



GRUPO DE ESTUDO DE OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GOP

DESAFIOS NA INTEGRAÇÃO DE DUAS ÁREAS ELETRICAMENTE DISTANTES: CASO INTEGRAÇÃO PARÁ – MATO GROSSO

DILTON SERRA SECA VASCONCELOS FILHO (1); FELIPE RODRIGUES SOBRAL (2); ANTONIO SAMUEL NETO(3); ALEXANDRE DE MELO SILVA(4); NATHALIA DE SOUZA FEITOSA(5); RAFAEL MAGLIONE AOUN(6)
OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELETRICO ONS (1)

RESUMO

O artigo proposto tem como objetivo apresentar os desafios encontrados na integração de duas áreas eletricamente distantes (grande diferença angular), especificamente a rede de distribuição da região do Baixo Araguaia, composta por um sistema radial em 138 kV, entre os estados do Pará e Mato Grosso, formando um sistema de aproximadamente 550 km de comprimento, caracterizado pela conexão de uma subestação 230/138 kV, através de dois autotransformadores juntamente com dois transformadores defasadores 138/138 kV $\pm 30^\circ$, uma LT em circuito duplo, com 140 km, ligando as SEs 138 kV Vila Rica e Santana do Araguaia, apresentando-se as dificuldades encontradas, suas particularidades e soluções definidas.

PALAVRAS-CHAVE: Diferença angular, Transformador Defasador, Projeto Básico, Normatização.

1.0 INTRODUÇÃO

A rede de atendimento a carga da região denominada de Baixo Araguaia, no estado do Mato Grosso, é composta por um sistema radial em 138 kV, que se estende desde a divisa entre os estados do Pará e Mato Grosso até a subestação da Rede Básica mais próxima, a Subestação (SE) 230 kV Canarana, no estado do Mato Grosso, formando um sistema, em 138 kV, de aproximadamente 550 km, conforme apresentado na Figura 1.

Sistemas com as características mencionadas possuem, naturalmente, uma baixa margem de transmissão e, consequentemente, uma pequena capacidade de atendimento a carga, associada às dificuldades no controle de tensão. Isso ocorre devido ao elevado comprimento do sistema que, em condições de carga leve o reativo capacitivo das linhas de transmissão (LT) provocam uma elevação significativa no perfil de tensão. Entretanto, em situações de elevado carregamento, tem-se afundamentos significativos de tensão, indicando um esgotamento da margem de transmissão e resultando em um atendimento precário devido a essas baixas tensões.

2.0 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

Sabendo dessas dificuldades, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), propôs diversas soluções para equacionar a questão [1], [2], [3]. O estudo [2], indicou a criação de um novo ponto de suprimento, a SE 230/138 kV Santana do Araguaia, com dois autotransformadores 230/138 kV – 150 MVA, que se conectaria ao sistema existente a partir de uma LT 230 kV de 295 km em circuito duplo entre as SE Xinguara II (existente) e a nova SE Santana do Araguaia, resultando na configuração apresentada na Figura 2.

Entretanto, o crescimento da carga da região em patamares muito superiores àqueles esperados no estudo de planejamento [1], identificou problemas em condição normal e em contingências a partir de 2018. Para equacionar esses problemas, um novo estudo [3], foi realizado considerando as obras já anteriormente indicadas.

As análises de planejamento [3], identificaram como solução de menor custo global, a conexão da SE 138 kV Vila Rica com a SE 138 kV Santana do Araguaia, através de um circuito duplo, juntamente com a duplicação da LT 138 kV Confresa – Vila Rica. De forma a permitir um melhor controle do fluxo de potência entre as três transformações da Rede Básica (Santana do Araguaia, Barra do Peixe e Canarana), bem como controlar a diferença angular em caso de fechamento de anel entre os dois sistemas, foi indicada a instalação de dois transformadores defasadores na SE Santana do Araguaia, resultando na configuração apresentada na Figura 3.

