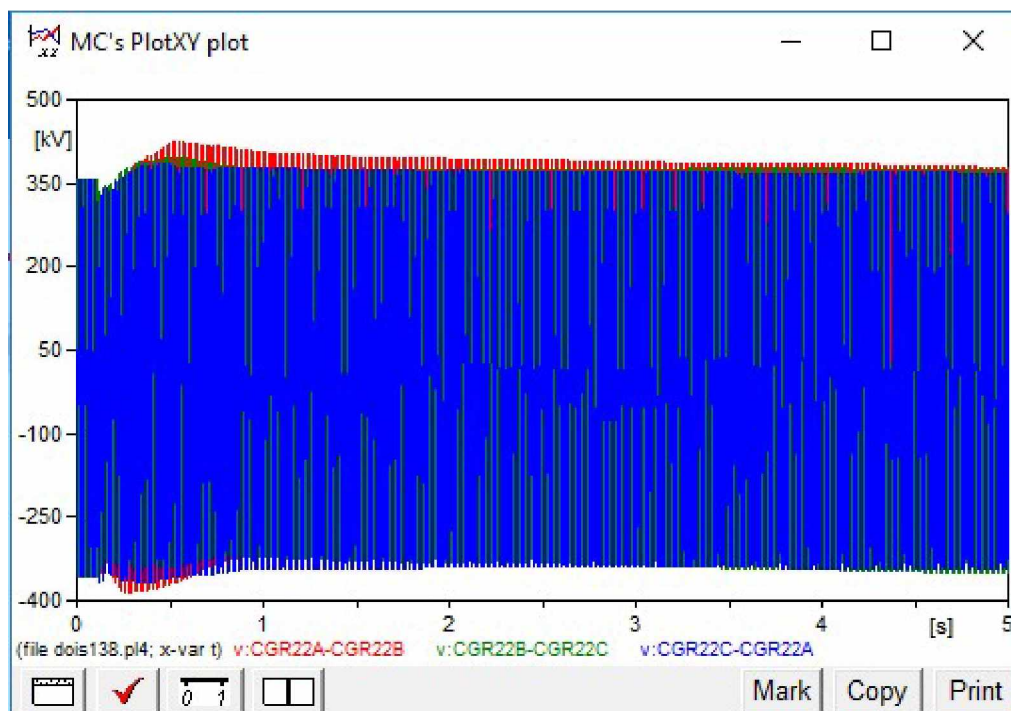
A figura 4.46 representa o perfil de tensão do barramento “CG Cuiabá 138kV”:

Figura 4.46 - Caso 4: CG Cuiabá 138kV.



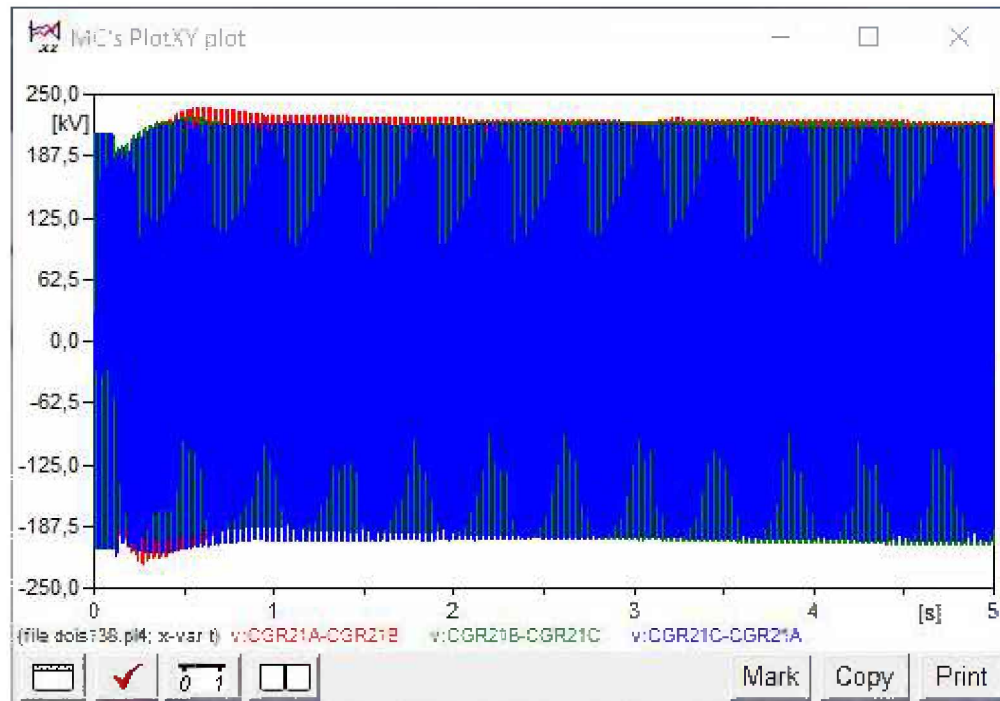
A figura 4.47 representa o perfil de tensão do barramento “Campo Grande 2 230kV”:

Figura 4.47 - Caso 4: Campo Grande 2 230kV.



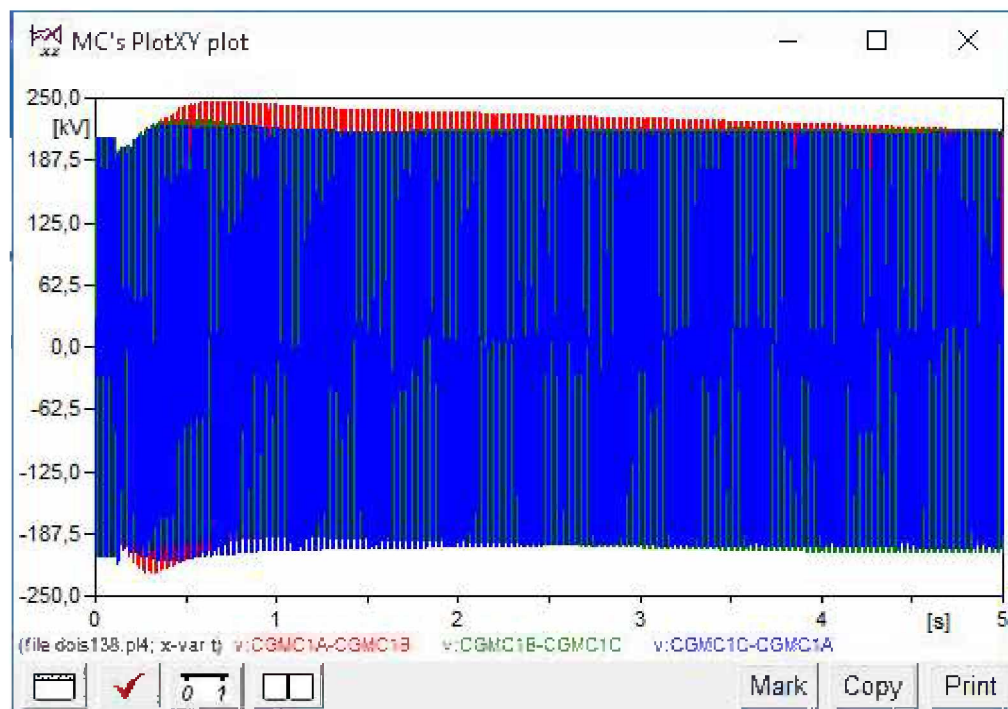
A figura 4.48 representa o perfil de tensão do barramento “Campo Grande 2 138kV”:

Figura 4.48 - Caso 4: Campo Grande 2 138kV.



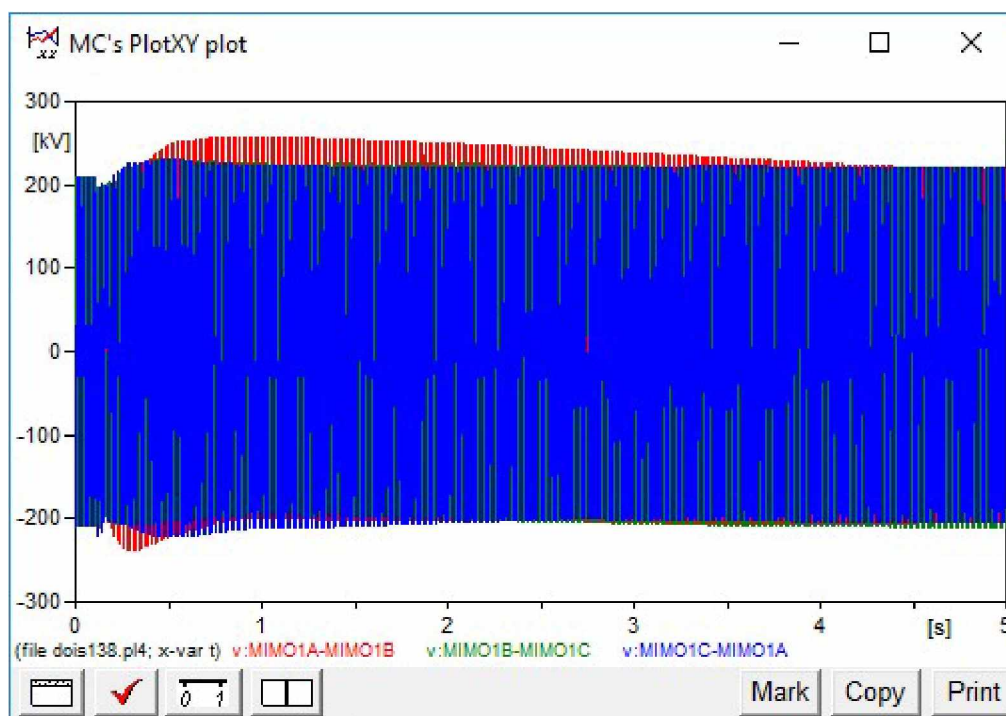
A figura 4.49 representa o perfil de tensão do barramento “CG M. Couto 138kV”:

Figura 4.49 - Caso 4: CG M. Couto 138kV.



