

Grupo de Estudo de Operação de Sistemas Elétricos

Análise de estabilidade transitória da perda dupla da LT 500 kV Xingu - Tucuruí

**ALEXANDRE DE MELO SILVA (1); GUILHERME SARCINELLI LUZ (2); MAGDA DE FIGUEIREDO E SILVA(3);
ONS (1); ONS (2); ONS (3)**

RESUMO

A entrada em operação do elo de corrente contínua entre as subestações Xingu e Estreito, desde 2017, alteraram as condições de atendimento às cargas do sistema Amapá e Manaus. Anteriormente, o elevado número de desligamentos com interrupção de cargas neste sistema era provocado pela contingência das duas linhas de transmissão entre as subestações Xingu e Jurupari. Após a entrada deste novo bipolo, a contingência da LT 500 kV Xingu – Tucuruí passa a ser a contingência mais limitante. Este artigo apresenta a avaliação dos impactos desta contingência dupla no atendimento às cargas do Amapá e Manaus.

PALAVRAS-CHAVE

Interligação, Manaus, Amapá, Elo de Corrente Contínua

1.0 - INTRODUÇÃO

O sistema CA planejado para ampliação das interligações associadas à UHE Belo Monte consta de 22 circuitos em 500kV, cerca de 6.300km. Três destes circuitos reforçam a interligação Norte/Nordeste, um a interligação Nordeste/Sudeste e os demais 18 circuitos configuram reforços internos nas regiões Norte, Nordeste e Sudeste. Além destes reforços CA em 500 kV já se encontra em operação um dos dois Bipolos previstos de 4.000MW em \pm 800 kV ligando a SE Xingu a dois pontos na região Sudeste, reforçando, portanto, a interligação Norte-Sudeste, pelas subestações Xingu, Estreito e Terminal Rio.

Entretanto, como não ocorreu a entrada em operação da SE Parauapebas e linhas de transmissão em 500 kV associadas, a perda dupla da LT 500 kV Xingu-Tucuruí tornou-se uma contingência muito severa para a região de Macapá/Manaus. Nesta situação, esta região permanecerá interligada com a UHE Belo Monte de modo assíncrono ao SIN através do Bipolo, e a potência que escoava através desta LT terá que ser cortada do bipolo provocando um aumento instantâneo na interligação Norte-Sudeste.

A complexidade do desempenho dos elos CCAT Xingu - Estreito e Xingu - Terminal Rio frente à perda dupla da LT 500 kV Xingu-Tucuruí, exige que sejam realizadas análises em diferentes plataformas de simulação (ANATEM e PSCAD) para definir os limites de transmissão nos referidos troncos. O desempenho dinâmico do SIN só pode ser avaliado de forma confiável através da representação mais completa e detalhada do mesmo e para esta finalidade utiliza-se o programa de transitório eletromecânico ANATEM. Entretanto, a ocorrência das possíveis falhas de comutação com a correta identificação dos instantes e tempos de duração são dados essenciais para que este programa possa reproduzir os tempos de interrupção de potência dos bipolos e, consequentemente, determinar a estabilidade ou não do sistema elétrico. Estes tempos mencionados só são possíveis de serem obtidos através de um modelo mais detalhado de cada bipolo em um programa com uma modelagem trifásica capaz de representar o fenômeno eletromagnético e instantâneo dos disparos das válvulas, tal como o programa PSCAD, mesmo utilizando-se da representação do sistema elétrico de forma equivalente. Como as falhas de comutação ocorrem dentro da faixa de 300 ms após a contingência, a equivalência do sistema não afeta tanto o fenômeno em análise.

Dessa forma, este trabalho vai apresentar uma análise consistente dos impactos na interligação Norte-Sudeste, no elo CCAT Xingu - Estreito e no sistema da região de Macapá/Manaus na perda dos dois circuitos da LT 500 kV

$200 \leq \text{BIP} < 1.000 \text{ MW}$	$< 450 \text{ MW}$	$< 700 \text{ MW}$
------------------------------------------	--------------------	--------------------

No cenário Norte Exportador é necessário controlar o somatório de fluxos nos dois circuitos da LT 500 kV Xingu – Tucuruí em até 4.000 MW, devido ao seu limite de carregamento de regime normal de operação.

