



**XXII SNPTTE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GAT/17  
13 a 16 de Outubro de 2013  
Brasília - DF

**GRUPO – IV**

**GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA - GAT**

**ALTERNATIVAS PROVISÓRIAS PARA A OPERAÇÃO DO SISTEMA ACRE E RONDÔNIA, CONSIDERANDO A  
ESTAÇÃO CONVERSORA BACK-TO-BACK 525/230 KV, 1º BIPOLO  $\pm$  600 KV E TRANSFORMADOR  
PROVISÓRIO 525/230 KV EM PARALELO CA/CC**

**Raphael Gárdos (\*) - Leandro Dehon Penna - Sergio Luiz de Azevedo Sardinha - Rodrigo Villela de Faria  
Adriano de Andrade Barbosa – Paulo Eduardo Martins Quintão – Antonio de Pádua Guarini - Sumara Duarte  
Ticom - Antonio Felipe de Aquino – João Marco Francischetti Ferreira – Márcio Leonardo Roberto Ramos -  
José Augusto Gomes - Paulo Gomes – Mario Daher – Mauro Muniz – Sebastião Tarciso  
ONS**

**RESUMO**

Desde janeiro de 2013 o sistema de suprimento aos estados do Acre e Rondônia conta com dois circuitos 230 kV entre as subestações de Jauru até Rio Branco, com a estação conversora Back-to-Back e o transformador 525/230 kV. A entrada em operação do 1º Bipolo, associada a um número reduzido de unidades geradoras no Complexo do Rio Madeira sem o Master Control, agrega uma complexidade ainda maior para a operação deste sistema. Este informe apresenta as soluções operativas para a maximização da geração hidráulica e exportação para o sistema Sudeste, mantendo a confiabilidade do suprimento aos estados do Acre e Rondônia.

**PALAVRAS-CHAVE**

Back-to-Back, Bipolo CC, Segurança Elétrica, Acre – Rondônia (AC/RO)

**1.0 - INTRODUÇÃO**

O ano de 2012 foi caracterizado pelo início da integração do Complexo de Geração do Rio Madeira ao Sistema Interligado Nacional (SIN) e a conexão do Back-to-Back e do transformador 500/230 kV em paralelo no sistema do Acre e Rondônia.

A entrada em operação do segundo circuito de 230 kV do sistema AC/RO, associados aos empreendimentos anteriormente mencionados, agregou segurança operativa para a área e permitiu em conjunto com as gerações das UHE Samuel, Rondon II, UTE Termonorte II e UHE Santo Antônio exportar energia para o SIN de acordo com a política energética vigente à época. Por questões de licenciamento ambiental, o 3º circuito de 230 kV entre as subestações de Jauru e Porto Velho está previsto para o ano de 2014, quando será possível contar com o sistema de transmissão em 230 kV planejado para essa região.

Nos estudos preliminares a expectativa era de que na configuração de dois circuitos de 230 kV, com a presença da estação conversora Back-to-Back sem o transformador provisório na área AC/RO, o despacho da UTE Termonorte II não fosse necessário, pois, devido ao reforço da rede de 230 kV escoando elevada potência das UHE Santo Antônio, previa-se que o desempenho da região ficasse dentro dos critérios estabelecidos nos Procedimentos de Rede. No entanto, com a evolução dos estudos, verificou-se que a ausência da UTE Termonorte II trazia graves consequências para uma das principais contingências da área, a perda dupla dos circuitos de 230 kV entre as subestações de Jauru e Vilhena. Logo, de forma a compensar em parte a ausência da UTE Termonorte II, optou-se pela permanência do transformador provisório em paralelo com a estação conversora Back-to-Back. Ressalta-se que desde dezembro de 2012 a política energética que vem sendo praticada pelo ONS considera a exportação de energia do sistema AC/RO para o SIN, e assim, mesmo na configuração com o



transformador provisório em paralelo com a estação conversora Back-to-Back a UTE Termonorte II vem sendo necessária.

