

# Análise Comparativa da Modelagem de Sistema HVDC no ATP Para o Estudo de Transitórios Eletromagnéticos

Maria T. C. Souza\*. Sidelmo M. Silva\*\*  
Alberto De Conti\*\*\*

\* Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais,  
Belo Horizonte, Brasil (e-mail: mariatcs@ufmg.br).

\*\* Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais,  
Belo Horizonte, Brasil (e-mail: sidelmo@ufmg.br)

\*\*\* Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais,  
Belo Horizonte, Brasil (e-mail: conti@cpdee.ufmg.br)

---

**Abstract:** This paper compares two different modeling strategies for the Xingu-Estreito HVDC link with the objective of evaluating their transient response to the occurrence of a three-phase reclosing operation on a neighboring transmission line. The strategies evaluated are the detailed modeling of the HVDC link or its simplified representation in the form of equivalent current sources. It is demonstrated that the simplified HVDC link model can lead to results similar to those obtained with the detailed model, with the advantage of having less computational complexity and leading to shorter total simulation times.

**Resumo:** Este trabalho compara duas diferentes estratégias de modelagem do elo HVDC Xingu-Estreito com o objetivo de avaliar sua resposta transitória frente à aplicação de manobra de religamento tripolar em uma linha de transmissão vizinha. As estratégias avaliadas são a modelagem detalhada do elo HVDC ou sua representação simplificada na forma de fontes de corrente equivalentes. É demonstrado que o modelo simplificado do elo HVDC é capaz de levar a resultados semelhantes àqueles obtidos com o modelo detalhado, com a vantagem possuir menor complexidade computacional e de levar a menores tempos totais de simulação.

**Keywords:** HVDC, current source converter (CSC), line-commutated converter (LCC), electromagnetic transients, three-phase reclosing, modeling, ATP, EMTP.

**Palavras-chaves:** HVDC, current source converter (CSC), line-commutated converter (LCC), transitórios eletromagnéticos, religamento tripolar, modelagem, ATP, EMTP.

---

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização de sistemas em corrente contínua do tipo HVDC (*High-Voltage Direct Current*) vem sendo a alternativa preferida para a transmissão de energia em longas distâncias. Um importante desafio consiste em determinar modelos computacionais de elos HVDC que possam ser empregados em estudos de fenômenos transitórios (Szechtmann et al. 1991; Morin et al. 1993; Daryabak et al. 2014; Wachal et al. 2014; Saldanã et al. 2019). Uma possibilidade seria a modelagem detalhada do elo HVDC, incluindo todos os elementos que o compõem, bem como o sistema de controle dos conversores. Outra possibilidade seria adotar uma abordagem simplificada baseada no uso de fontes de corrente para emular, nas barras de conexão, a presença do elo HVDC de forma equivalente.

Neste trabalho, investiga-se o desempenho de dois diferentes modelos computacionais, um detalhado, e outro simplificado, desenvolvidos para representar o bipolo Xingu-Estreito, pertencente ao Sistema Interligado Nacional (SIN). Os modelos foram implementados no *software* ATP (*Alternative Transients Program*), sendo utilizados para avaliar a resposta

do sistema frente à manobra de religamento tripolar da linha de transmissão de 230 kV Xingu-Altamira.

Inicialmente, são apresentados conceitos referentes à tecnologia de sistemas HVDC baseados em CSC (*Current Source Converter*) e LCC (*Line-commutated converter*). Em seguida, o sistema escolhido para o estudo é introduzido em conjunto com sua modelagem. Finalmente, avalia-se de forma comparativa o comportamento dos modelos desenvolvidos a partir de simulações computacionais de transitórios eletromagnéticos no ATP.

## 2. SISTEMAS HVDC

A topologia HVDC mais aplicada em sistemas de transmissão de alta potência é a configuração LCC e CSC bipolar. Essa configuração opera como dois sistemas monopolares que podem funcionar separadamente, na ocorrência de falha de um deles. No funcionamento pleno do sistema, cada um dos polos possui polaridade diferente, de forma que a corrente de neutro é teoricamente nula (Flourentzou et al. 2009).