2.2 Limite do Fluxo no sentido Tucuruí para Xingu

Este cenário poderá acontecer durante a transição do período úmido para o seco, situação em que a UHE Belo Monte está com despacho reduzido e o Bipolo Xingu – Estreito está no sentido Xingu para Estreito. Neste cenário, o somatório de fluxos nos dois circuitos da LT 500 kV Tucuruí - Xingu deverá ser controlado para garantir que a perda dupla dos respectivos circuitos não provoque corte de toda a carga de Manaus e Amapá. Ressalta-se que não se buscou evitar o corte de carga regional controlado nessa região.

Tabela 2 - Limites na LT 500 kV Xingu – Tucuruí, no sentido Tucuruí para Xingu em função da geração na UHE Belo Monte

CARGA no SIN $\leq 63.000 \text{ MW}$	
Geração na UHE Belo Monte	Fluxo na LT 500 kV Tucuruí - Xingu
$\text{GER} \geq 1.680 \text{ MW}$	$\leq 2.400 \text{ MW}$
$1.120 \text{ MW} \leq \text{GER} < 1.680 \text{ MW}$	$\leq 2.100 \text{ MW}$
$560 \text{ MW} \leq \text{GER} < 1.120 \text{ MW}$	$\leq 1.800 \text{ MW}$
$304 \text{ MW} \leq \text{GER} < 560 \text{ MW}$	$\leq 1.500 \text{ MW}$

Além disso, definiu-se os limites da interligação entre as regiões Norte e Sudeste/ Centro-Oeste e fluxo na LT 500 kV Xingu – Tucuruí (sentido de Tucuruí para Xingu) para evitar que a perda dupla dessa linha provoque a perda de sincronismo entre as regiões Norte/Nordeste e Sudeste/Centro-Oeste, com consequente atuação das PPS instaladas na interligação Norte – Sudeste. Buscou-se evitar, ainda, a atuação do limitador de corrente de campo da UHE Serra da Mesa, visto que essa atuação pode causar a abertura dos três circuitos da interligação Norte-Sudeste.

2.3 Desempenho do elo CCAT Xingu – Estreito no cenário Sudeste Exportador

Na condição de transmissão Sudeste Exportador, foram processados alguns casos no programa PSCAD. Estes casos permitiram conhecer o comportamento dos bipolos nos primeiros segundos e fornecer subsídios para uma análise mais adequada no programa ANATEM. Escolheu-se o cenário no qual a relação de curto-circuito (*Short Circuit Ratio*) na subestação Xingu fosse inferior a 2. No programa PSCAD, o sistema que sai de Xingu na direção de Manaus se encontra representado de forma simplificada. O caso foi simulado, a partir da aplicação de uma falta monofásica em um dos circuitos da LT 500 kV Xingu – Tucuruí, eliminando-a com a abertura dos dois circuitos da referida linha de transmissão. Além disso, foi considerada a atuação de sistema especial de proteção que promove a abertura da transformação 500/230kV da subestação Xingu e após 80 ms, há a redução de potência do bipolo no valor da potência ativa (*run-back*) que estava sendo transmitida pelos dois circuitos da LT 500 kV Xingu – Tucuruí. Ressalta-se que a operação do elo Xingu-Estreito é restrita à potência mínima de 10% da potência instalada.

A simulação no programa PSCAD permitiu obter uma resposta detalhada do bipolo frente à esse evento, seja pela falha de comutação resultante da falta monofásica no inversor, como durante a tentativa de recuperação em um sistema bem mais fraco pela perda da conexão com as máquinas de Tucuruí e considerando as condições de operação de 2 e 3 máquinas de Belo Monte como síncronos. Estas condições das máquinas se referem ao período em que a UHE Belo Monte não estará despachada devido à baixa vazão de água. Nessas duas foram identificados os instantes das ocorrências de falhas de comutação e modeladas no programa ANATEM a fim de verificar o impacto deste comportamento no sistema isolado que atenderá a cidade de Manaus.