Para o segundo semestre do ano de 2013 está prevista a entrada em operação do sistema de transmissão CCAT associado ao 1º Bipolo. Em função do número reduzido de unidades geradoras no Complexo de Geração do Rio Madeira, só será possível iniciar a integração deste sistema considerando a operação monopolar com retorno metálico, com apenas um filtro de 263 Mvar na subestação de 500 kV Coletora Porto Velho, sem o Back-to-Back. Nesta fase inicial, visando agregar maior segurança, a configuração preferencial considera o transformador 525/230 kV em operação. Observa-se que o atraso da entrada em operação dos equipamentos que fazem a coordenação do envio de informações de geração das usinas com o elo de corrente contínua (Generation System Coordinator - GSC), traz uma dificuldade operativa ainda maior para o período inicial da integração deste sistema transmissão de Corrente Contínua de Alta Tensão (CCAT).

A configuração final do sistema em CCAT, associado as usinas de Jirau e Santo Antônio, consistirá de 2 bipolos de corrente contínua,  $\pm 600$  KV, (2x3150 MW), entre as subestações de 500 kV Coletora Porto Velho (Rondônia) e Araraquara (São Paulo), com uma extensão aproximada de 2.375 km, e uma estação conversora Back-to-Back CCC com 2 blocos de 400 MW, conectada à SE Porto Velho 230 kV (Rondônia).

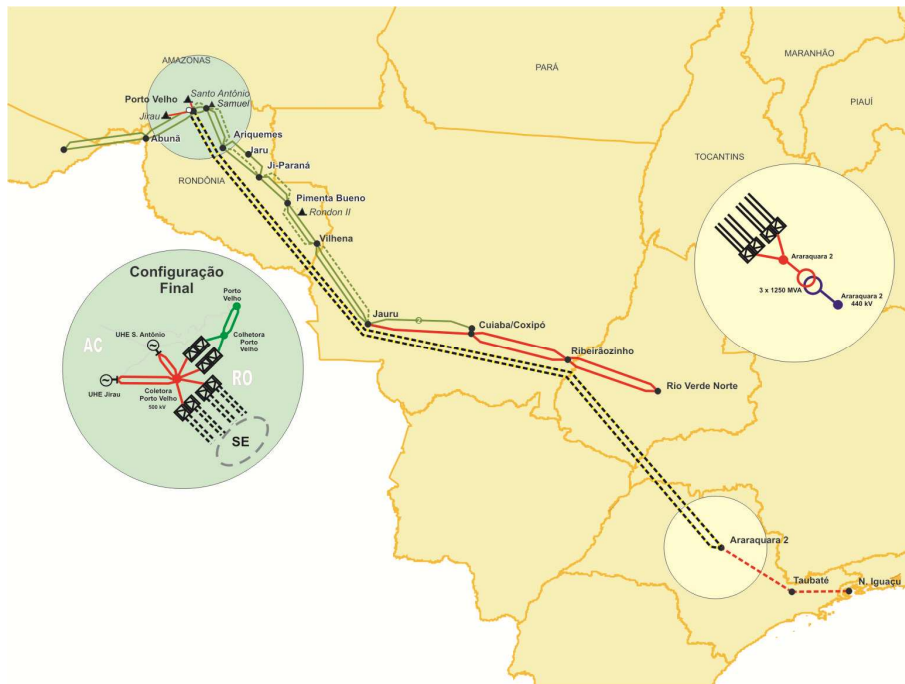


FIGURA 1 – Localização geográfica do sistema de escoamento do Complexo do Madeira

Na FIGURA 1 é apresentada a localização geográfica do sistema de escoamento das Complexo Gerador do Rio Madeira.