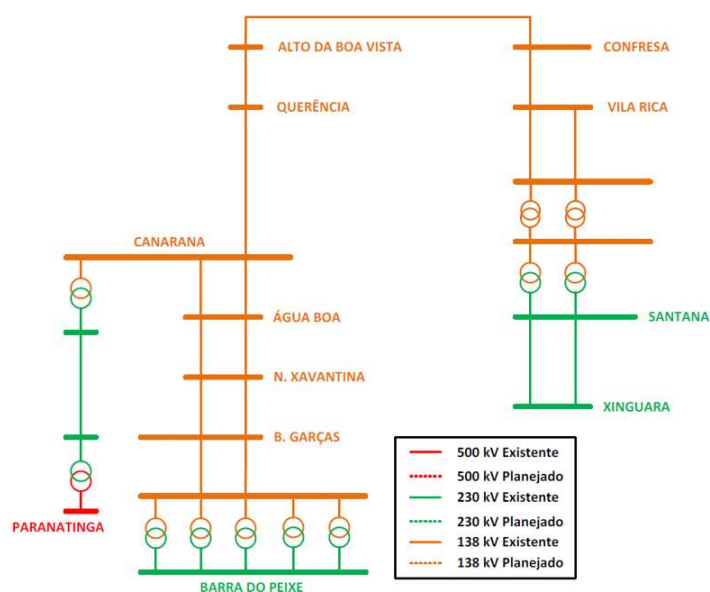


Figura 1- Diagrama unifilar simplificado da região do Baixo Araguaia [2]

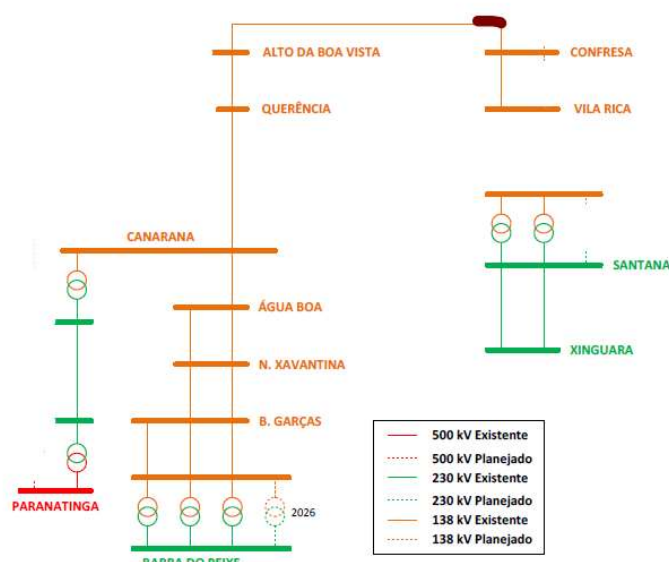


Figura 2- Configuração definida pelo estudo [2]

A configuração proposta na Figura 3 indica uma operação em anel pelo sistema de 138 kV. Todavia, a operação em anel gera preocupações quanto à distribuição de carregamento entre as SE da Rede Básica. Para resolver essa preocupação, os transformadores foram indicados proporcionando grande flexibilidade operativa e reduzindo a diferença angular entre as SE Santana e Vila Rica.

A solução final foi posta para Leilão no Lote 16 do Leilão Aneel 005/2016 contemplando os seguintes componentes:

- Duas LT 230 kV Xinguará II – Santana do Araguaia, CD, de 266 km;
 - 2 unidades trifásicas de reator de linha 15 Mvar para cada linha de transmissão, na SE Santana do Araguaia
 - 2 unidades trifásicas de reator de barra 10 Mvar, na SE Santana do Araguaia.
- SE Santana do Araguaia 230/138-13,8 kV, composta por duas unidades de transformação trifásicas de 230/138 kV, de 150 MVA cada, e duas unidades de transformação trifásica defasadora, de 150 MVA cada;

Além destas obras, foram autorizadas a Energisa MT duas LDs 138 kV Santana do Araguaia – Vila Rica C1 e C2, possibilitando a interligação entre os sistemas Pará e Mato Grosso.