O sistema escolhido como base para o modelo do bipolo HVDC Xingu-Estreito está documentado em Szechtman et al. (1991), sendo apresentado na Fig. 1. Este sistema corresponde ao modelo do CIGRE para sistemas HVDC LCC ou CSC (Szechtman et al. 1994). Diferentemente da metodologia mais comumente aplicada em HVDCs de transmissão em alta potência, esse sistema é unipolar. Uma modelagem no ATP para este sistema foi proposta em Luz et al. (2006), a qual é expandida neste estudo de forma a contemplar um bipolo HVDC presente no SIN.

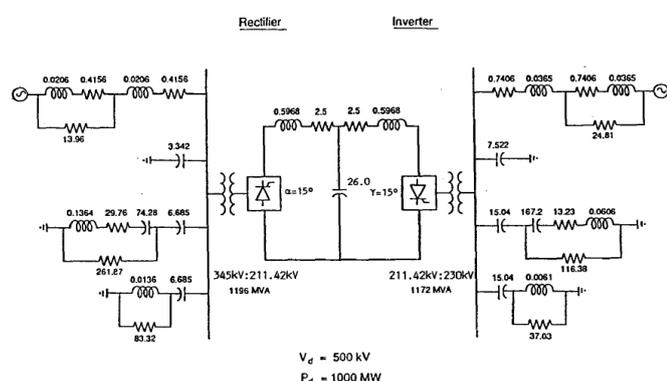


Fig. 1 Sistema HVDC unipolar utilizado como referência para modelar o bipolo Xingu-Estreito. Todos os valores estão em  $\Omega$ , H e F. Reprodução de (Szechtman et al. 1991).

### 3. METODOLOGIA PROPOSTA

Inicialmente, foi implementado no ATP o modelo unipolar apresentado na Fig. 1. Em seguida, empregando os dados do bipolo HVDC Xingu-Estreito, o modelo foi expandido de forma a representar o comportamento do elo em estudo. Esse modelo é denominado *modelo detalhado*. Por outro lado, no modelo simplificado, todo o elo HVDC foi representado por meio de fontes de corrente equivalentes. Detalhes dos modelos são apresentados na Seção 4.

Para analisar o religamento tripolar da LT 230 kV Xingu-Altamira, cujo projeto básico foi desenvolvido pela Tractebel Engineering Ltda. (2017), a rede elétrica de transmissão foi modelada no ATP até ao menos a terceira vizinhança das barras de interesse. Essa premissa garante que a distância elétrica modelada seja suficiente para representar com fidelidade a ocorrência de transitórios eletromagnéticos no elemento de interesse do sistema (ONS 2018). A mesma rede foi empregada quando se considerou o elo HVDC representado por meio de fontes de corrente equivalentes.

Para avaliar o desempenho dos modelos implementados, investigou-se a manobra de religamento tripolar na linha de transmissão de 230 kV Xingu-Altamira. Essa manobra foi escolhida porque as sobretensões resultantes nas barras do sistema são mais elevadas do que aquelas encontradas durante energizações. Isso ocorre em função da presença de carga residual na linha de corrente alternada submetida ao religamento (ONS 2013).

Um religamento tripolar pode ser classificado como de dois tipos: com sucesso, com aplicação de falta e sua extinção; ou sem sucesso, com aplicação e permanência da falta. Estudos

com religamentos bem sucedidos têm como objetivo a avaliação do perfil de tensão ao longo da linha. Com isso, é possível verificar se a suportabilidade dos componentes é adequada às solicitações de tensão resultante. Em todos os tipos de religamento são avaliadas a dissipação de energia nos para-raios localizados nas linhas de transmissão.

As simulações de religamento foram realizadas em ambos os terminais da linha. Para todos os casos estudados, a tensão de pré-manobra foi ajustada o mais próximo possível a 1,05 pu nas barras de 230 kV de Xingu e de Altamira. Esse valor corresponde ao limite máximo para este nível de tensão no SIN (ONS 2018).

As simulações foram realizadas com a presença de curto-circuito fase-terra no centro da linha. Geralmente, a aplicação de falta nesse ponto leva às maiores sobretensões ao longo da linha de transmissão. O tempo de eliminação da falta foi de 150 ms. O religamento ocorreu após um tempo morto de 500 ms (ONS 2018).