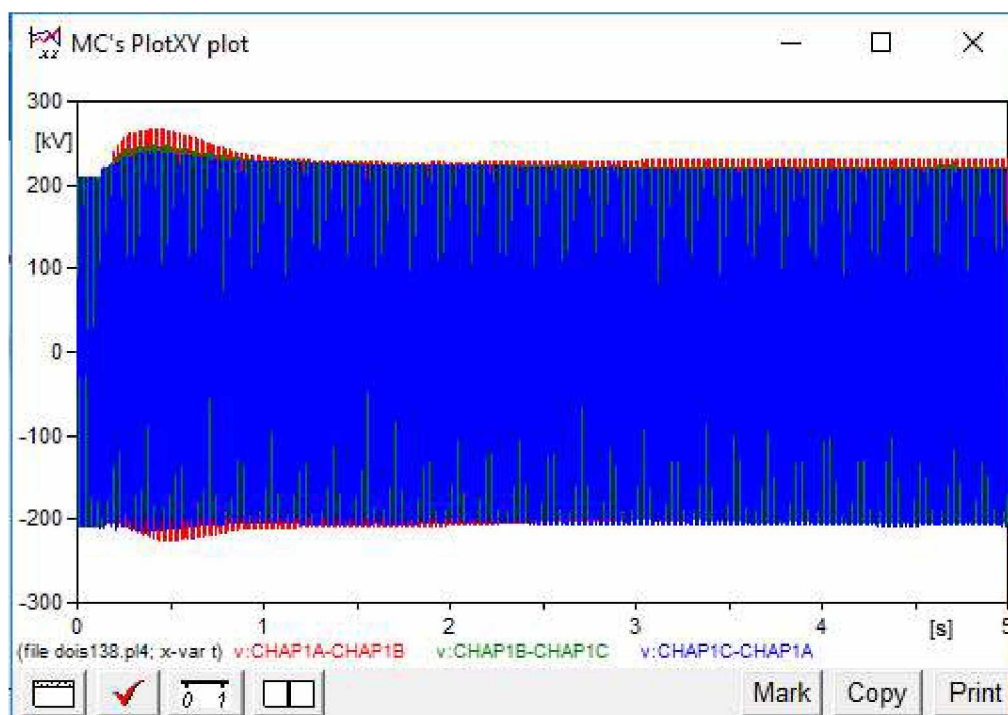
A figura 4.50 representa o perfil de tensão do barramento “Mimoso 138kV”:

Figura 4.50 - Caso 4: Mimoso 138kV.



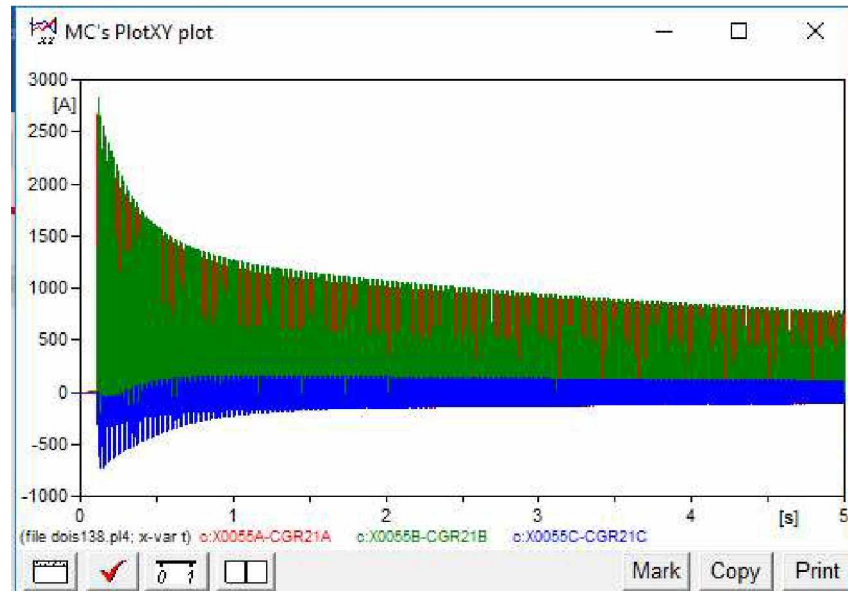
A figura 4.51 representa o perfil de tensão do barramento “Chapadão 138kV”:

Figura 4.51 - Caso 4: Chapadão 138kV.



A figura 4.52 representa o perfil da corrente de *inrush* do autotransformador energizado:

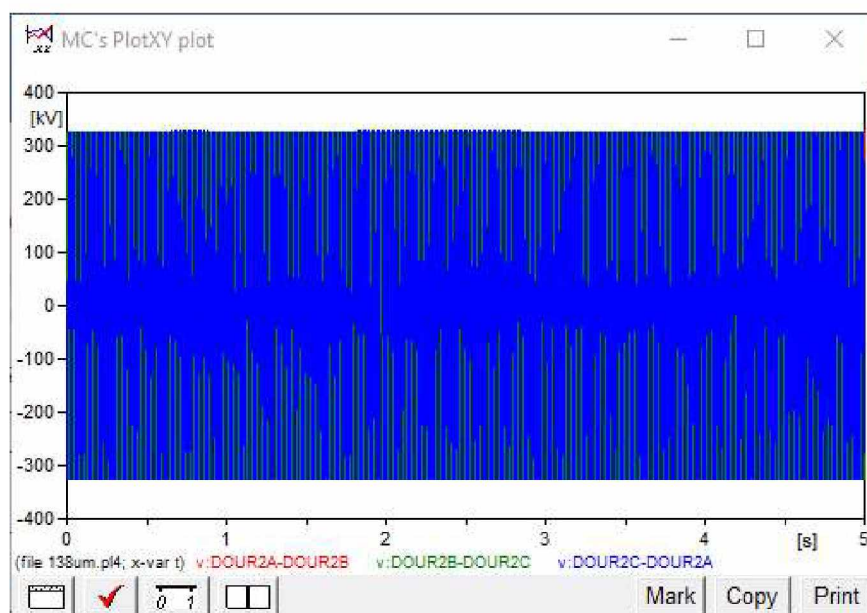
Figura 4.52 - Caso 4: Corrente de *Inrush*.



4.5 Caso 5: Energização pelo lado de 138kV com um autotransformador à vazio e o outro em funcionamento

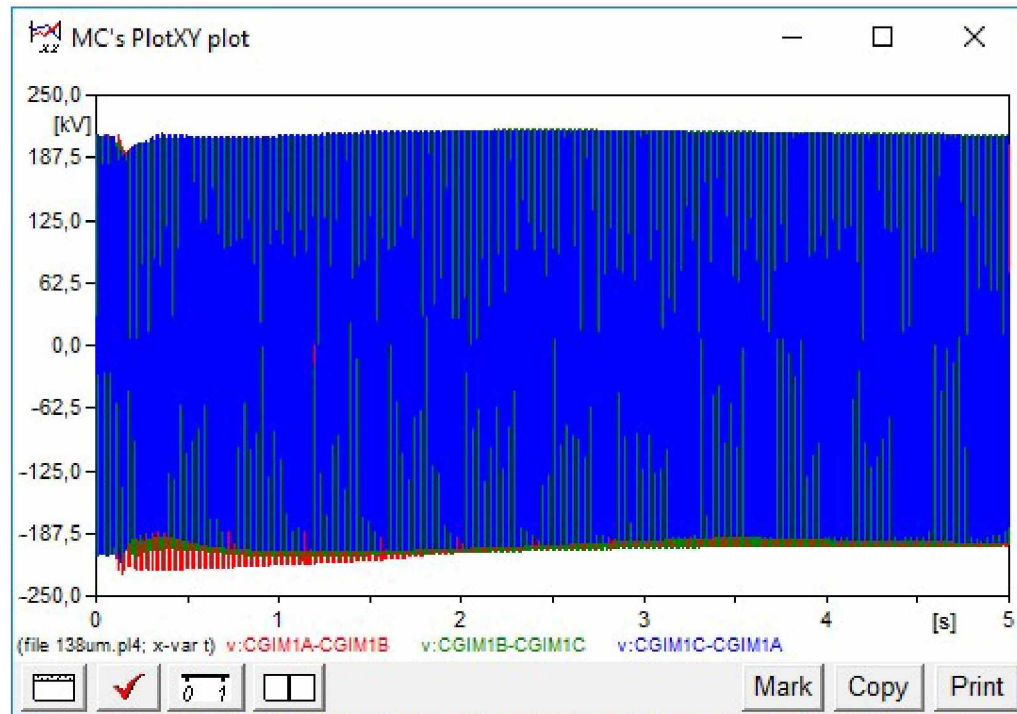
Nesse item serão mostrados os resultados das simulações referentes ao caso 5. A figura 4.53 representa o perfil de tensão do barramento “Dourados 230kV”:

Figura 4.53 - Caso 5: Dourados 230kV.



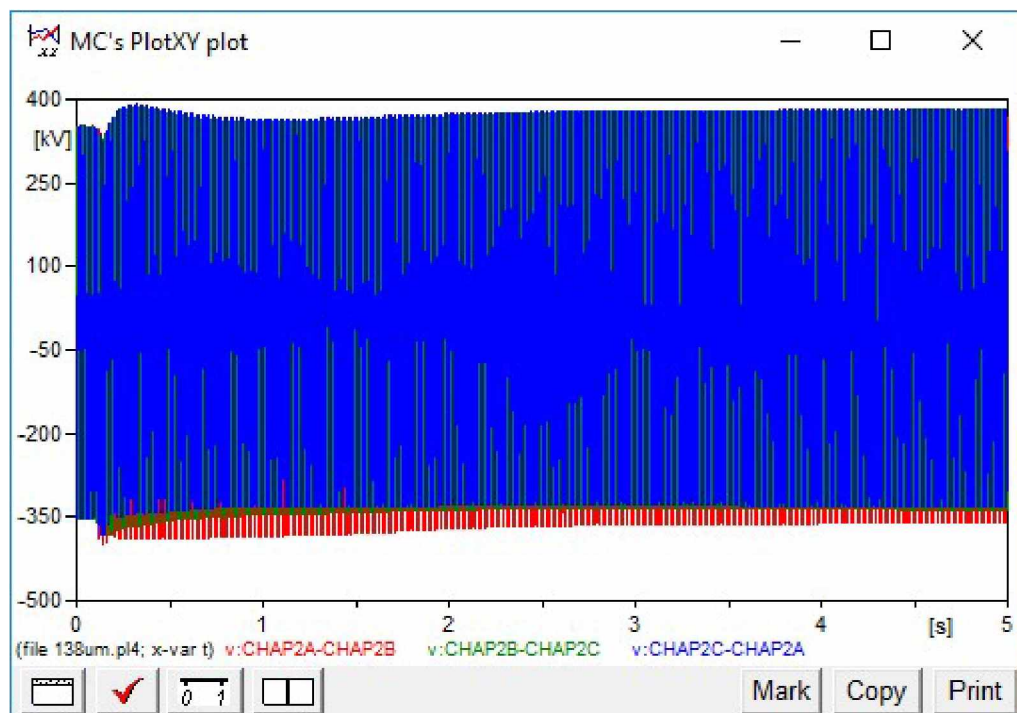
A figura 4.54 representa o perfil de tensão do barramento “CG Imbirissu 138kV”:

Figura 4.54 - Caso 5: CG Imbirissu 138kV.