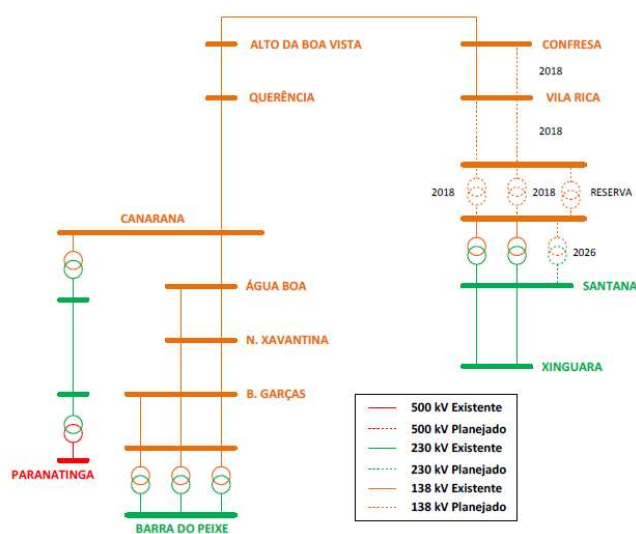
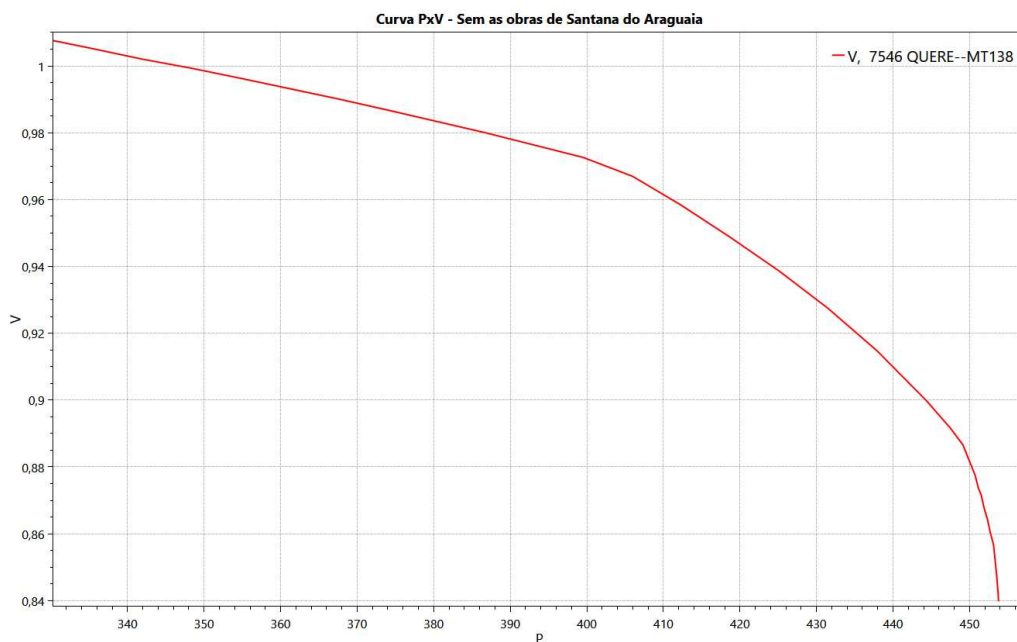


Figura 3- Configuração definitiva pelo estudo [3]

3.0 OPERAÇÃO NORMAL

A entrada em operação dos empreendimentos citados no item 2, referentes ao Lote 16 do Leilão Aneel 005/2016, promove uma melhoria significativa no perfil de tensão e na margem de atendimento à carga da região do Baixo Araguaia, como pode ser visualizado nas curvas P-V da Figura 4. A margem de carga de um determinado barramento do anel 138 kV apresenta um aumento considerável, de aproximadamente 230 MW.

Além disso, a obra promoveu a integração das cargas isoladas de Santana do Araguaia, na região Sul do Pará, antes atendidas por geração térmica.