A manobra foi avaliada de forma estatística. Para cada caso, foram avaliados 200 chaveamentos a fim de se obter os tempos de fechamento dos disjuntores relativos aos casos mais críticos. Foi admitida uma distribuição gaussiana dos instantes de fechamento dos três polos dos disjuntores truncada em  $\pm 4\sigma$ . O valor de 0,625 ms foi adotado para o desvio padrão dessa distribuição. Dessa forma, a dispersão máxima dos instantes de fechamento dos contatos nos três polos corresponde a 5,0 ms. Simulações determinísticas foram processadas a partir da identificação dos instantes de fechamento que deram origem aos resultados mais severos.

Para a linha em análise, o limite de coordenação de isolamento verificado, em relação às tensões fase-terra, foi de 2,803 pu (Tractebel Engineering 2017). A verificação da adequação da coordenação de isolamento das estruturas das linhas de transmissão frente a surtos de manobra deve ser feita considerando apenas as maiores sobretensões nas análises do sistema sem falta, pois são estas as sobretensões que podem vir a ocasionar uma falha de isolamento na linha de transmissão.

O tempo total de simulação considerado foi de 1,2 s e o passo de integração empregado foi de 10  $\mu$ s.

### 4. MODELAGEM

A modelagem detalhada do bipolo de corrente contínua foi feita considerando o sistema HVDC e todos os elementos que o compõem: retificadores, inversores, linha de transmissão em corrente contínua (CC), sistema de controle dos tiristores dos conversores, filtros, transformadores e para-raios. O modelo detalhado do bipolo HVDC teve como base o circuito da Fig. 1, expandido a fim de formar o segundo polo e redimensionado conforme as especificações do elo Xingu-Estreito.

A Tabela 1 apresenta os dados dos transformadores utilizados na modelagem. A Tabela 2, por sua vez, apresenta os dados da linha de transmissão em corrente contínua modelada no bipolo. O filtro AC presente no lado do retificador, SE Xingu

500 kV, é composto por três bancos de 180 MVar, três bancos de 220 MVar e dois bancos de 200 MVar. No lado inversor, SE Estreito 500 kV, o filtro AC é composto por três bancos de 220 MVar, três bancos de 180 MVar, três bancos de 275 MVar e três bancos de 275 MVar. Os para-raios modelados no terminal de corrente alternada (CA) de Xingu são de ZnO, com MCOV de 327 kV e capacidade de dissipação de energia de 6810 kJ. O terminal CA de Estreito os para-raios emprega para-raios semelhantes, mas com capacidade de dissipação de energia de 2269 kJ. Nos terminais CC, a capacidade é de 155 kJ.

A Fig. 2 apresenta o modelo HVDC desenvolvido. O terminal de Xingu representa o terminal retificador, enquanto o terminal de Estreito compõe a parte inversora. O sistema CA do lado inversor foi modelado por meio de seu equivalente, cujos dados são apresentados na Tabela 3. A partir do terminal de Xingu, todo o sistema da região Norte do país foi modelado ao menos até a terceira barra vizinha à subestação. As barras limites do modelo apresentam seus respectivos equivalentes. O sistema de controle do HVDC foi implementado por meio de TACS (Luz et al. 2006).

**Tabela 1. Dados dos transformadores empregados no elo de corrente contínua. Foram consideradas curvas de saturação no modelo do transformador.**

Local do Transformador	Nível de tensão	Ligação	Xp (Ω)	Xs (Ω)
Retificador	500/335,7 kV	Δ/Δ	16,835	22,767
	500/335,7 kV	Y/Δ	16,835	7,5889
Inversor	500/329,5 kV	Δ/Δ	17,167	22,366
	500/329,5 kV	Y/Δ	17,167	7,4555

**Tabela 2. Dados da linha em corrente contínua modelada no sistema HVDC. O comprimento total da LT é de 2092 km.**

Número da fase	Raio interno (cm)	Raio externo (cm)	Resistência (Ω/km DC)	Posição horizontal (m)	Posição vertical (m)	Altura meio de vão (m)	Número de condutores por fase	Separação condutores (cm)
1	0,4775	1,9075	0,03991	10,95	35,72	17,30	6	45,72
2	0,4775	1,9075	0,03991	-10,95	35,72	17,30	6	45,72
0	0,0000	0,4570	4,18890	8,500	42,85	24,43	1	0,000
0	0,0000	0,4570	4,18890	-8,500	42,85	24,43	1	0,000