Foi observado que a ação de *run-back* parece ser restringida nos instantes iniciais pela atuação de um laço de controle de amplitude da corrente de ordem durante faltas. Esta atuação acaba provocando a ocorrência de mais uma falha de comutação durante a tentativa de recuperação do elo. A alternativa de inibir este laço de controle na configuração SE exportador precisaria ser analisada.

Os resultados no programa ANATEM confirmaram que a oscilação de tensão apresentada no programa PSCAD após a recuperação do bipolo não se verifica quando a modelagem daquele sistema é mais detalhada. A seguir estão apresentados os resultados dos casos limites, em função do número de máquina em Belo Monte operando como Compensadores Síncronos, que podem ser resumidos na Tabela 3.

Tabela 2 - Limites na LT 500 kV Xingu – Tucuruí, no sentido Tucuruí para Xingu em função da geração na UHE Belo Monte

Nº de compensadores síncronos na UHE Belo Monte	Potência máxima no bipolo Xingu – Estreito	Fluxo na LT 500 kV Tucuruí - Xingu
2	1.000 MW	720 MW
3	2.500 MW	2.100 MW
4	3.270 MW	2.870 MW

Embora o bipolo tenha recuperado apresentando um comportamento semelhante para valores de potência acima de 1.000 MW no caso com 2 síncronos, os resultados no programa ANATEM indicaram que a variação de frequência no sistema isolado provoca o corte de carga total. No caso com 3 síncronos a variação de frequência é menor permitindo um valor de potência transmitida maior. No caso com 4 síncronos o valor de potência de 3.000MW apresentou as 3 falhas de comutação dos casos com 2 e 3 síncronos.