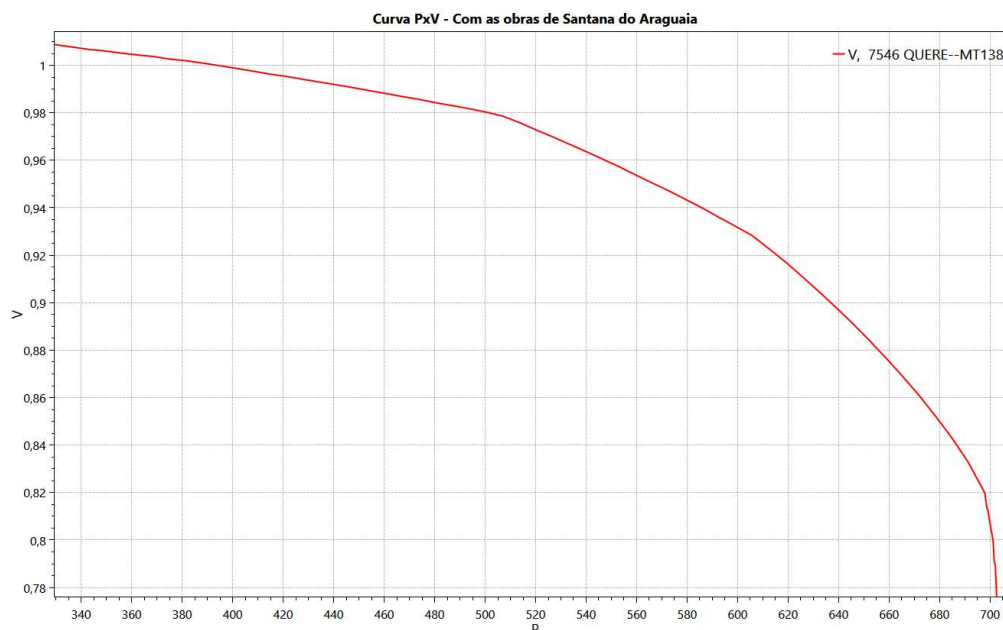


Figura 4 – Curvas PxV antes e depois da entrada da SE Santana do Araguaia e a operação em anel.

4.0 DEFINIÇÃO DO MODO DE OPERAÇÃO DOS TRANSFORMADORES DEFASADORES

Os transformadores defasadores presentes nesse empreendimento constituem os primeiros equipamentos com esta característica na região Norte. Devido à configuração em anel dos sistemas, a definição do seu modo de operação que pode ser no modo manual ou no modo automático, constituiu uma etapa importante nos estudos pré-operacionais.

No modo manual, a posição do LTC que proporciona o defasamento do transformador é ajustada pelo operador. Esse modo de operação é normalmente utilizado quando deseja-se elevar o fluxo, com uma determinada sensibilidade, definida pelo defasamento angular imposto, e seleção da direção desejada. No modo de operação automático, a posição do LTC é automaticamente ajustada de forma a realizar o controle do fluxo de potência ativa. Esse modo de operação é normalmente utilizado quando se busca garantir um fluxo fixo na transformação.

Inicialmente, o modo de operação dos transformadores defasadores da SE Santana do Araguaia foi definido como automático, onde é determinado um *setpoint* de potência, tendo-se um fluxo de potência ativa fixa na transformação. Este modo de operação é recomendado quando se precisa controlar o fluxo na transformação em função de algum limite operativo. De forma a prover flexibilidade para a operação no tempo real, foi definido posteriormente um modo de operação manual, permitindo o controle do tape dos transformadores e consequentemente de sua defasagem angular, sendo fornecido ao operador uma sensibilidade entre a defasagem dos transformadores e o fluxo de potência ativa nestes. O objetivo é maximizar o fluxo no sentido do Pará para o Mato Grosso, de forma a não só atender a carga de Santana do Araguaia 138 kV, mas também auxiliar no atendimento ao anel 138 kV do Baixo Araguaia, melhorando sua margem de atendimento à carga, como mostrado na Figura 4.

5.0 CONTINGÊNCIAS

Uma etapa fundamental na integração das obras são os estudos pré-operacionais, os quais visam indicar as diretrizes operativas para permitir uma operação segura em condição normal e em contingências, além de fornecer subsídios para a manobra de determinados equipamentos ou linhas de transmissão. Muitas vezes essa etapa se torna bastante laboriosa, já que muitas vezes a configuração de entrada em operação não corresponde à configuração planejada, sendo necessário adotar medidas especiais para permitir a operação em configuração diferente da planejada, até que as demais obras previstas entrem em operação.

No caso da integração do Lote 16 do Leilão Aneel 005/2016, os estudos de planejamento indicavam a configuração apresentada na Figura 3, entretanto, no momento de entrada em operação, o segundo circuito entre as SE 230 kV Integradora – Xinguara II não se encontrava em operação.

Apesar das obras promoverem melhorias drásticas em condição normal de operação, como visto no item 3.0, além de garantir o atendimento ao critério “N-1” no anel de distribuição do Baixo Araguaia, a falta do segundo circuito entre

as SE 230 kV Integradora – Xinguara II provocou impactos significativos, tendo sido necessárias diversas medidas operativas para contornar a situação até a entrada dessa nova função de transmissão.