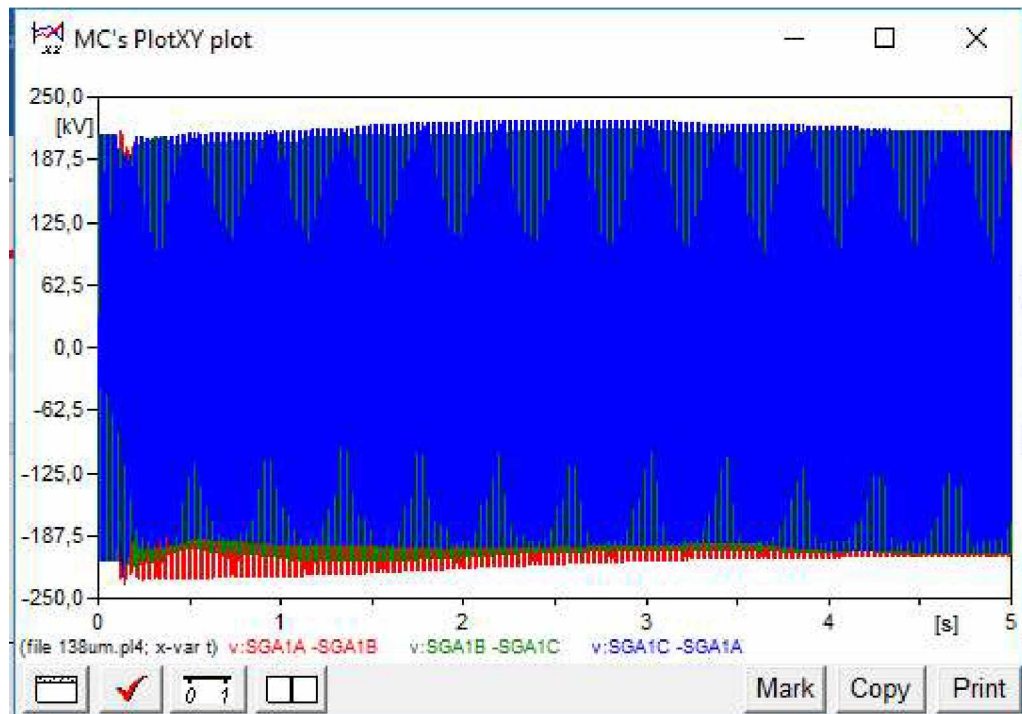
A figura 4.55 representa o perfil de tensão do barramento “Chapadão 230kV”:

Figura 4.55 - Caso 5: Chapadão 230kV.



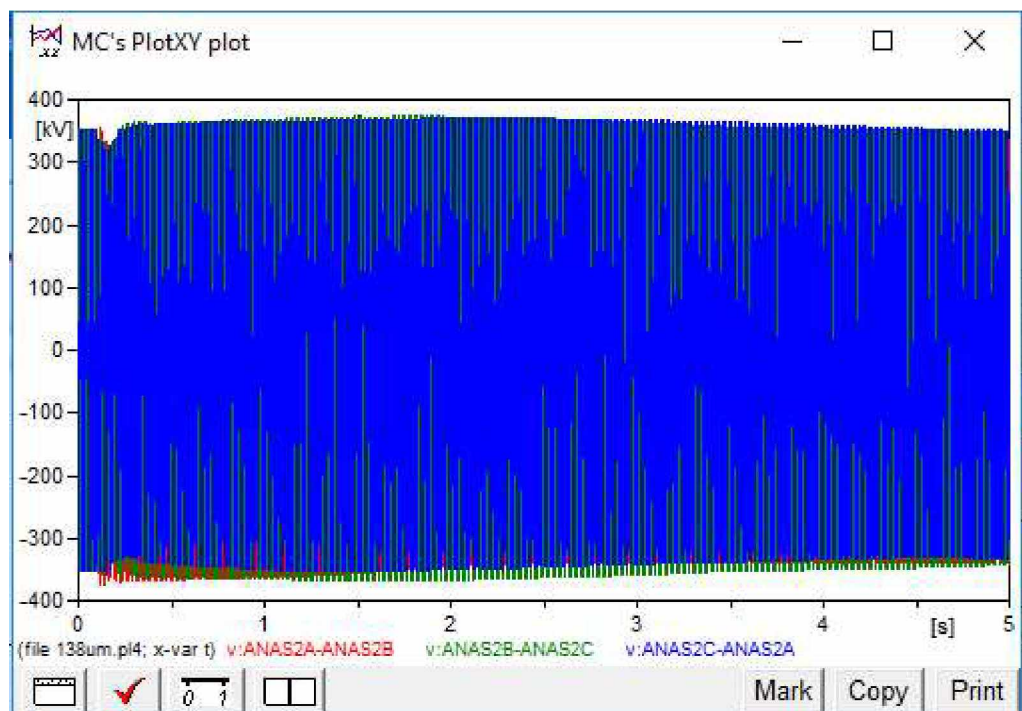
A figura 4.56 representa o perfil de tensão do barramento “São Gabriel 138kV”:

Figura 4.56 - Caso 5: São Gabriel 138kV.



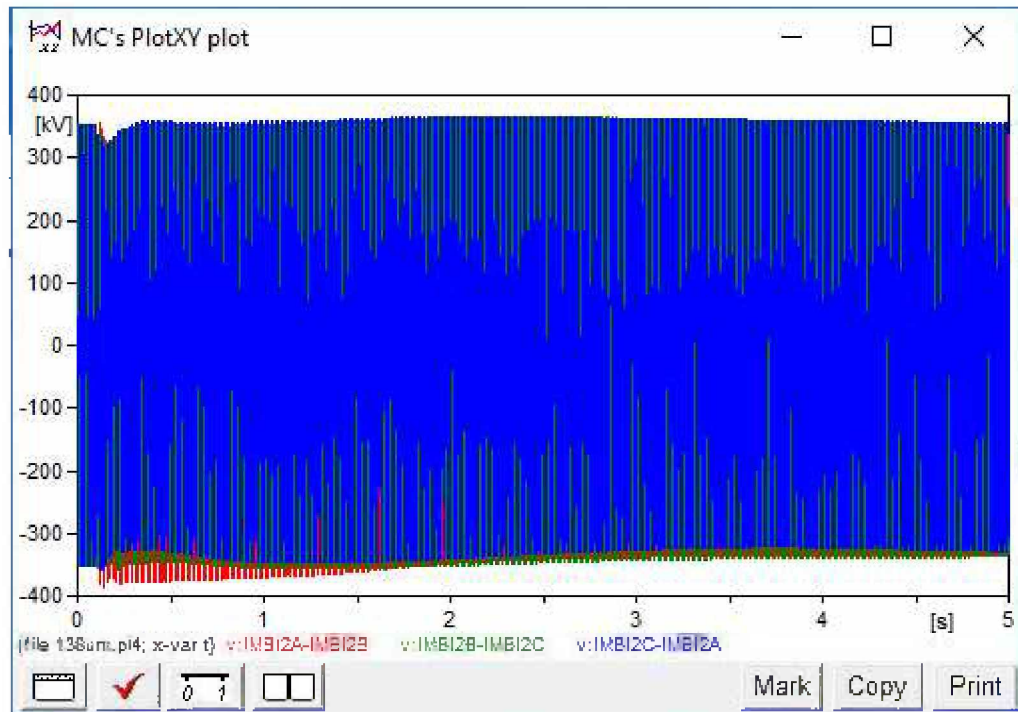
A figura 4.57 representa o perfil de tensão do barramento “Anastácio 230kV”:

Figura 4.57 - Caso 5: Anastácio 230kV.



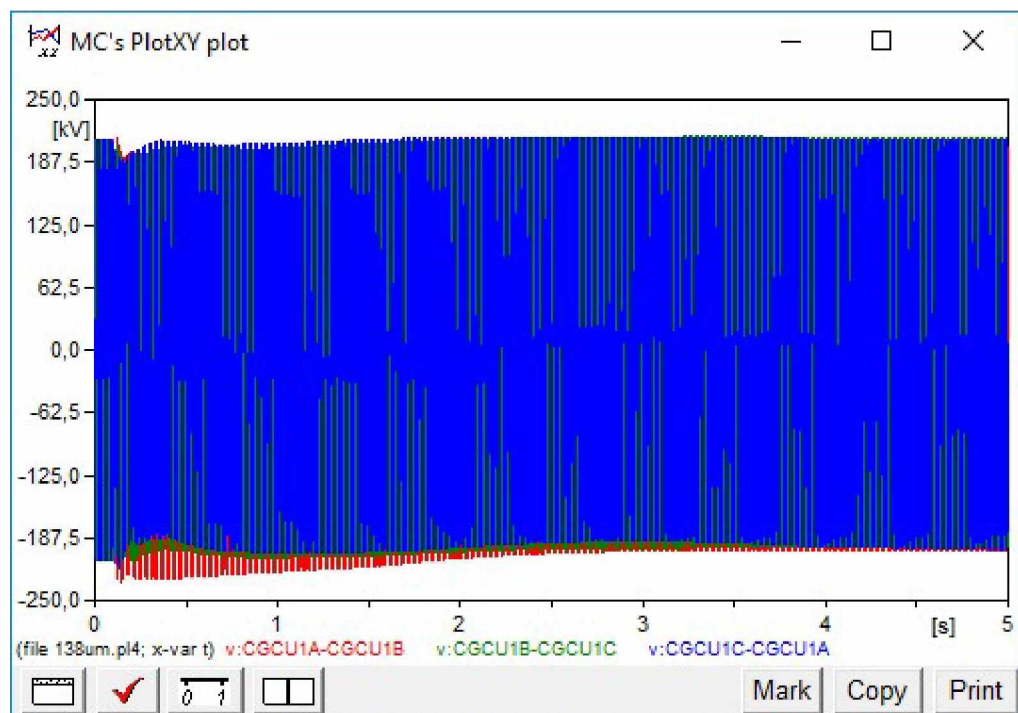
A figura 4.58 representa o perfil de tensão do barramento “Imbirissu 230kV”:

Figura 4.58 - Caso 5: Imbirissu 230kV.



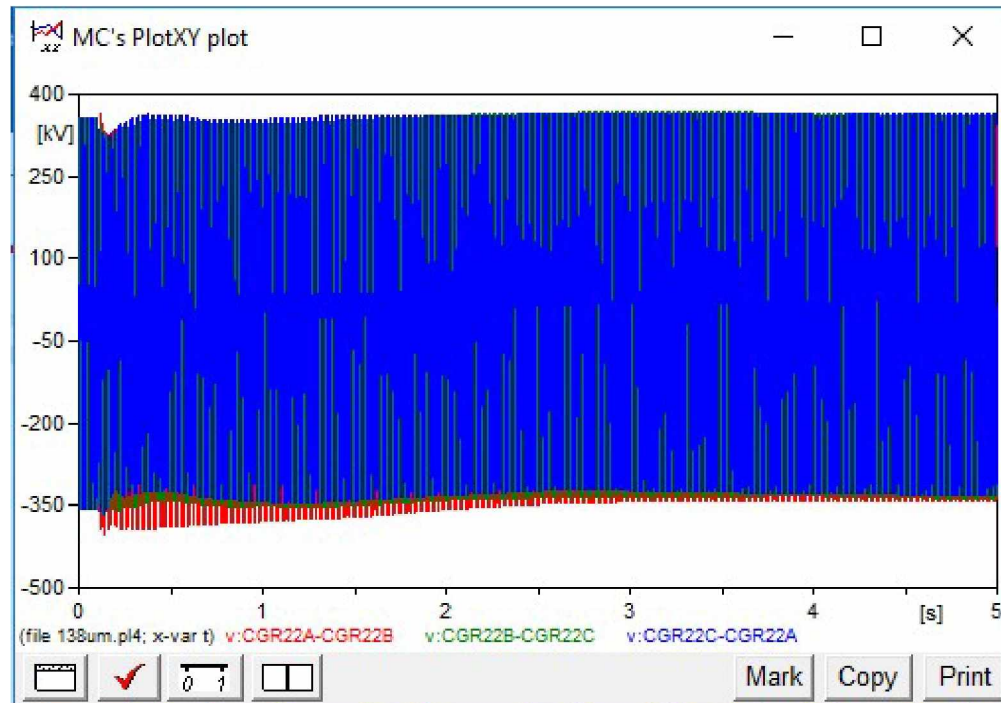
A figura 4.59 representa o perfil de tensão do barramento “CG Cuiabá 138kV”:

Figura 4.59 - Caso 5: CG Cuiabá 138kV.