Nesse artigo serão apresentadas as alternativas e soluções encontradas para permitir a entrada em operação do Back-to-Back, transformador 500/230 kV e 1º bipolo com dois circuitos entre as subestações de 230 kV Jauru e Porto Velho no sistema AC/RO com um número reduzido de unidades geradoras do Complexo Gerador do Rio Madeira. Serão mostradas também as simulações e análises efetuadas para as contingências mais severas.

## 2.0 - CONEXÃO DO BACK-TO-BACK E TRANSFORMADOR 500/230 KV NO SISTEMA ACRE – RONDÔNIA

A entrada em operação da estação conversora Back-to-Back agregou segurança operativa para o sistema Acre/Rondônia permitindo uma maior exploração de energia disponível na UHE Santo Antônio. Porém, as análises indicaram que o sistema não apresentava desempenho satisfatório para as situações de perda dupla dos circuitos de 230 kV entre Jauru e Vilhena, circuitos esses que compartilham as mesmas estruturas. O principal problema associado era degradação das tensões com um número reduzido de máquinas em função da ocorrência de uma possível falha de comutação na estação conversora Back-to-Back, pois transitoriamente as cargas da área ficariam sendo atendidas somente pelas unidades geradoras de Samuel e Rondon II, que não são suficientes para o suprimento da demanda da área.







consiste em uma solução adequada para a operação segura da área AC/RO, garantindo maior confiabilidade ao atendimento às cargas.

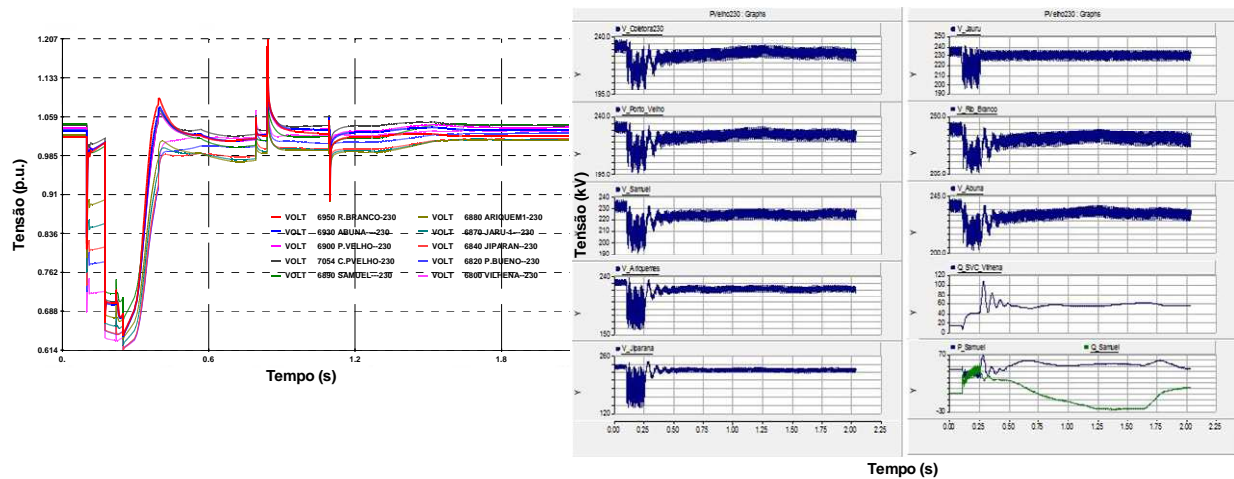


FIGURA 4 – Perda Dupla da LT 230 kV Jauru-Vilhena

### 3.0 - ALTERNATIVAS PARA OPERAÇÃO DO 1º BIPOLO

Para o ano de 2013 está prevista a entrada em operação do sistema de transmissão CCAT associado ao 1º Bipolo em operação monopolar com apenas um filtro de 263 Mvar. Nesta configuração, devido às solicitações harmônicas, a máxima transferência de potência pelo bipolo ficará limitada a 700 MW. O Back-to-Back deverá ser desligado, juntamente com os seus filtros, reduzindo os risco de auto-excitação para as unidade geradoras do Complexo do Rio Madeira. Em relação ao transformador 525/230 kV foram definidas duas estratégias operativas, de forma a garantir a confiabilidade do suprimento aos estados do Acre e Rondônia.