A contingência da única LT 230 kV Integradora – Xinguara II, como pode ser visto na Figura 5, cria um sistema radial a partir da SE Canarana, que supre toda a carga da região do Baixo Araguaia, além de passar a suprir a carga da SE Xinguara II. Nessa situação, ocorre uma redução drástica da margem de transmissão da região (Figura 6), associado com a localização de uma carga de valor próximo a toda a carga do sistema de 138 kV, na pior localização possível, a barra de 230 kV da SE Xinguara II, todas essas situações levam, naturalmente, a um colapso de tensão na região.

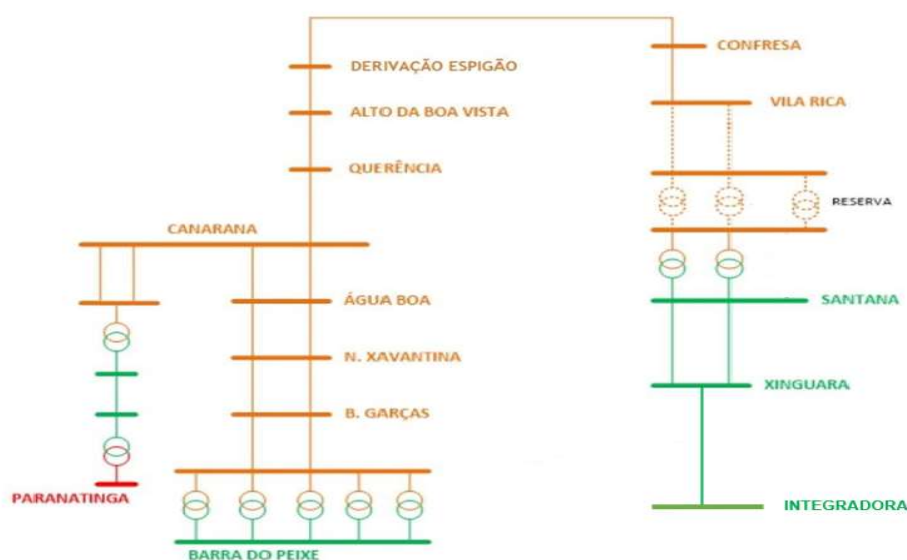


Figura 5 – Sistema inicial. Contingência da LT 230 kV Integradora – Xinguara cria um sistema radial a partir da SE Canarana. Adaptado de [2]

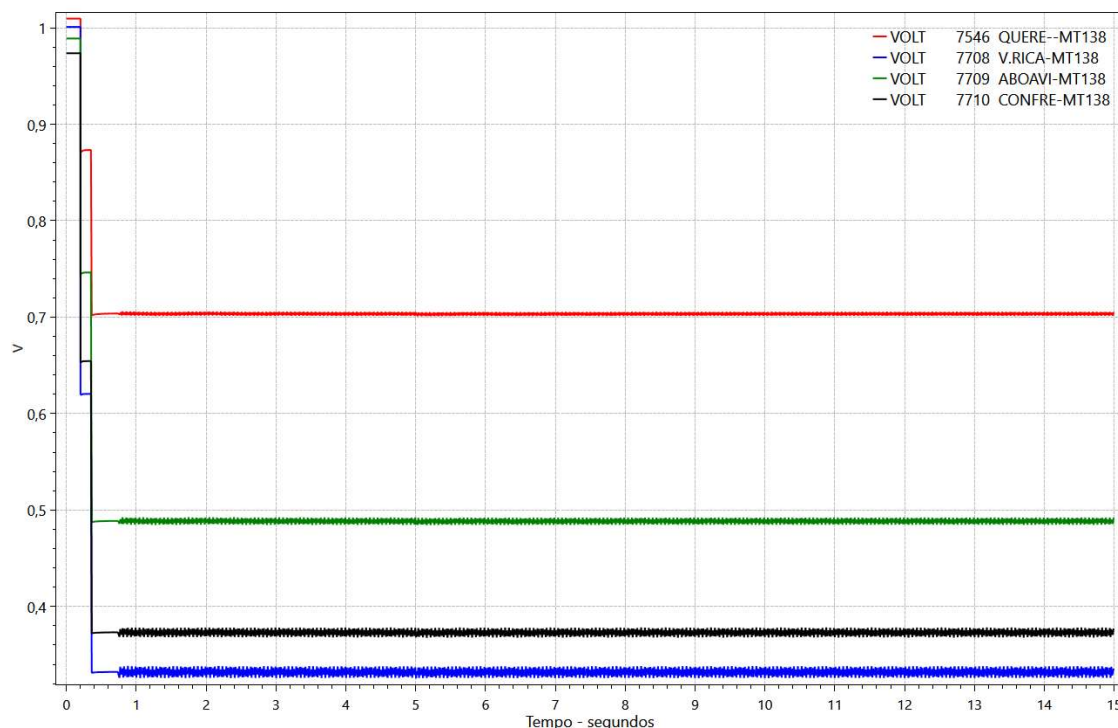


Figura 6 – Colapso de tensão após a perda da LT 230 kV Integradora – Xinguara II.