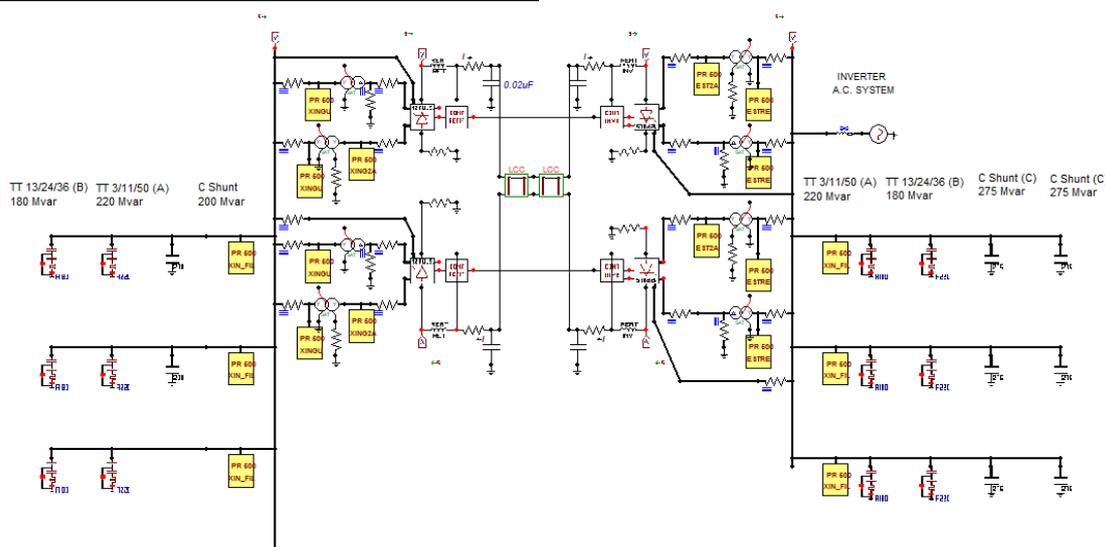
**Tabela 3. Parâmetros do equivalente calculado para a barra de 500 kV de Estreito.**

Parâmetro	%	Ω
R+	0,0191	0,4784
RO	0,1135	2,8384
L+	0,3526	8,8145
LO	0,7332	18,329

Os dados empregados na modelagem da rede foram obtidos a partir dos dados disponíveis no edital e de documentos do leilão de transmissão correspondente ao lote 31 do leilão de transmissão de energia da ANEEL nº 005/2016 (ANEEL 2016). A composição do sistema elétrico na região próxima à linha foi obtida a partir dos cenários disponibilizados na base de dados pública do ONS para o ano de 2022 e seguiu a metodologia proposta em ONS (2013). Por se tratar de uma análise de religamento tripolar, foi utilizado o cenário de carga leve para esse ano, uma vez que este caso corresponde às maiores solicitações para a manobra. A partir desse caso, foram obtidas as informações sobre o carregamento do bipolo.

Na modelagem da linha foi considerado o modelo de parâmetros distribuídos com parâmetros constantes, calculados em 60 Hz, exceto para linhas abaixo de 3 km, nas quais se utilizou o modelo PI. Para os transformadores foi empregado modelo saturável. Os geradores foram representados por meio de fonte de tensão senoidal (Dommel 1986). O equivalente das barras além dos limites da rede representada foi modelado por meio de circuitos RL acoplados (Dommel 1986). Dessa forma, a rede representa com precisão suficiente o comportamento do SIN.

Com a finalidade de verificar o comportamento do modelo desenvolvido, foram avaliadas as tensões nas barras retificadora e inversora, as tensões CC na saída dos retificadores e na entrada dos inversores e a corrente passante pelo elo HVDC, grandezas apresentadas nas Figs. 3, 4, 5 e 6, respectivamente.



**Fig. 2 Sistema HVDC modelado no ATP para o bipolo de corrente contínua Xingu-Estreito.**

Observa-se nas Figs. 3 a 6 que o sistema HVDC possui comportamento transitório até aproximadamente 200 ms, instante a partir do qual a tensão e a corrente passante pelo elo se estabilizam. Por esse motivo, os eventos da manobra foram realizados em tempos maiores que  $t = 200$  ms. As tensões nas barras retificadora e inversora também se apresentam estáveis, indicando o bom funcionamento do sistema desenvolvido.