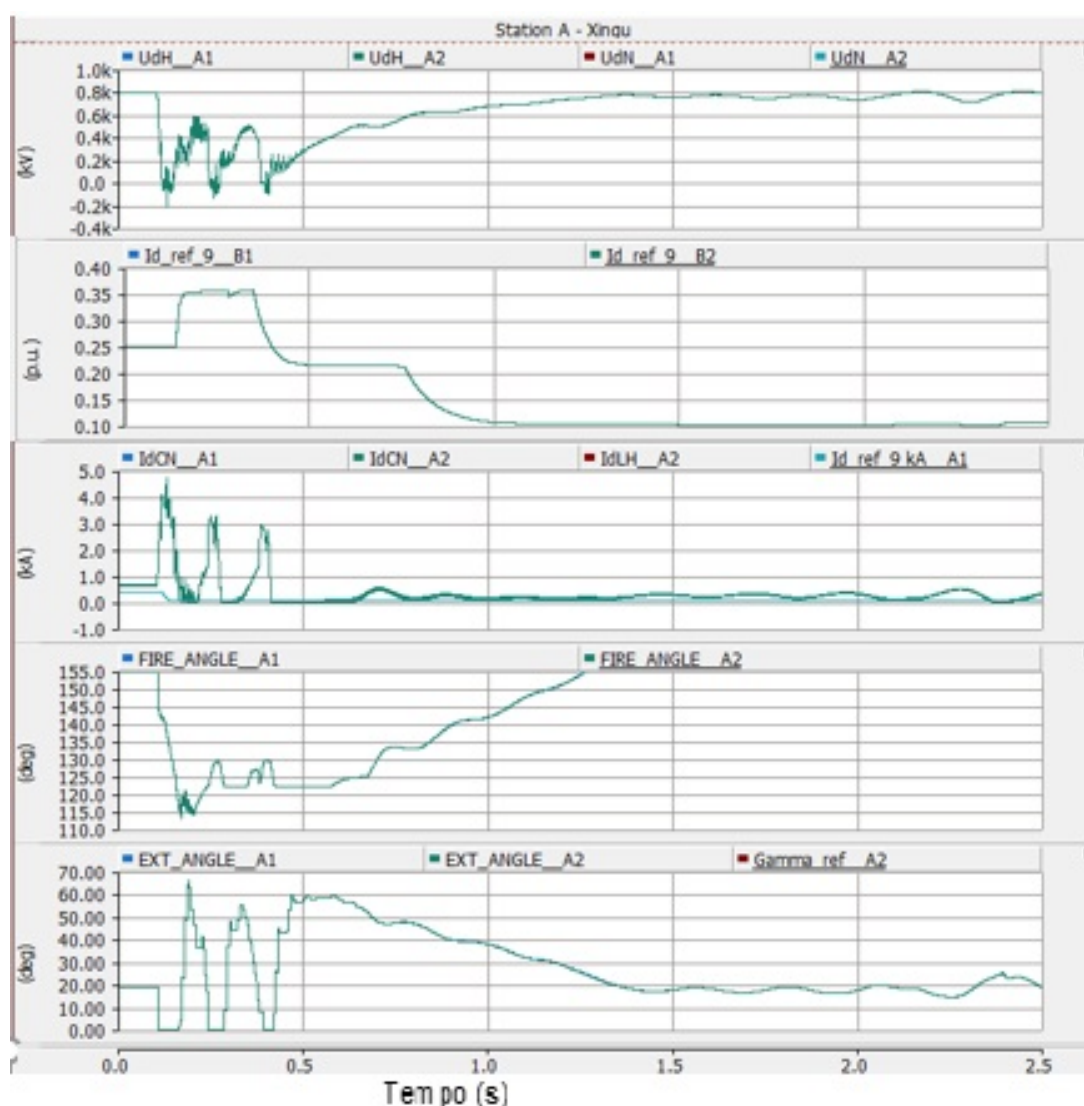
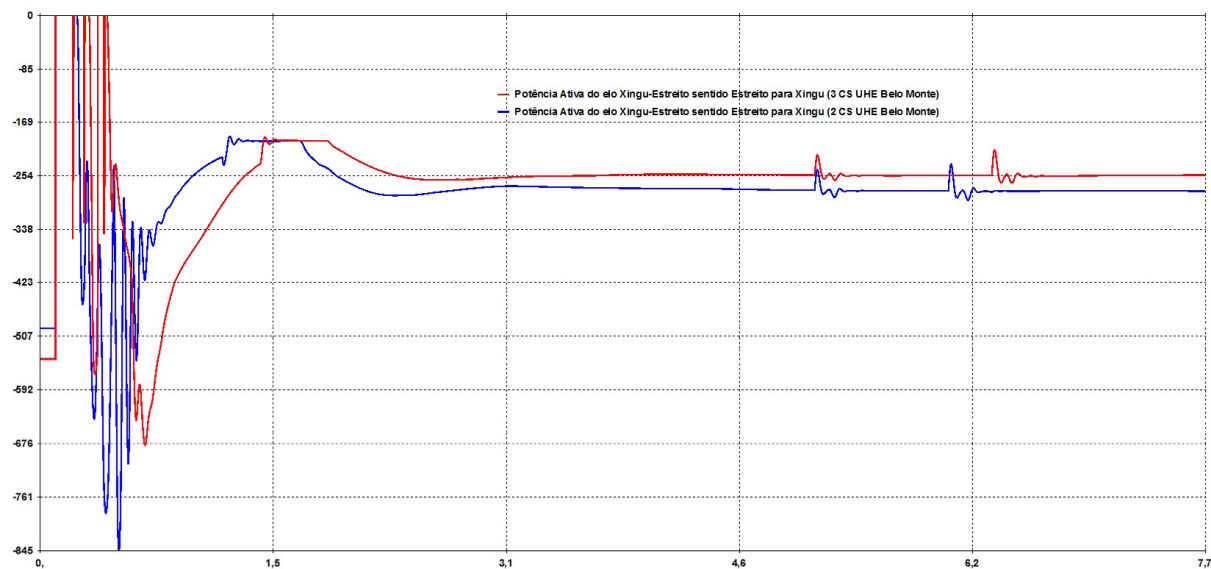