Para permitir a exploração de todas as vantagens da operação em condição normal e nas contingências, com exceção da perda LT 230 kV Integradora – Xinguara II, foram realizadas diversas análises para definir medidas operativas que permitissem explorar as qualidades sem prejudicar o sistema nas contingências. Para isso, verificou-se que a adoção de algumas configurações em condição normal, associado a um Sistema Especial de Proteção (SEP), permitiria extrair todos os ganhos possíveis para a operação nessa condição.

6.0 MEDIDAS OPERATIVAS E ESQUEMAS ESPECIAIS

6.1 Esquema para corte de carga na SE Xinguara II

A primeira etapa das medidas a serem tomadas foi promover o corte de carga na SE Xinguara II, na ocorrência da perda da LT 230 kV Integradora – Xinguara II. Cabe ressaltar que nessa situação não haveria modificação da situação que se encontrava vigente para a SE Xinguara II, não constituindo-se, assim, uma redução de confiabilidade da carga atendida por essa subestação.

Como a previsão para entrada do segundo circuito entre as SE Integradora e Xinguara II era de poucos meses, a simplicidade do SEP passou a ser uma condição fundamental. Para isso, propôs um esquema baseando-se na configuração da SE. A SE Xinguara II possui um arranjo do tipo barra dupla à quatro chaves, dessa forma opera-se, normalmente, com ambas as barras de 230 kV energizadas e os equipamentos distribuídos da forma mais conveniente operativamente.

Para permitir a eliminação da carga de forma simples, foi proposta a operação na configuração mostrada na Figura 7 –. Com a operação na configuração da, para garantir o corte da carga da SE Xinguara II a partir da abertura da LT 230 kV Integradora – Xinguara II, foi necessário apenas replicar o comando de abertura do disjuntor do terminal da SE Xinguara II da LT 230 kV Integradora – Xinguara II para o disjuntor de interligação de barras. Nessa situação a abertura da linha comandaria a abertura de toda a carga da SE Xinguara II não sendo necessária a instalação de nenhuma função especial.

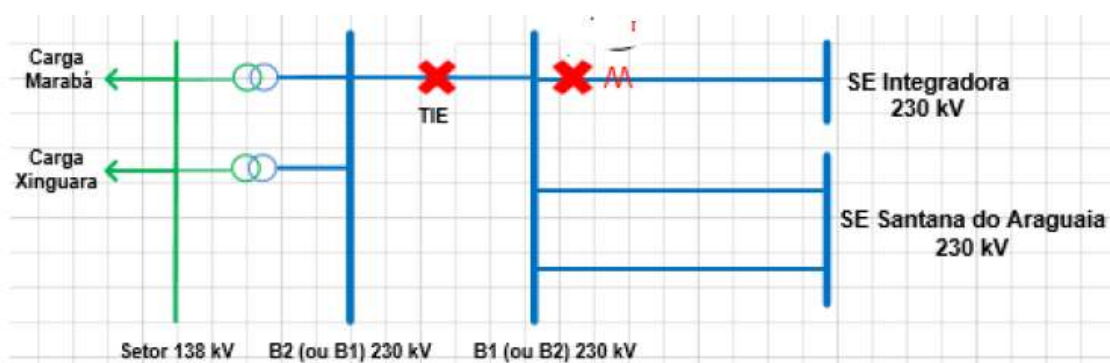


Figura 7 – Configuração de barramentos adotada na SE Xinguara II [4].

Após a abertura da LT 230 kV Integradora – Xinguara II e o corte de carga da SE Xinguara II, outros aspectos tiveram que ser equacionados, como a permanência das LT 230 kV Xinguara II – Santana do Araguaia (C1 e C2). Para resolver essas questões, foram adotadas algumas medidas operativas. Para evitar sobretensões não admissíveis na SE Santana do Araguaia quando da atuação do SEP tratado anteriormente, foi necessário propor uma configuração mínima de reatores, tendo, pelo menos, um reator de barra presente na SE Santana do Araguaia.