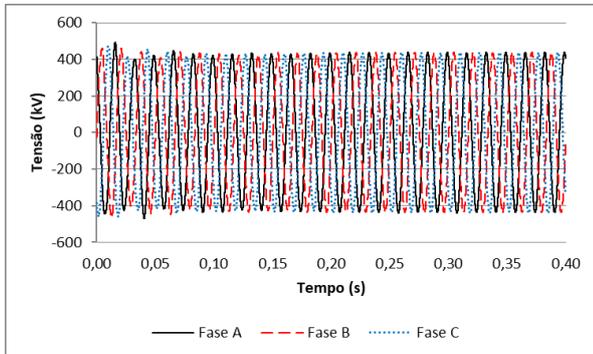


Fig. 3 Tensão fase-terra no terminal retificador (SE Xingu 500 kV) para o modelo detalhado do sistema HVDC.

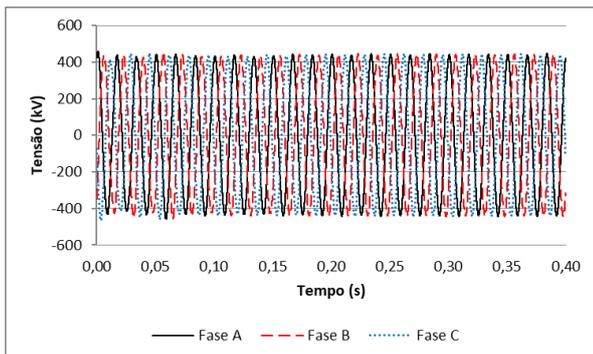


Fig. 4 Tensão fase-terra no terminal inversor (SE Estreito 500 kV) para o modelo detalhado do sistema HVDC.

Alternativamente, o bipolo Xingu-Estreito foi modelado como fontes de corrente alternada não controladas que representam o comportamento de injeção de corrente na barra de Xingu. Nessa modelagem, os filtros presentes na barra retificadora foram mantidos, assim como os transformadores que conectam a barra de Xingu 500 kV ao retificador. Os demais elementos presentes no sistema HVDC tem seu comportamento representado por quatro fontes de corrente. Portanto, a modelagem de todo o sistema de controle dos conversores, a linha CC, para-raios e demais elementos do HVDC não é necessária para a reprodução do comportamento do bipolo Xingu-Estreito. A Fig. 7 apresenta o modelo desenvolvido. A mesma rede em corrente alternada modelada a partir da SE Xingu 500 kV foi empregada.

Como descrito na metodologia, a análise de religamento tripolar foi realizada a partir dos dois modelos propostos e os resultados obtidos confrontados a fim de se avaliar a efetividade do modelo simplificado para o elo HVDC, como apresentado na sessão seguinte.

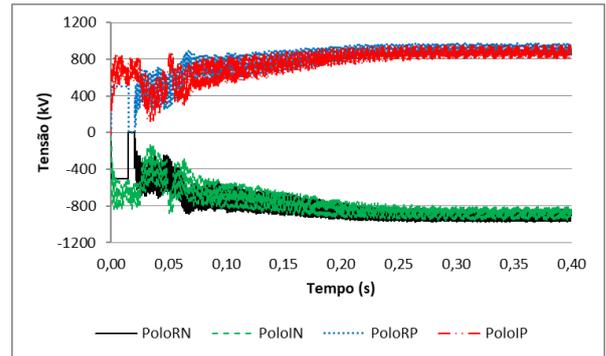


Fig. 5 Tensão CC na saída dos retificadores e na entrada dos inversores do bipolo modelado.

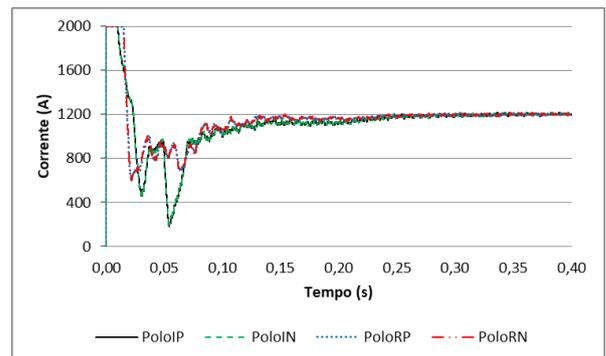


Fig. 6 Corrente passante pelos retificadores e inversores do bipolo modelado.