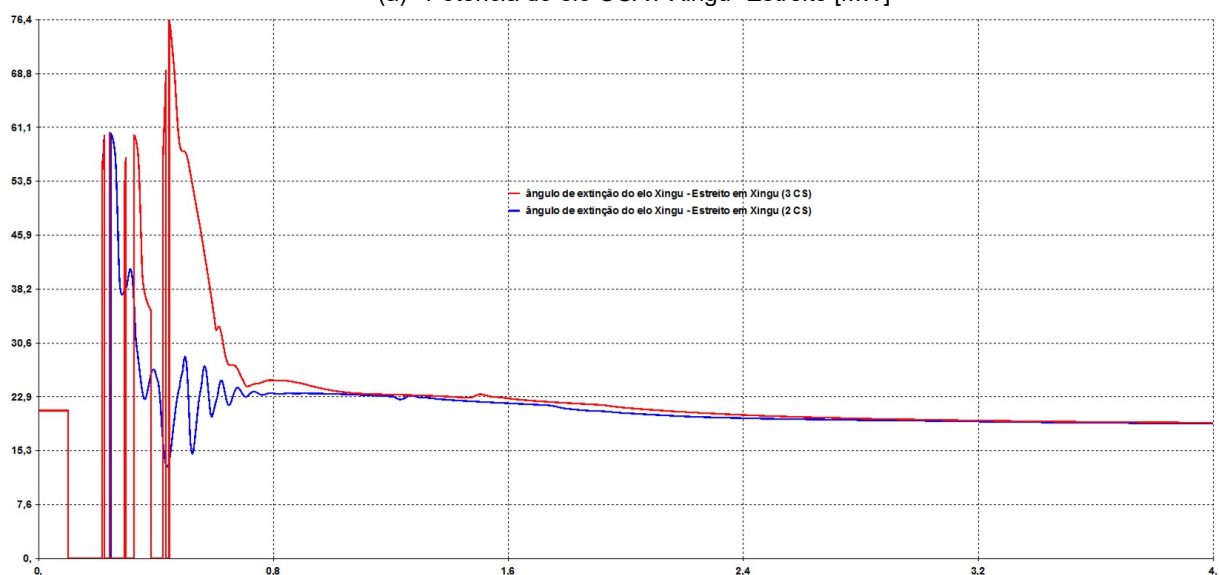