Outra necessidade foi a operação com apenas um circuito 230 kV Xinguara II – Santana do Araguaia, em operação em condição normal. Essa situação, apesar de reduzir a confiabilidade do sistema, se trata de uma configuração superior à configuração inicial sem a presença do Lote 16, não sendo, portanto, uma restrição em relação ao sistema antes da integração do empreendimento. Por fim, adotou-se também um esquema de chaveamento automático do segundo reator de barras da SE Santana do Araguaia.

6.1 Manobras

Com a operação em anel, a manobra na LT 230 kV Integradora – Xinguara II passou a ser particularmente complexa, já que, a manobra dessa LT promove uma variação drástica na capacidade de atendimento a carga do sistema, essa mudança se traduz em variações severas de tensão.

Nas manobras de desenergização, foram adotadas referências de fluxo de potência ativa e reativa para manobra dos equipamentos. Novamente, o transformador defasador apresenta uma grande e importante flexibilidade operativa, já que permite o ajuste do fluxo de potência ativa de forma a atender as condições especificadas, enquanto o tape dos

autotransformadores permite o ajuste do fluxo de potência reativa, sendo o conjunto autotransformador + transformador defasador essencial para viabilizar a manobra com sucesso.

Para as manobras de energização, além do atendimento das condições de tensão, faz-se necessário avaliar o impacto também nas máquinas presentes na região, notadamente na PCH Paranatinga e o Compensador Síncrono da SE 138 kV Confresa. Mesmo com a entrada da nova SE Santana do Araguaia e a operação em anel, as análises verificaram a necessidade de desligamento prévio do gerador da PCH Paranatinga para manobra da LT 230 kV Paranatinga – Canarana.

Para as manobras no setor de 138 kV, não foram verificados impactos significativos nas gerações presentes na região. Além disso, a presença do transformador defasador permite reduzir as diferenças angulares, reduzindo, dessa forma, a potência acelerante nas máquinas da região.

7.0 CONCLUSÕES

A integração dos sistemas elétricos do Baixo Araguaia e do Pará apresentaram bastante desafios para os processos de planejamento e programação do ONS. Na busca de soluções de maior simplicidade operativa, e consequentemente de implementação para garantir a segurança no atendimento a carga, foi necessário definir uma configuração operativa mínima de reatores e das LT 230 kV Xinguara 2 - Santana do Araguaia e fixar o arranjo de uma subestação. As manobras de abertura e fechamento de anel necessitaram de uma precisão ímpar.

Com as obras indicadas pela EPE e consolidada no Leilão no Lote 16 do Leilão Aneel 005/2016, tornou-se possível operar o sistema do Baixo Araguaia em anel com a Rede Básica através das SEs 230kV Canarana, Barra do Peixe e Santana do Araguaia, melhorando significativamente o desempenho do sistema em condição normal de operação, permitindo um melhor controle de tensão da região e um aumento significativo na margem de transmissão, além de garantir o atendimento do critério N-1 para contingências na Rede de Distribuição.

Os transformadores defasadores apresentam um papel fundamental na otimização dos recursos da região, já que devido às elevadas impedâncias da rede de 138 kV, a distribuição do fluxo entre as transformações da região se torna bastante complicada, principalmente em cenários na qual a nova subestação pode vir a se tornar uma “carga” para a rede de distribuição, de tal sorte que o uso do recurso de controle de potência ativa proporcionado pelos transformadores defasadores é de suma importância, garantindo que o novo sistema seja uma fonte de suprimento para a rede de distribuição.

Para definição do modo de operação do LTC do transformador defasador (controle automático ou manual de potência ativa) e do valor de *setpoint* (potência ativa ou ângulo) a ser adotado, foram necessárias análises específicas considerando o perfil de carga dos últimos anos na região, de forma a permitir o ajuste mais aderente possível. Também foram estudados diversos cenários de Exportação do Mato Grosso (FMT) e de fluxo na interligação Norte/Sudeste (FNS), que influenciam diretamente na diferença angular entre as áreas Mato Grosso e Pará e consequentemente no fluxo dos transformadores defasadores.