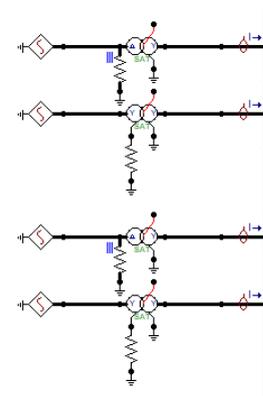


Fig. 7 Modelagem desenvolvida para o bipolo Xingu-Estreito. Representação do elo HVDC como fontes de corrente alternada.

## 5. RESULTADOS

A análise do religamento tripolar foi realizada considerando as duas diferentes modelagens da rede de interesse, com o modelo detalhado do elo HVDC ou com fontes de corrente alternada representando a injeção de corrente do elo na barra. Conforme descrito na metodologia, inicialmente foi realizada a análise estatística do religamento. Os resultados obtidos para as maiores sobretensões nos terminais e no meio da linha, bem como as sobretensões médias e os desvios padrão registrados são apresentados na Tabela 4. As máximas energias dissipadas pelos para-raios da linha em análise

também são apresentadas na tabela. Outro dado presente na Tabela 4 é o tempo de simulação de cada um dos casos.

Observa-se que os resultados para as duas modelagens analisadas estão próximos, com variação dentro do desvio padrão da análise estatística, como pode ser verificado na Tabela 5. Portanto, a modelagem do sistema HVDC como uma fonte de corrente se mostrou adequada para a análise de sobretensões transitórias.

Os resultados apresentados na Tabela 4 indicam que as maiores sobretensões encontradas se localizam no meio da linha e que os valores registrados se encontram dentro do limite de coordenação de isolamento permitido, indicado na Seção 4. As Figs. 8 e 9 apresentam a forma de onda da tensão nesse ponto para os casos 1 e 5 da Tabela 4. Como esperado, as formas de onda para os dois casos durante a ocorrência do fenômeno são similares, reforçando a adequação da representação simplificada do elo como uma fonte de corrente injetando corrente na barra.

O comportamento do modelo HVDC desenvolvido, durante a manobra de religamento, também foi analisado com a finalidade de se verificar a qualidade do sistema implementado. As tensões CC nos terminais dos inversores e dos retificadores do bipolo são apresentadas na Fig. 10. As correntes passantes por esses elementos são apresentadas na Fig. 11.

Como se observa nas figuras apresentadas, as tensões e correntes começam a se estabilizar em  $t = 0,2$  s, devido à dinâmica do modelo HVDC. Entre o instante em que a falta monofásica é aplicada no meio da LT 230 kV Xingu-Altamira até o instante em que a linha é aberta, observa-se uma leve perturbação na tensão do sistema HVDC. No instante do religamento, em  $t = 0,92$  s, não há perturbação aparente nas tensões do elo, o que indica sua robustez. O comportamento da corrente do elo HVDC também se mostra adequado, com uma pequena perturbação no instante em que a linha é aberta, em  $t = 0,42$  s, e o posterior retorno ao valor de 1200 A.

Na modelagem simplificada do bipolo por meio de fontes de corrente alternada, optou-se por representar somente a injeção de corrente na frequência fundamental. A injeção dos harmônicos presentes na corrente do sistema HVDC tem

impacto pouco significativo para a análise de fenômenos de transitórios eletromagnéticos.

**Tabela 5. Comparação entre os resultados obtidos para as sobretensões mais severas ao longo da linha devido ao religamento tripolar da LT 230 kV Xingu - Altamira**

Local	Terminal Xingu	Meio da LT	Terminal Altamira
<b>Diferença</b>	0,41%	1,18%	0,21%

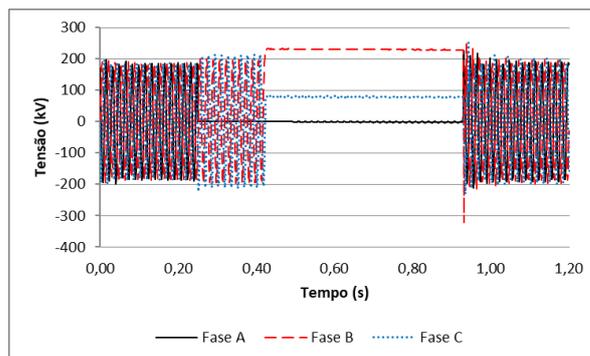


Fig. 8 Tensão fase-terra no meio da LT. Caso 1: Religamento tripolar com o modelo detalhado de HVDC.