Figura 2 – Desempenho do elo CCAT Xingu – Estreito (PSCAD). UHE Belo Monte: 2 compensadores síncronos. Elo CCAT Xingu-Estreito: 1.000 MW



(a) Potência do elo CCAT Xingu -Estreito [MW]



(b) ângulo de extinção em Xingu [MW]

Figura 3 – Desempenho do elo CCAT Xingu – Estreito (ANATEM). UHE Belo Monte: 2 e 3 compensadores síncronos. Elo CCAT Xingu-Estreito: 1.000 MW (2 CS) e 1.100 MW (3CS)

Percebe-se pela análise das curvas da Figura 3 que o comportamento do ângulo de extinção (gama) nos dois programas (ANATEM e PSCAD) apresentaram comportamentos semelhantes no cenário com dois compensadores síncronos na UHE Belo Monte e o elo CCAT Xingu – Estreito transmitindo 1.000 MW.

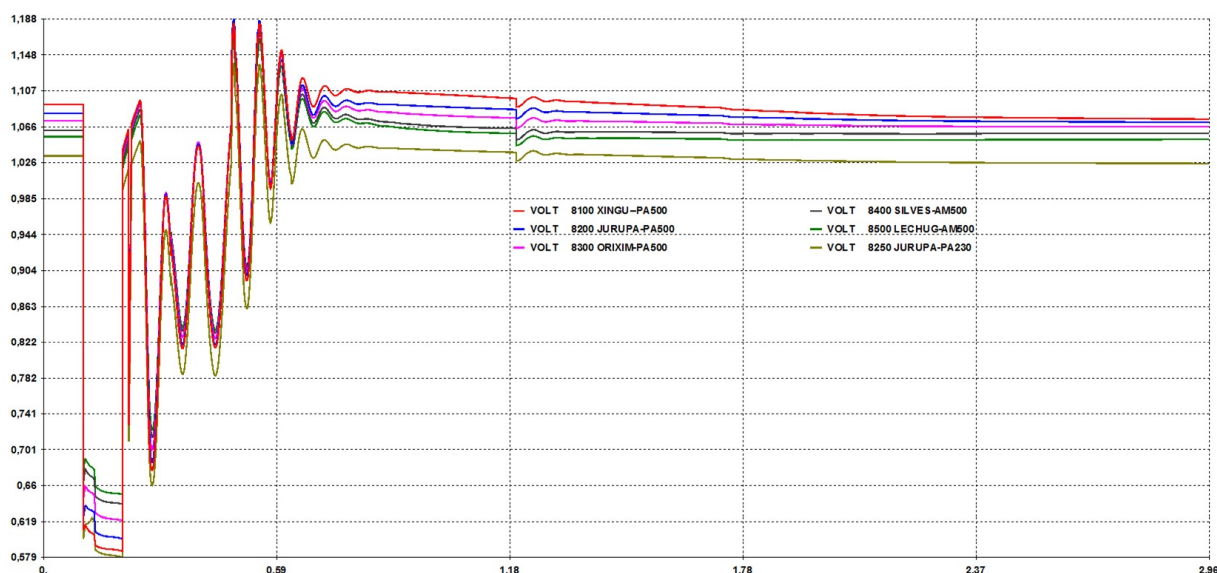


Figura 4 – Tensões nos barramentos de 500 kV e 230 kV do Amapá e Manaus. UHE Belo Monte: 2 compensadores síncronos. Elo CCAT Xingu-Estreito: 1.000 MW.

As tensões do sistema Manaus e Amapá oscilam bastante, porém essas oscilações não provocam corte de carga por violações de tensão. Ocorre corte de carga por taxa de variação de frequência na região de Manaus, cerca de 44% (quatro estágios do esquema regional de alívio de carga ERAC) como pode ser visto na Figura 5.