Apesar de em condição normal serem verificadas apenas vantagens, a ocorrência de determinadas contingências na Rede Básica pode ser bastante severa, levando o sistema rapidamente a um colapso de tensão. Como forma de mitigar esse risco, foi implementado um Sistema Especial de Proteção (SEP). Esse SEP tem um caráter bastante especial já que se baseia no arranjo da subestação, pelo curto tempo de necessidade para operação, tendo sido necessário apenas a definição da configuração operativa das subestações. Além disso, foi necessário a definição de uma configuração mínima de reatores e de condição operativa para as LT 230 kV Xinguara 2 - Santana do Araguaia.

A definição das condições de manobra se mostrou uma dificuldade a parte, já que por se tratar de dois sistemas eletricamente distantes, as diferenças angulares verificadas são muito elevadas e dessa forma os impactos da realização de manobras se tornam cada vez mais severos. Nesse sentido, as análises realizadas demandaram uma precisão ainda maior decorrente das dificuldades apresentadas acima, para garantir a maior flexibilidade operativa com segurança.

Apesar das dificuldades apresentadas, a integração deste empreendimento se mostra de fundamental importância social, evitando o corte de cargas e dessa forma garantindo o adequado suprimento de energia para todos.

Referências

[1] EPE-DEE-DEA-RE-004-2013-rev 1

[2] EPE-DEE-DEA-RE-061-2014-rev0

[3] EPE-DEE-RE-168-2014-rev0

[4] ONS-DPL-0242/2020 – “Estudos pré-operacionais para integração ao SIN da SE Santana do Araguaia 230/138 kV: Volume 1”

DADOS BIOGRÁFICOS

(1) DILTON SERRA SECA VASCONCELOS FILHO
 Dilton Serra Seca Vasconcelos Filho graduou-se em engenharia elétrica pela UFPE em 2018. Trabalha no ONS desde abril de 2019. Atualmente realiza estudos pré-operacionais de regime permanente, transitórios eletromecânicos e eletromagnéticos, adicionalmente, realiza análises de Projetos Básicos de empreendimentos de Transmissão e análise de estudos de Qualidade de energia na integração de geração eólica e solar conectados ao Sistema Interligado Nacional na equipe Engenharia do Norte Nordeste do ONS.

(2) FELIPE RODRIGUES SOBRAL
 Formado na Universidade Federal da Paraíba em 1998, concluiu a Especialização em Sistemas de Potência pela Universidade Federal de Pernambuco em 2004. Pós-graduado em IAG Master em Desenvolvimento Gerencial – CAISE pela PUC-Rio em 2011. Atuou no ONS nas áreas de Pós-Operação e Programação Elétrica Diária. Atualmente está na Gerência de Engenharia do N/NE na área de Estudos Elétricos.

(3) ANTONIO SAMUEL NETO
 Antonio Samuel Neto, engenheiro eletricitista pela UFPE, em 2003, com Mestrado pela UFPE, em 2005. Trabalha no ONS desde outubro de 2005. Atualmente realiza estudos pré-operacionais de regime permanente e transitórios e eletromagnéticos na equipe Engenharia do Norte Nordeste do ONS. Adicionalmente, realiza análises de Projetos Básicos de empreendimentos de Transmissão e análises de estudos de Qualidade de Energia na integração de geração eólica e solar conectados ao Sistema Interligado Nacional.

(4) ALEXANDRE DE MELO SILVA
 Engenheiro Eletricista com 15 anos de experiência nas áreas de planejamento da área de proteção, planejamento da expansão de transmissão de longo (EPE) e no planejamento da operação de curto prazo e médio (ONS). Foi responsável pela coordenação dos estudos de expansão do sistema de transmissão. No planejamento da operação, participa de estudos para a definição de margem de transmissão, dos limites de intercâmbios de energia, das instruções de operação e das regiões de segurança. Perfil agregador e com convicção em três pilares para o sucesso: resiliência, sustentabilidade e liderança.

(5) NATHALIA DE SOUZA FEITOSA
 Formada em Engenharia Elétrica Eletrotécnica na Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco em 2015, atua desde 2016 no Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, na área de Planejamento Elétrico das regiões Norte e Nordeste.

(6) RAFAEL MAGLIONE AOUN
 Rafael Maglione Aoun possui graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência pela Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI (2018), e atualmente é aluno de Mestrado em Engenharia Elétrica na UNIFEI. Trabalha no Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) desde 2019 na área de planejamento da operação elétrica de curto prazo.