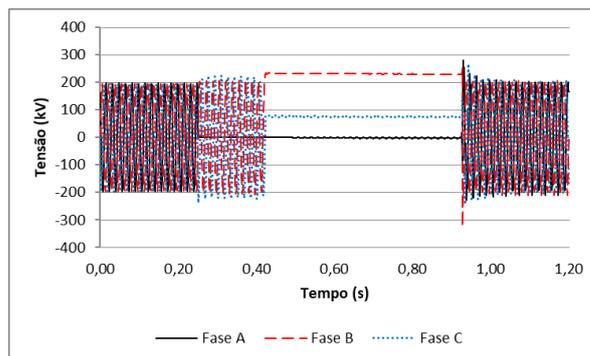


Fig. 9 Tensão fase-terra no meio da LT. Caso 5: Religamento tripolar com a representação simplificada do elo HVDC como fonte de corrente.

**Tabela 4. Resultados encontrados para as sobretensões e energia dissipada nos para raios da LT 230 kV Xingu – Altamira a partir das duas modelagens do elo HVDC Xingu-Estreito.**

Caso	Terminal de Religamento	Modelagem do Elo C.C.	Com ou sem sucesso	Terminal Xingu				Meio da LT			Terminal Altamira				Duração da simulação (s)
				Vméd (pu)	$\sigma$ (pu)	Vmáx (pu)	Para-Raios (kJ)	Vméd (pu)	$\sigma$ (pu)	Vmáx (pu)	Vméd (pu)	$\sigma$ (pu)	Vmáx (pu)	Para-Raios (kJ)	
1	Xingu	Como modelo HVDC	Com	1,642	0,170	1,938	24,53	2,089	0,323	2,682	1,888	0,109	2,005	101,2	6741,63
2	Xingu		Sem	1,604	0,219	1,944	24,41	2,059	0,376	2,759	1,859	0,152	2,010	131,4	4649,50
3	Altamira		Com	1,689	0,259	1,992	35,50	1,640	0,282	2,482	1,400	0,114	1,704	1,059	3411,42
4	Altamira		Sem	1,722	0,229	1,998	48,35	1,695	0,315	2,354	1,436	0,127	1,662	0,512	3311,92
5	Xingu	Como fonte de corrente	Com	1,655	0,154	1,945	28,30	2,089	0,309	2,714	1,891	0,102	2,009	119,2	794,266
6	Xingu		Sem	1,612	0,223	1,968	31,14	2,072	0,383	2,779	1,868	0,139	2,015	143,0	776,703
7	Altamira		Com	1,771	0,126	1,984	44,13	1,695	0,202	2,268	1,524	0,038	1,665	2,396	789,656
8	Altamira		Sem	1,791	0,143	1,985	57,24	1,763	0,257	2,398	1,535	0,060	1,755	3,036	735,063

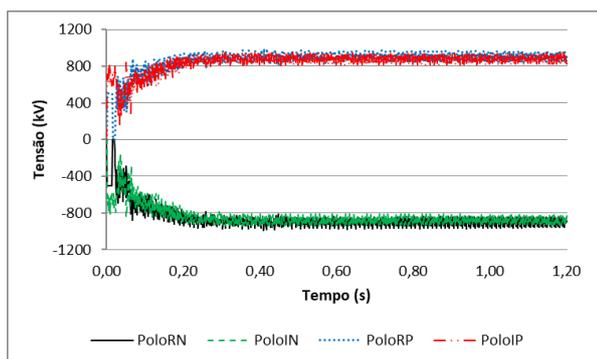


Fig. 10 Tensões CC nos inversores e retificadores do bipolo HVDC implementado.

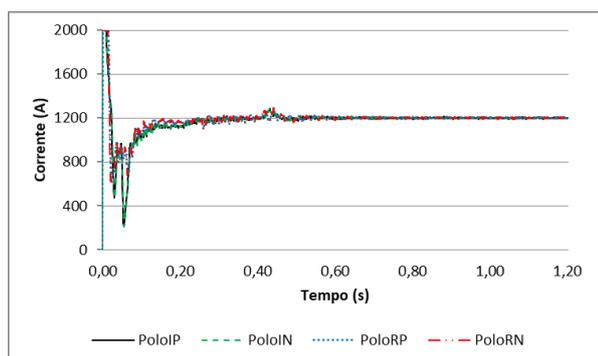


Fig. 11 Corrente nos inversores e retificadores do bipolo HVDC implementado.