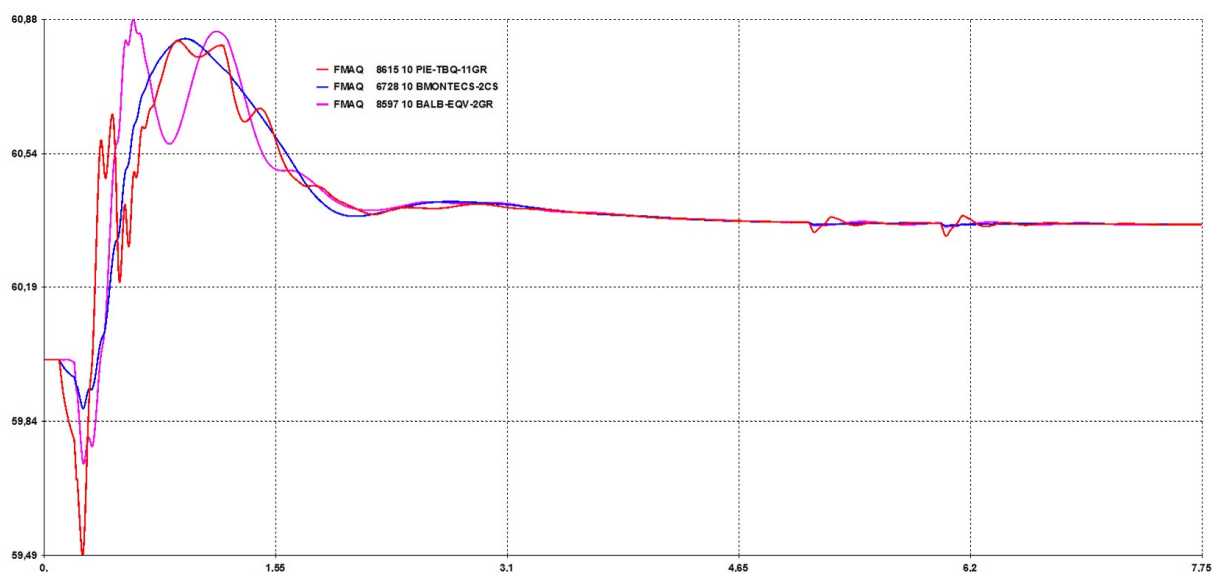


Figura 5 – Frequência em Manaus. UHE Belo Monte: 2 compensadores síncronos. Elo CCAT Xingu-Estreito: 1.000 MW.

3.0 - CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

No programa PSCAD, o sistema que sai de Xingu na direção de Manaus se encontra representado de forma simplificada, por outro lado, no programa ANATEM, esta parte do sistema envolve uma representação da dinâmica das máquinas térmicas. Embora o bipolo tenha recuperado apresentando um comportamento semelhante para valores de potência acima de 1.000MW no caso com 2 síncronos, os resultados no programa ANATEM indicaram que a variação de frequência no sistema isolado provoca o corte de carga total.

Os impactos da representação da geração do Amapá e Manaus no desempenho dinâmico do bipolo foram desprezados nessa análise. Essa representação impacta no desempenho do sistema após o fim das falhas de comutação, não afetando o desempenho do elo CCAT Xingu – Estreito durante a aplicação do curto-circuito monofásico. Os resultados no programa ANATEM confirmaram que a oscilação de tensão apresentada no

programa PSCAD após a recuperação do bipolo não se verifica quando a modelagem daquele sistema é mais detalhada.

A ação de *run-back* parece ser restringida nos instantes iniciais pela ação de controle do elo Xingu-Estreito. Com a entrada em operação do elo CCAT Xingu – Terminal Rio, será necessário avaliar a coordenação de controle da ação de *run-back* dos Bipolos para garantir o atendimento à carga do Amapá e Manaus.

O comportamento do ângulo de extinção (gama) nos dois programas (ANATEM e PSCAD) apresentaram comportamentos semelhantes no cenário com dois compensadores síncronos na UHE Belo Monte e o elo CCAT Xingu – Estreito transmitindo 1.000 MVA tensões do sistema Manaus e Amapá oscilam bastante, porém essas oscilações não provocam corte de carga por violações de tensão. Ocorre corte de carga por taxa de variação de frequência na região de Manaus.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) “DIRETRIZES PARA OPERAÇÃO ELÉTRICA COM HORIZONTE QUADRIMESTRAL MAIO - AGOSTO 2019,” 2019.

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Alexandre de Melo Silva graduou-se em Engenharia Elétrica e Física pela UFMG/UNICAMP em 2006. Especializou-se em Sistemas Elétricos de Potência pela UNIFEI em 2011. Ingressou na Eletronorte em 2007 na área de proteção de subestações. Em 2007 entrou para EPE atuando no planejamento da Transmissão. Desde 2016 está no ONS na área de planejamento da operação elétrica.



GUILHERME SARCINELLI LUZ, brasileiro, nascido no RJ em 1957, engenheiro eletricitista pela UFRJ (1981) - Engenheiro do ONS lotado na EGE/DPL. Áreas de atuação: Simulação de Transitórios Eletromagnéticos e Sistemas de Corrente Contínua utilizando os programas ATP e PSCAD. Trabalhou em FURNAS de 1993 a 2017, após trabalhar 11 anos na área de Consultoria na PROMON, THEMAG e Eletroconsult de Paraguay. Trabalha no ONS desde 2017.



Magda de Figueiredo Magalhães graduou-se em engenharia elétrica em 1997 na Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e obteve Pós-Graduação em Sistemas Elétricos em 2000. Iniciou a carreira no ONS em 1999, onde trabalha até hoje no planejamento da operação elétrica.