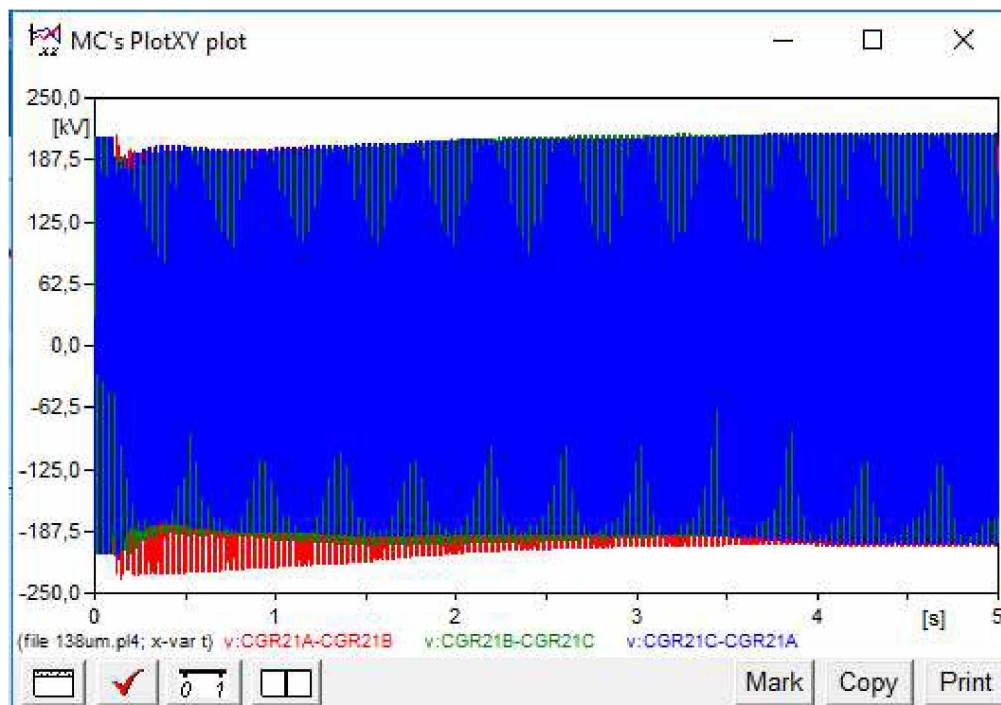
A figura 4.60 representa o perfil de tensão do barramento “Campo Grande 2 230kV”:

Figura 4.60 - Caso 5: Campo Grande 2 230kV.



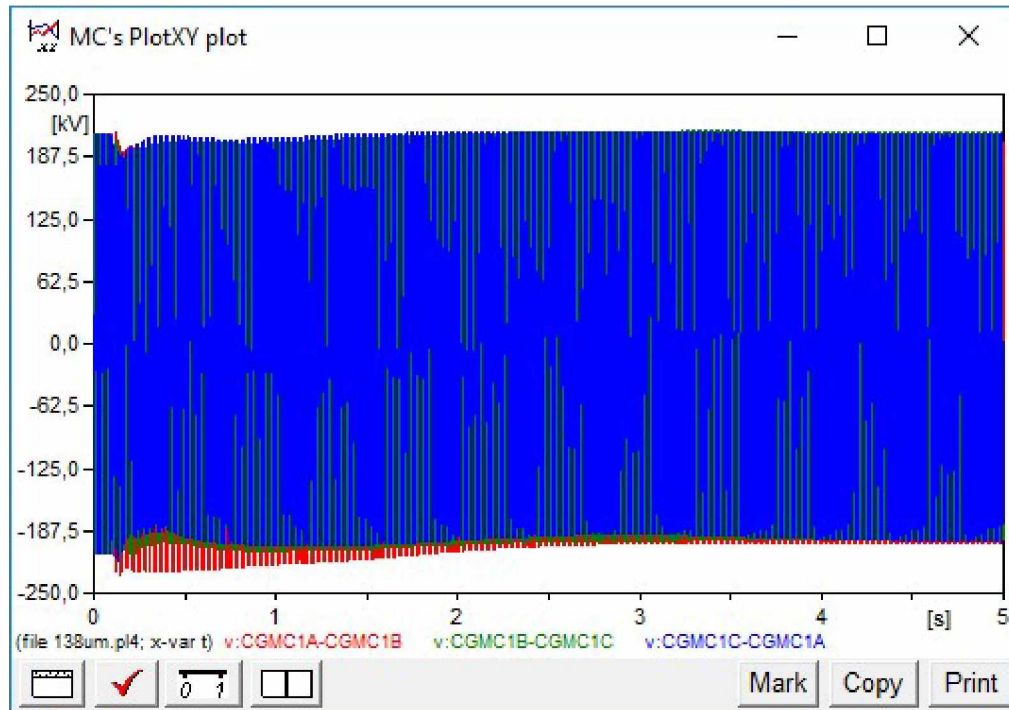
A figura 4.61 representa o perfil de tensão do barramento “Campo Grande 2 138kV”:

Figura 4.61 - Caso 5: Campo Grande 2 138kV.



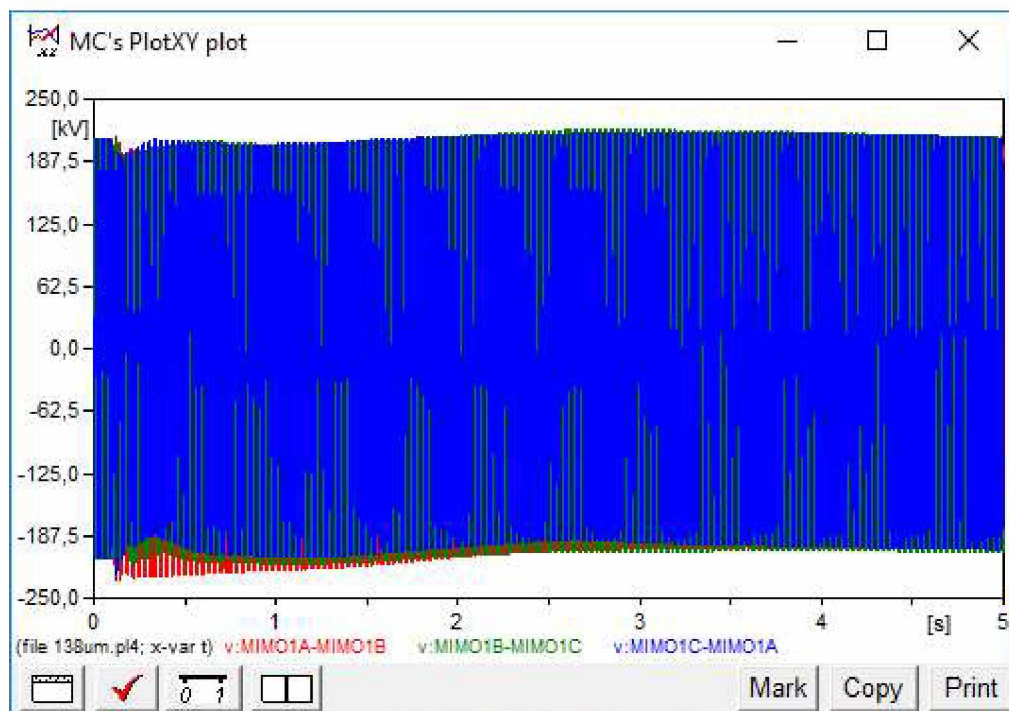
A figura 4.62 representa o perfil de tensão do barramento “CG M. Couto 138kV”:

Figura 4.62 - Caso 5: CG M. Couto 138kV.



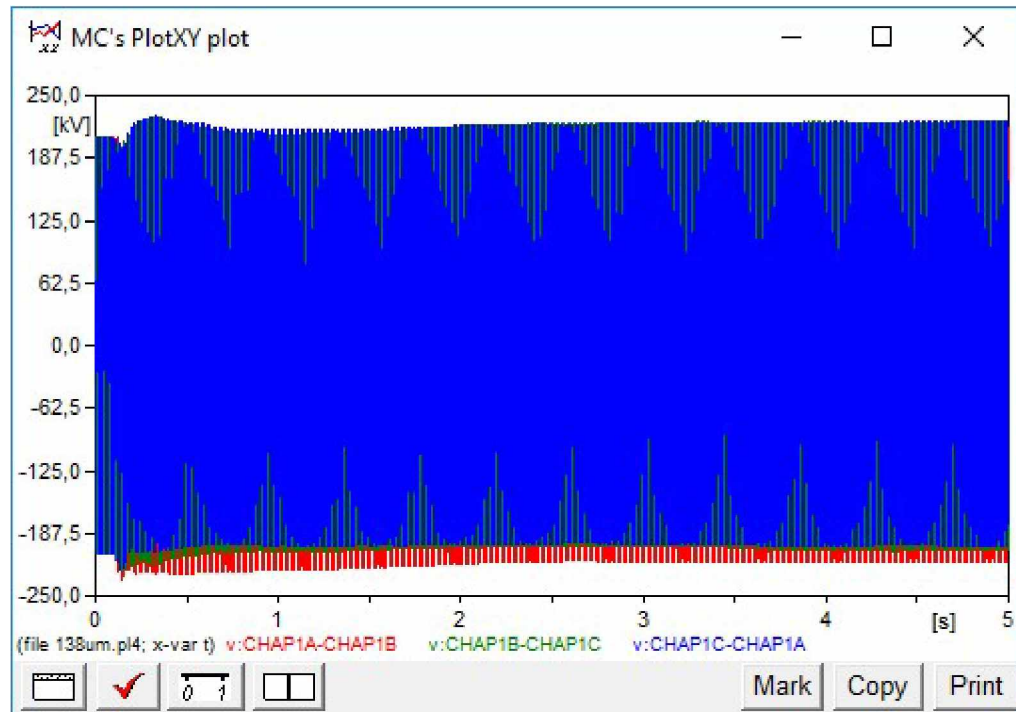
A figura 4.63 representa o perfil de tensão do barramento “Mimoso 138kV”:

Figura 4.63 - Caso 5: Mimoso 138kV.