Além do ganho na simplificação da modelagem do elo HVDC, em que há redução dos dados necessários para a representação do sistema e menor complexidade da modelagem, sem a necessidade da implementação de sistema de controle, o modelo simplificado também apresentou ganho computacional, como pode ser observado na Tabela 4. Enquanto os casos 1 a 4, em que foi empregado o modelo completo do sistema HVDC, levaram em média 4530 s para conclusão da simulação, os casos 5 a 8 levaram um tempo médio de 775 s no computador em que os testes foram executados (processador Intel® Core™ i7-5500U, x64, RAM 4,00 GB). A redução do tempo de simulação é expressiva e representa uma vantagem significativa da utilização do modelo simplificado para representação do sistema HVDC.

## 6. CONCLUSÕES

A modelagem de sistemas HVDC em programas de cálculo de transitórios eletromagnéticos é de interesse para a avaliação de fenômenos impostos à rede, como manobras de religamento tripolar em linhas CA em sua vizinhança. A modelagem do bipolo Xingu-Estreito utilizando duas diferentes estratégias de modelagem indicou que a representação simplificada do elo HVDC na forma de fontes de corrente equivalentes é capaz de reproduzir de forma satisfatória o comportamento dinâmico do sistema em comparação com a situação em que se considera um modelo detalhado do sistema HVDC. Além da maior simplicidade da modelagem, com redução da quantidade de dados requeridos para o desenvolvimento do modelo, observou-se também que o emprego de fontes de corrente equivalentes leva a uma

expressiva redução do tempo de simulação, indicando ganho computacional.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica, PPGEE, da UFMG. A autora Maria T. C. Souza agradece à Tractebel Engineering pela contribuição no trabalho. O presente trabalho foi realizado com o apoio financeiro da CAPES – Brasil.

## REFERÊNCIAS

- ANEEL. *Diretrizes para a elaboração de projetos básicos para empreendimentos de transmissão. Lote 31 do Leilão nº 005/2016 da ANEEL*. III. Anexo 6-31
- Daryabak, M., Filizadeh, S., Jatskevich, J., Davoudi, A., Saeedifard, M., Sood, V.K. Martinez, J.A., Aliprantis, D., Cano, J. and Mehrizi-Sani, A. (2014). Modeling of LCC-HVDC Systems Using Dynamic Phasors. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 29, 1989-1998.
- Flourentzou, N., Agelidis, V., and Demetriades, G. (2009). Vsc-based HVDC power transmission systems: an overview. *IEEE Transactions on power Electronics*, 24, 592- 602.
- H.W.Dommel (1986). *Eletromagnetic transient program reference manual (EMTP Theory Book)*. Department of Electrical Engineering, The University of British Columbia.
- Luz, G.S. and da Silva, N.F. (2006). First benchmark model for HVDC controls in ATP program, “unpublished”.
- Morin, G., Bui, L., and S. Casoria, J.R. (1993). Modeling of the Hydro-Quebec New England HVDC system and digital controls with EMTP. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 8, 559-566.
- ONS (2013). *Diretrizes para a elaboração de projetos básicos para empreendimentos de transmissão*. Operador Nacional do Sistema Elétrico.
- ONS. *Procedimentos de rede do ONS. Submódulo 23.3 Diretrizes e critérios para estudos elétricos*. Operador Nacional do Sistema Elétrico. 2018.08
- Saldanã, C. and Calzolari, G. (2019). Modelling of the 500 MW back-to-back converter station between Uruguay and Brazil in ATP. *AEIT HVDC International Conference*.
- Szechtman, M., Wess, T., and Thio, C. (1991). First benchmark model for HVDC control studies. Working Group 02 (Control in HVDC Systems) of Study Committee 14, 56-73.
- Szechtman, M. et al. (1994). The CIGRE HVDC Benchmark Model: A new Proposal with Revised Parameters. Working Group 14.02 (Control in HVDC Systems) of Study Committee 14, 61-66.
- Tractebel Engineering (2017). Estudo de religamento tripolar. EQT8-000-B07-004, 00.
- Wachal, R. et al (2014). Guide for the development of models for HVDC converters in a HVDC grid. Working Group B4.57.