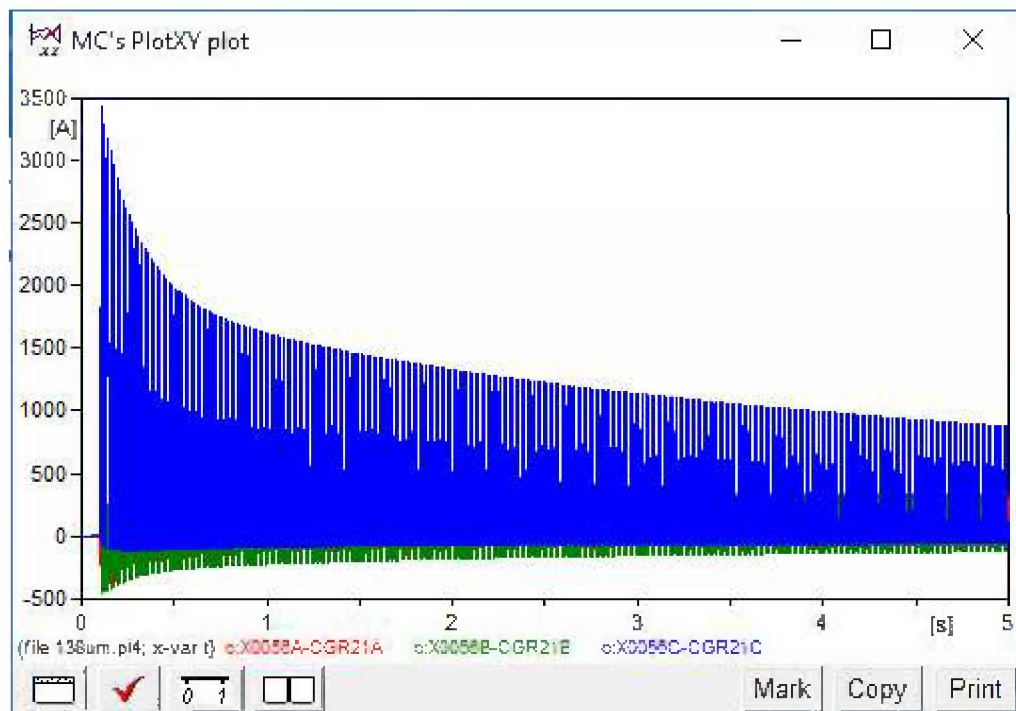
A figura 4.64 representa o perfil de tensão do barramento “Chapadão 138kV”:

Figura 4.64 - Caso 5: Chapadão 138kV.



A figura 4.65 representa o perfil da corrente de *inrush* do autotransformador energizado:

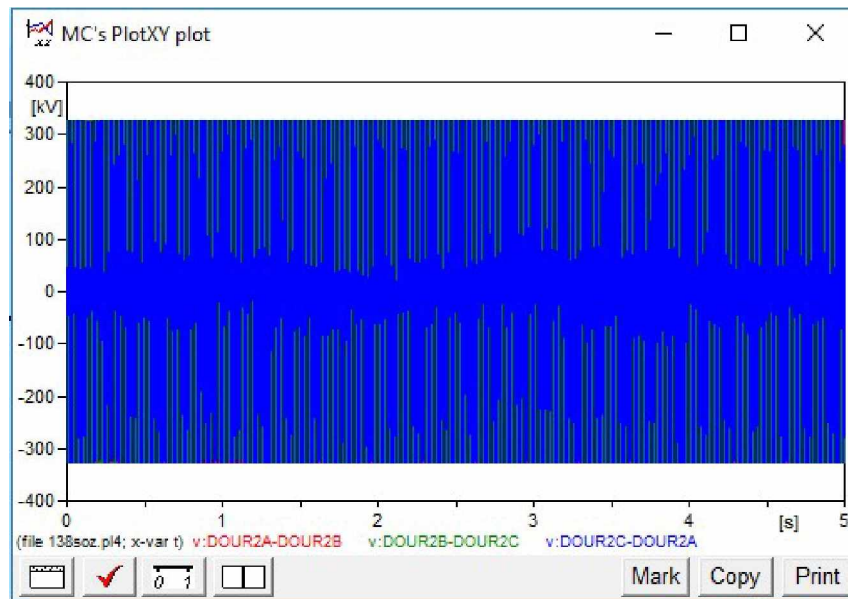
Figura 4.65 - Caso 5: Corrente de Inrush.



4.6 Caso 6: Energização pelo lado de 138kV com os dois outros autotransformadores à vazio

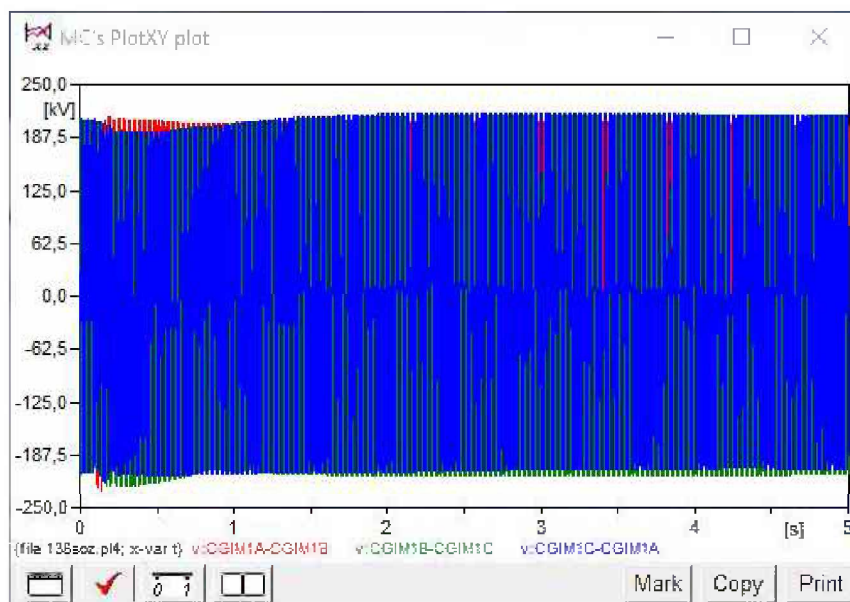
Nesse item serão mostrados os resultados das simulações referentes ao caso 6. A figura 4.66 representa o perfil de tensão do barramento “Dourados 230kV”:

Figura 4.66 - Caso 6: Dourados 230kV.



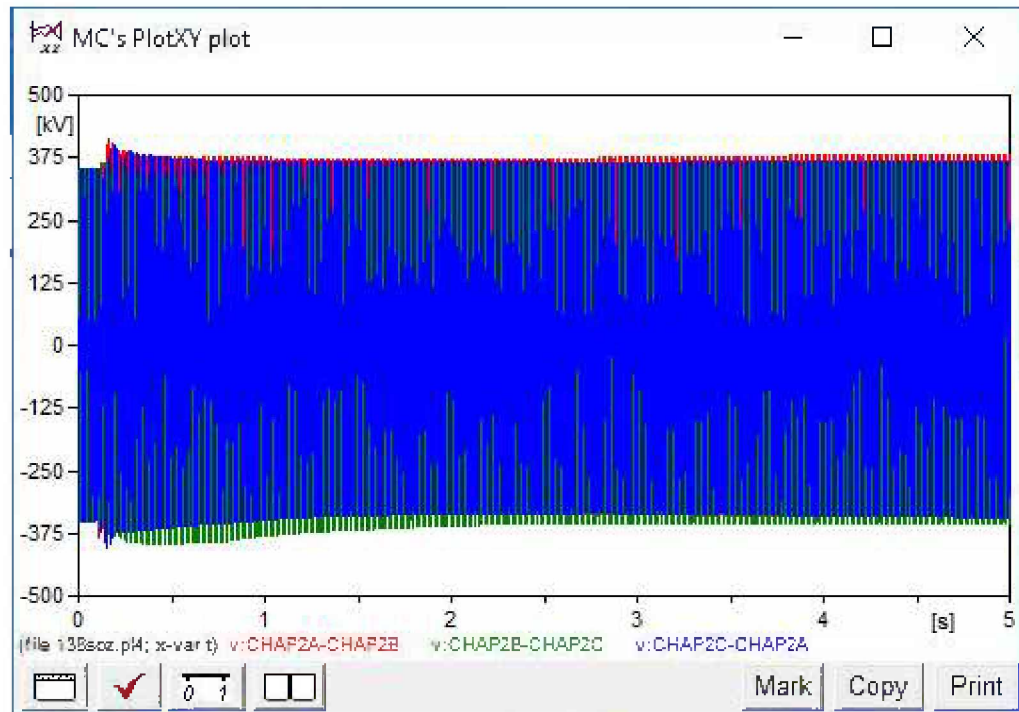
A figura 4.67 representa o perfil de tensão do barramento “CG Imbirissu 138kV”:

Figura 4.67 - Caso 6: CG Imbirissu 138kV.



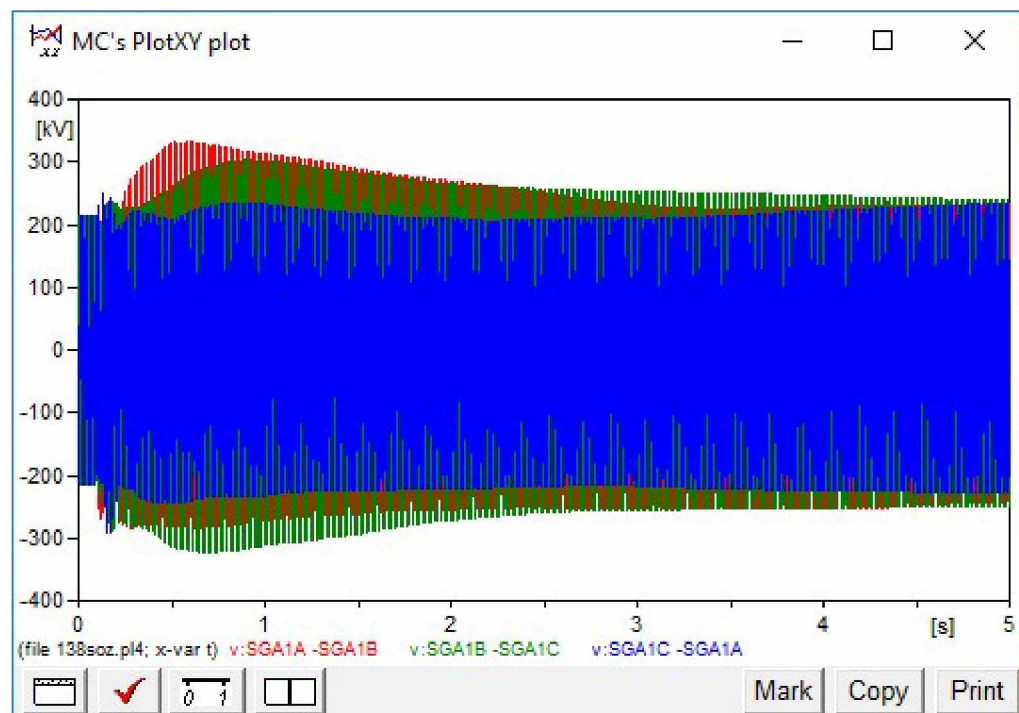
A figura 4.68 representa o perfil de tensão do barramento “Chapadão 230kV”:

Figura 4.68 - Caso 6: Chapadão 230kV.



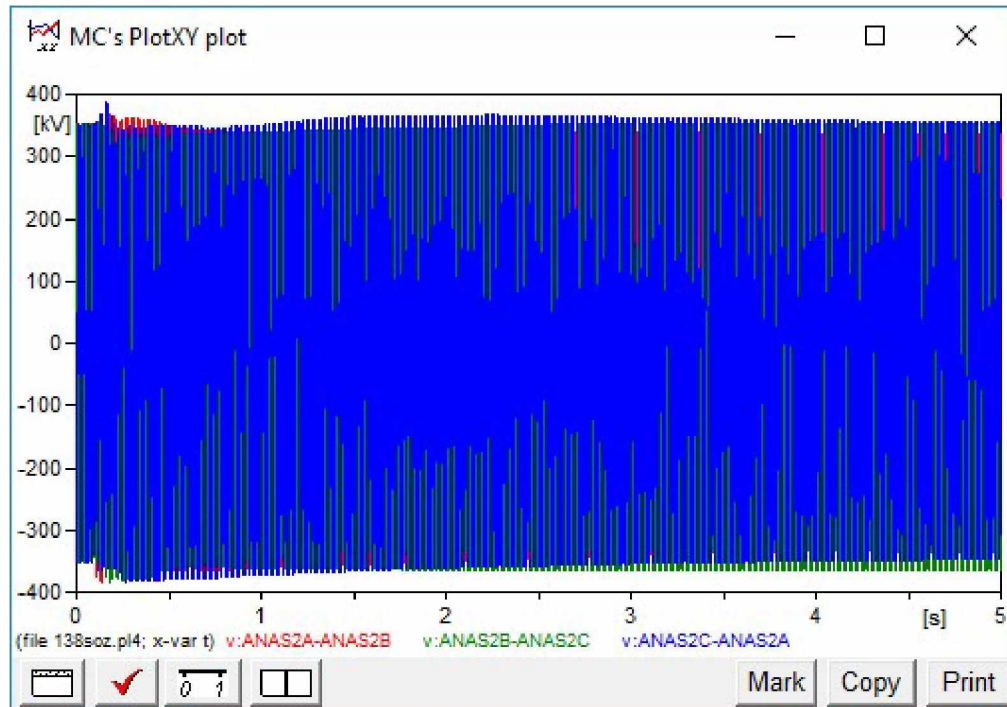
A figura 4.69 representa o perfil de tensão do barramento “São Gabriel 138kV”:

Figura 4.69 - Caso 6: São Gabriel 138kV.



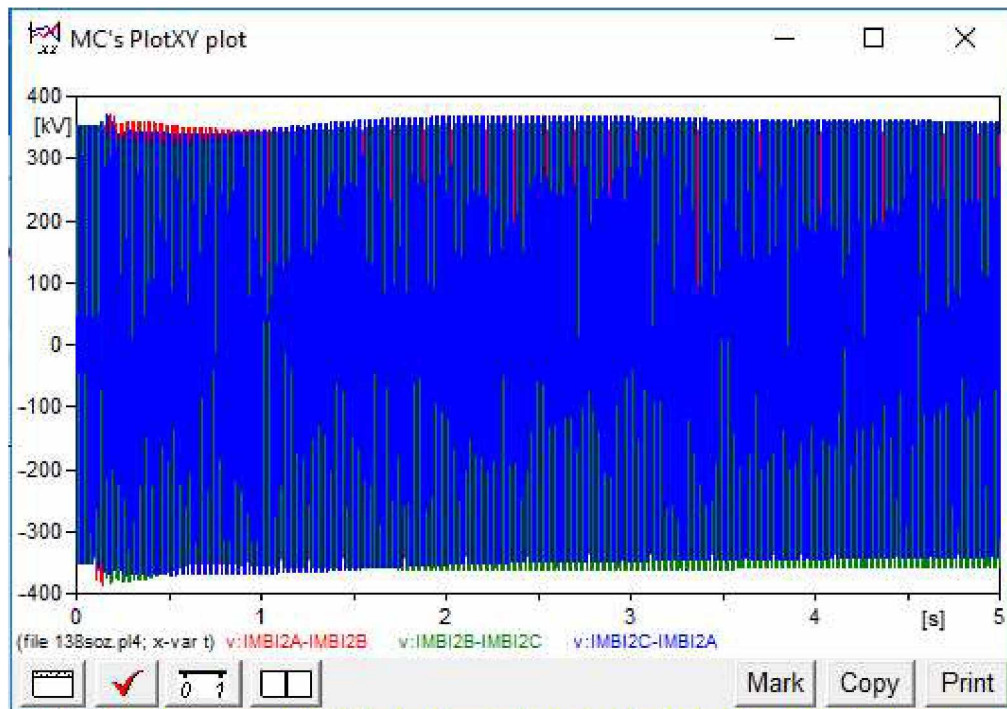
A figura 4.70 representa o perfil de tensão do barramento “Anastácio 230kV”:

Figura 4.70 - Caso 6: Anastácio 230kV.



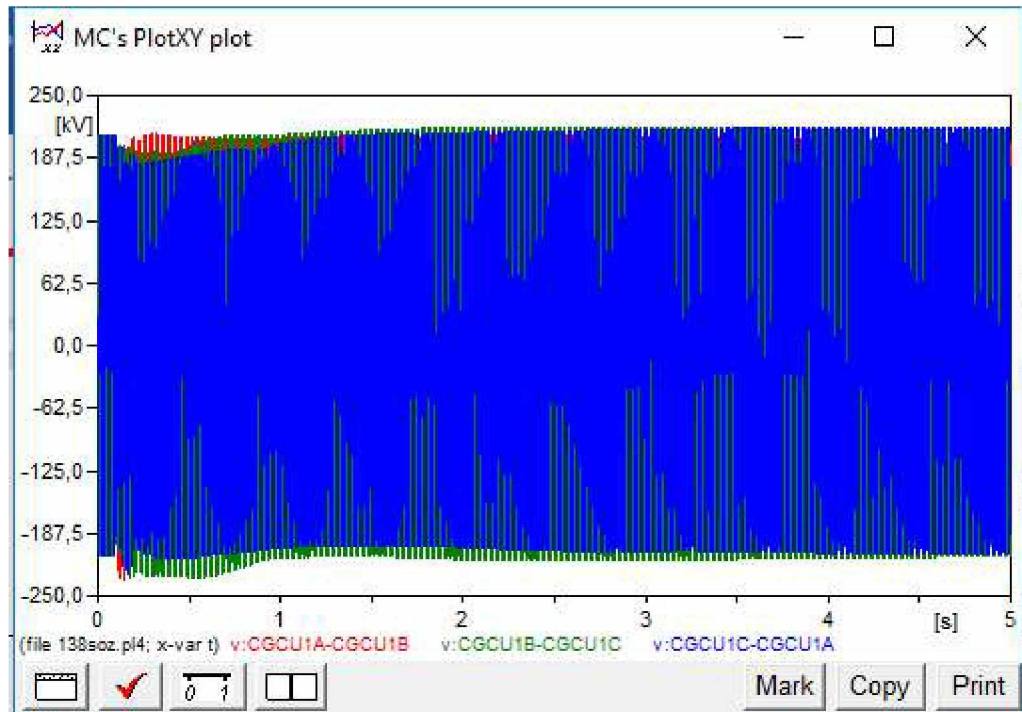
A figura 4.71 representa o perfil de tensão do barramento “Imbirissu 230kV”:

Figura 4.71 - Caso 6: Imbirissu 230kV.



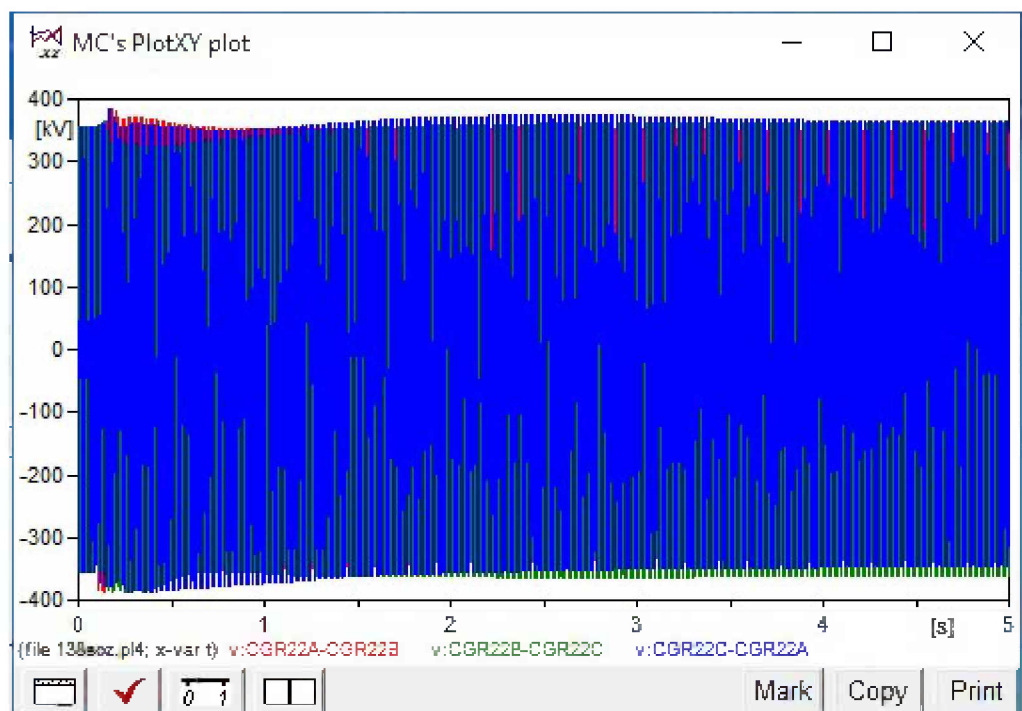
A figura 4.72 representa o perfil de tensão do barramento “CG Cuiabá 138kV”:

Figura 4.72 - Caso 6: CG Cuiabá 138kV.



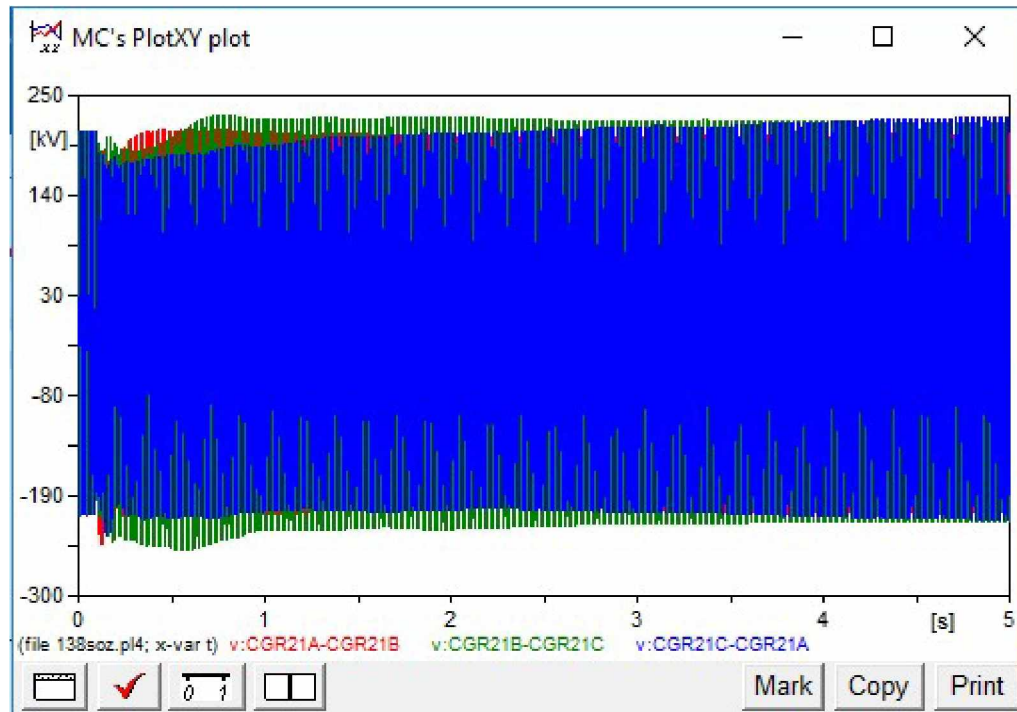
A figura 4.73 representa o perfil de tensão do barramento “Campo Grande 2 230kV”:

Figura 4.73 - Caso 6: Campo Grande 2 230kV.



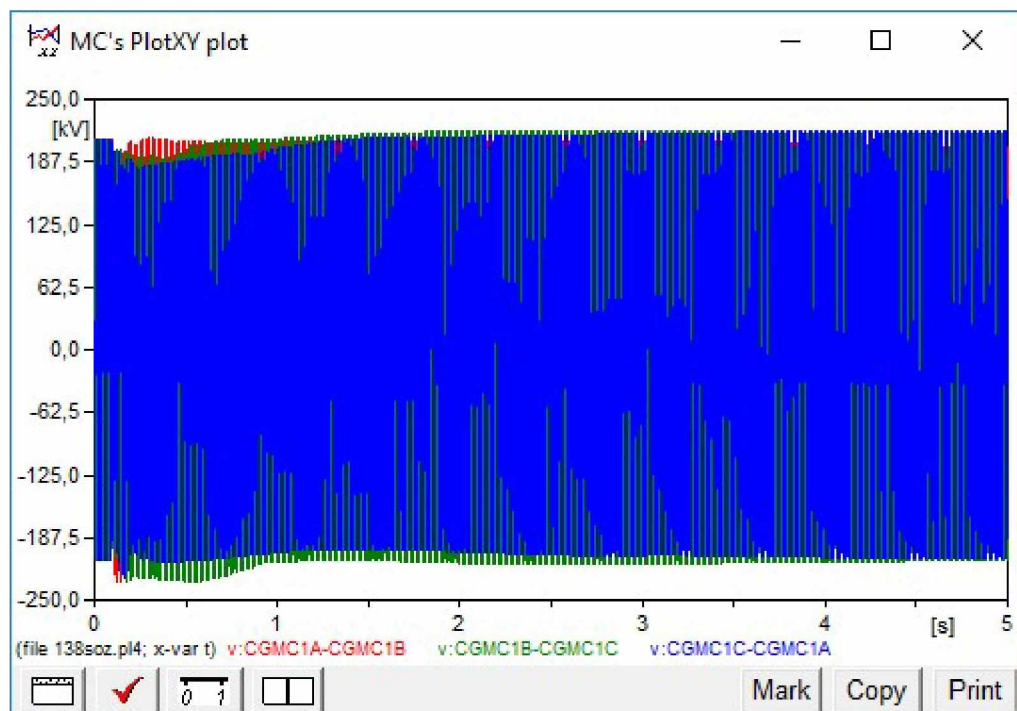
A figura 4.74 representa o perfil de tensão do barramento Campo Grande 2 138kV:

Figura 4.74 - Caso 6: Campo Grande 2 138kV.



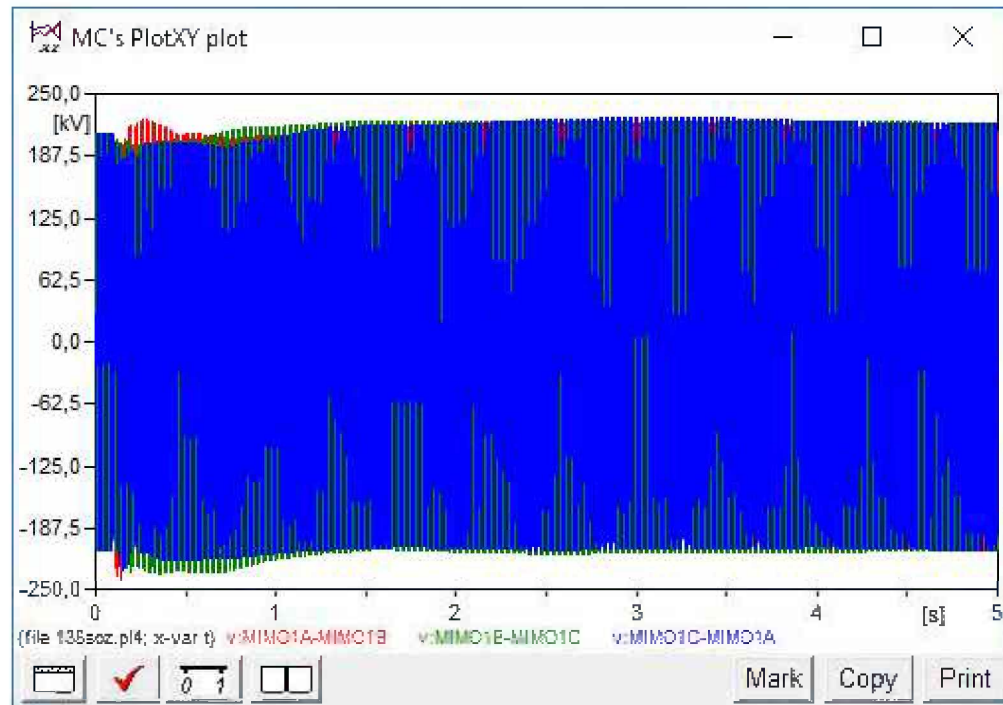
A figura 4.75 representa o perfil de tensão do barramento “CG M. Couto 138kV”:

Figura 4.75 - Caso 6: CG M. Couto 138kV.



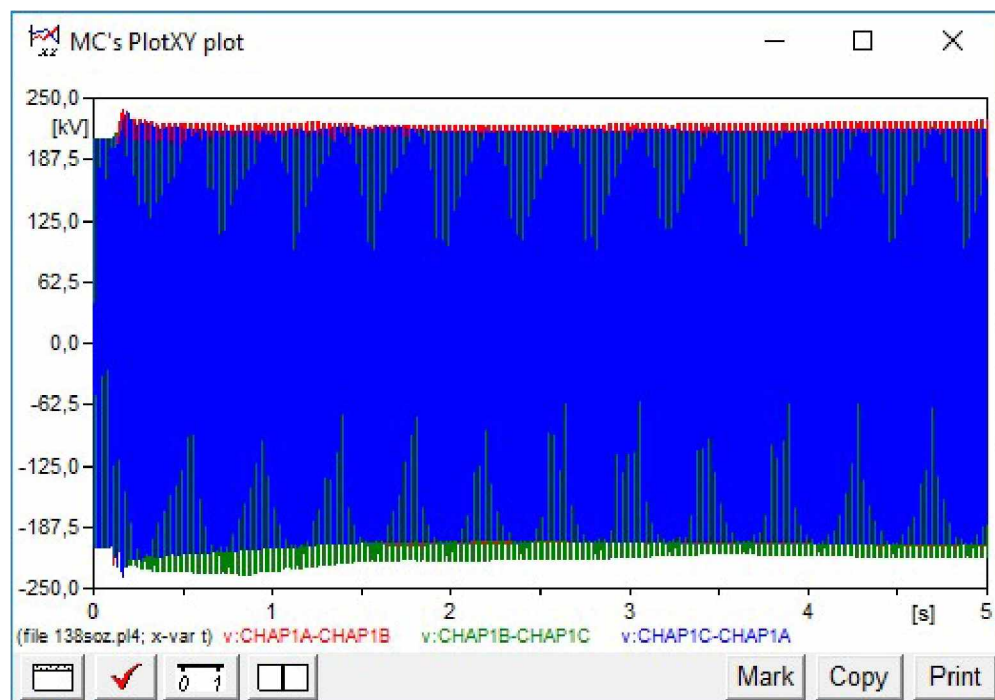
A figura 4.76 representa o perfil de tensão do barramento “Mimoso 138kV”:

Figura 4.76 - Caso 6: Mimoso 138kV.



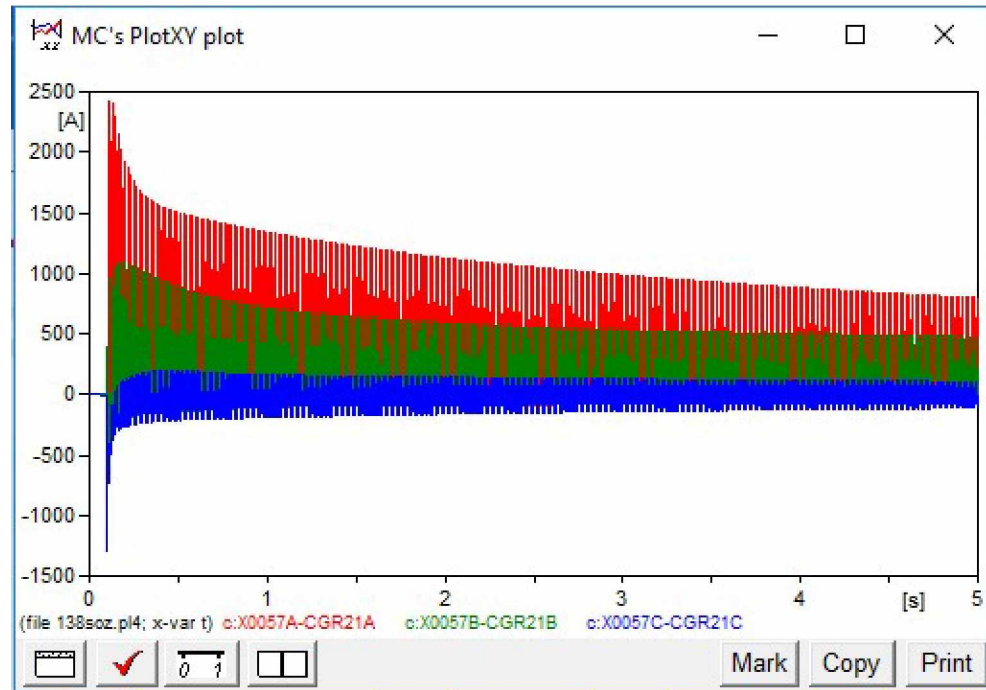
A figura 4.77 representa o perfil de tensão do barramento “Chapadão 138kV”:

Figura 4.77 - Caso 6: Chapadão 138kV.



A figura 4.78 representa o perfil da corrente de *inrush* do autotransformador energizado:

Figura 4.78 - Caso 6: Corrente de Inrush.



4.7 Tabelas dos valores máximos de pico

Os dados das tabelas 4.1 e 4.2 foram retirados dos gráficos gerados de cada barramento no ATP. Esses representam os maiores valores de pico das tensões de linha em cada barramento, bem como a dimensão da corrente de *inrush* (em destaque na tabela pois está em outra unidade).

Tabela 4.1 - Tabela dos picos transitórios dos casos: 1, 2 e 3.

Barramento	Caso 1		Caso 2		Caso 3	
	Pico de regime pré chaveamento (kV)	Pico transitório máximo pós chaveamento (kV)	Pico de regime pré chaveamento (kV)	Pico transitório máximo pós chaveamento (kV)	Pico de regime pré chaveamento (kV)	Pico transitório máximo pós chaveamento (kV)
Dourados 230kV	326.45	irrelevante	326.45	irrelevante	326.45	irrelevante
CG Imbirissu 138kV	209	244.74	209.27	243.15	209.45	240.63
Chapadão 230kV	351.64	467.61	351.6	465.54	351.22	442.97
São Gabriel 138kV	211.42	266.08	211.47	262.25	211.56	275.8
Anastácio 230kV	351.52	411.68	351.56	412.25	351.76	402.76
Imbirissu 230kV	352.83	411.28	352.9	409.29	352.74	405.66
CG Cuiabá 138kV	209.75	250	209.86	248.56	210.36	245.21
Campo Grande 2 230kV	356.46	420.3	356.29	415.9	355.5	424.68
Campo Grande 2 138kV	209.6	249	209.8	250.15	210.93	251.44
CG M. Couto 138kV	209.7	250.55	209.84	248.3	210.34	245.2
Mimoso 138kV	209.8	260.47	209.9	259.08	210.44	250
Chapadão 138kV	208.15	266.86	208.1	264.55	207.9	253.8
Corrente de Inrush (A)	0	1536	0	1820.9	0	1327

Tabela 4.2 - Tabela dos picos transitórios dos casos: 4, 5 e 6.

Barramento	Caso 4		Caso 5		Caso 6	
	Pico de regime pré chaveamento (kV)	Pico transitório máximo pós chaveamento (kV)	Pico de regime pré chaveamento (kV)	Pico transitório máximo pós chaveamento (kV)	Pico de regime pré chaveamento (kV)	Pico transitório máximo pós chaveamento (kV)
Dourados 230kV	326.46	irrelevante	326.45	irrelevante	326.45	irrelevante
CG Imbirissu 138kV	209.23	244	209.25	227.82	209.38	230.11
Chapadão 230kV	351.64	467.22	351.66	400.09	353	411.4
São Gabriel 138kV	211.42	257.3	211.7	235.41	213.55	331.91
Anastácio 230kV	351.53	413.28	351.47	374.56	351.09	387.18
Imbirissu 230kV	352.98	415.2	352.8	385.62	352.41	387.17
CG Cuiabá 138kV	209.75	246.37	209.83	232.32	210.55	233.32
Campo Grande 2 230kV	356.47	424.05	352.19	401.7	355.48	387.57
Campo Grande 2 138kV	209.59	236.6	209.82	235.64	211.36	250.08
CG M. Couto 138kV	209.74	246.42	209.8	232.21	210.49	232.5
Mimoso 138kV	209.8	256.89	209.84	231.54	210.52	240.63
Chapadão 138kV	208.14	266.9	208.14	233.22	208.35	238.42
Corrente de <i>Inrush</i> (A)	0	2825.9	0	3431.7	0	2415

5. CONCLUSÕES

Para uma melhor análise, os valores das tabelas 10 e 11 foram convertidas em p.u. (por unidade). Para a conversão das correntes de *inrush* foi utilizada as correntes nominais do autotransformador dos lados de 230kV e 138kV.

5.1 Energizações pelo lado de 230kV

As energizações pelo lado de 230kV são representadas pelos casos 1, 2 e 3 e seus valores em p.u. são dados pela tabela 5.1:

Tabela 5.1 - Energizações pelo lado de 230kV.

Barramento	Caso 1		Caso 2		Caso 3	
	Tensão pré chaveamento (p.u.)	Pico transitório máximo pós chaveamento (p.u.)	Tensão pré chaveamento (p.u.)	Pico transitório máximo pós chaveamento (p.u.)	Tensão pré chaveamento (p.u.)	Pico transitório máximo pós chaveamento (p.u.)
Dourados 230kV	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
CG Imbirissu 138kV	1.07	1.25	1.07	1.25	1.07	1.23
Chapadão 230kV	1.08	1.44	1.08	1.43	1.08	1.36
São Gabriel 138kV	1.08	1.36	1.08	1.34	1.08	1.41
Anastácio 230kV	1.08	1.27	1.08	1.27	1.08	1.24
Imbirissu 230kV	1.08	1.26	1.08	1.26	1.08	1.25
CG Cuiabá 138kV	1.07	1.28	1.08	1.27	1.08	1.26
Campo Grande 2 230kV	1.10	1.29	1.10	1.28	1.09	1.31
Campo Grande 2 138kV	1.07	1.28	1.08	1.28	1.08	1.29
CG M. Couto 138kV	1.07	1.28	1.08	1.27	1.08	1.26
Mimoso 138kV	1.08	1.33	1.08	1.33	1.08	1.28
Chapadão 138kV	1.07	1.37	1.07	1.36	1.07	1.30
Corrente de <i>Inrush</i> (A)	0.00	2.88	0.00	3.42	0.00	2.49

Caso 1: Para uma energização realizada com os dois autotransformadores em funcionamento, os equipamentos ligados aos barramentos de 230 kV devem suportar picos de tensões de até 1,44 p.u. e os ligados aos de 138kV, picos de 1,37 p.u.

As chaves e outros equipamentos utilizados na energização, deverão suportar uma corrente de *inrush* de 2,88 p.u.

Caso 2: Para uma energização realizada com um autotransformador em funcionamento e o outro à vazio, os equipamentos ligados aos barramentos de 230 kV devem suportar picos de tensões de até 1,43 p.u. e os ligados aos de 138kV, picos de 1,36 p.u.

As chaves e outros equipamentos utilizados na energização, deverão suportar uma corrente de *inrush* de 3,42 p.u.

Caso 3: Para uma energização realizada com os outros autotransformadores à vazio, os equipamentos ligados aos barramentos de 230 kV devem suportar picos de tensões de até 1,36 p.u. e os ligados aos de 138kV, picos de 1,41 p.u.

As chaves e outros equipamentos utilizados na energização, deverão suportar uma corrente de *inrush* de 2,49 p.u.

Observando apenas as sobretensões, conclui-se que não importa muito o tipo de manobra para o lado de 230kV, pois suas magnitudes não variam muito comparando-se os três casos. Já considerando as correntes de *inrush*, a manobra que apresentou a menor delas foi o caso 3.

5.2 Energizações pelo lado de 138kV

As energizações pelo lado de 138kV são representadas pelos casos 4, 5 e 6 e seus valores em p.u. são dados pela tabela 5.2:

Tabela 5.2 - Energizações pelo lado de 138kV.

Barramento	Caso 4		Caso 5		Caso 6	
	Tensão pré chaveamento (p.u.)	Pico transitório máximo pós chaveamento (p.u.)	Tensão pré chaveamento (p.u.)	Pico transitório máximo pós chaveamento (p.u.)	Tensão pré chaveamento (p.u.)	Pico transitório máximo pós chaveamento (p.u.)
Dourados 230kV	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
CG Imbirissu 138kV	1.07	1.25	1.07	1.17	1.07	1.18
Chapadão 230kV	1.08	1.44	1.08	1.23	1.09	1.26
São Gabriel 138kV	1.08	1.32	1.08	1.21	1.09	1.70
Anastácio 230kV	1.08	1.27	1.08	1.15	1.08	1.19
Imbirissu 230kV	1.09	1.28	1.08	1.19	1.08	1.19
CG Cuiabá 138kV	1.07	1.26	1.08	1.19	1.08	1.20
Campo Grande 2 230kV	1.10	1.30	1.08	1.23	1.09	1.19
Campo Grande 2 138kV	1.07	1.21	1.08	1.21	1.08	1.28
CG M. Couto 138kV	1.07	1.26	1.08	1.19	1.08	1.19
Mimoso 138kV	1.08	1.32	1.08	1.19	1.08	1.23
Chapadão 138kV	1.07	1.37	1.07	1.20	1.07	1.22
Corrente de <i>Inrush</i> (A)	0.00	3.18	0.00	3.87	0.00	2.72

Caso 4: Para uma energização realizada com os dois autotransformadores em funcionamento, os equipamentos ligados aos barramentos de 230 kV devem suportar picos de tensões de até 1,44 p.u. e os ligados aos de 138kV, picos de 1,37 p.u.

As chaves e outros equipamentos utilizados na energização, deverão suportar uma corrente de *inrush* de 3,18 p.u.

Caso 5: Para uma energização realizada com um autotransformador em funcionamento e o outro à vazio, os equipamentos ligados aos barramentos de 230 kV devem suportar picos de tensões de até 1,23 p.u. e os ligados aos de 138kV, picos de 1,21 p.u.

As chaves e outros equipamentos utilizados na energização, deverão suportar uma corrente de *inrush* de 3,87 p.u.

Caso 6: Para uma energização realizada com os outros autotransformadores à vazio, os equipamentos ligados aos barramentos de 230 kV devem suportar picos de tensões de até 1,26 p.u. e os ligados aos de 138kV, picos de 1,22 p.u.

As chaves e outros equipamentos utilizados na energização, deverão suportar uma corrente de *inrush* de 2,72 p.u.

Vale ressaltar que nesse caso houve um pico de 1,7 p.u. no barramento “São Gabriel 138kV”. Portanto, é necessário averiguar a suportabilidade dos equipamentos quanto à duração dessa sobretensão e atendendo aos critérios do ONS, essa manobra não é aconselhável.

Portanto, excluindo-se o caso 6 e analisando somente as sobretensões geradas pelas manobras pelo lado de 138kV nota-se que o caso 5 apresentou menores magnitudes com relação ao caso 4. Todavia, o caso 4 apresentou maior corrente de *inrush*.

6. REFERÊNCIAS

BRONZEADO, H. D. S. "Interação Simpática" entre Transformadores. **Revista da CIER - SOPEM**, Recife, 1999. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/232237974>>.

CABRAL, S. H. L. **Análise de Transitórios Elétricos em Transformadores Através do Método TLM**. Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, p. 103. 2003.

CARVALHO, T. S. D. **Análise Comparativa de Modelos Computacionais de Transformadores de Corrente via Medições e simulações**. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, p. 103. 2015.

RUDEZ, U.; MIHALIC, R. Sympathetic inrush current phenomenon with loaded transformers. **Electrical Power Systems Research**, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.epsr.2015.12.011>>.

SANT'ANA, E. D. S. **Sobretensões de Energização de Linha de Transmissão**. Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 68. 2011.

APÊNDICE A – DIAGRAMA UNIFILAR CONSTRUÍDO NO ATP