A primeira estratégia considera a operação do sistema AC/RO isolado do Complexo de Geração do Rio Madeira, ou seja, com o transformador 525/230 kV desligado. A segunda estratégia mantém o transformador 525/230 kV – 465 MVA em paralelo com o elo de corrente contínua, permitindo exportar parte do excedente de energia do 1º bipolo, que estará limitado nesta configuração a 700 MW, para o sistema Acre/ Rondônia. Deve-se registrar que a configuração com o transformador provisório em operação será aquela indicada como preferencial nesta fase inicial, pois agrega segurança à operação do sistema. Na FIGURA 6 são apresentados os diagramas unifilares dessas duas configurações.

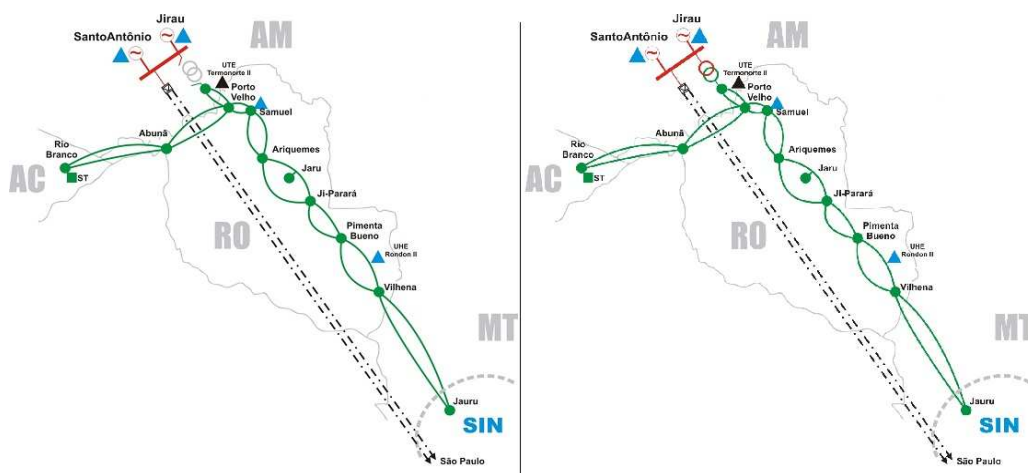


FIGURA 6 – Configurações operativas para a operação do 1º Bipolo

#### 3.1 Operação radializada do sistema AC/RO

Esta seção apresenta o desempenho do sistema considerando a operação radializada do sistema AC/RO. Embora esta não seja a configuração preferencial para a operação, pode ser necessária a sua adoção na hipótese de indisponibilidade do transformador provisório ou quando da necessidade de operar com esse equipamento desligado para atendimento a alguma condição operativa específica.



Na configuração radializada o sistema AC/RO será importador de energia a partir da interligação 230 kV com o Mato Grosso, podendo-se atingir um recebimento (RACRO) de até 200 MW. Nesse cenário, a perda dupla de circuitos de 230 kV entre as subestações de Jauru e Vilhena poderá provocar a atuação de até 5 estágios do ERAC. Ressalta-se que os demais requisitos para garantir a confiabilidade do atendimento aos consumidores dos estados do Acre/Rondônia estarão preservados.

Com relação aos distúrbios no sistema CCAT, em caso de bloqueio do pólo, as usinas de Santo Antônio e Jirau sofrerão uma rejeição total de carga, sendo necessárias ações para evitar as mesmas não fiquem expostas ao filtro do bipolo, evitando os riscos de auto-excitação. No caso de uma possível falha de comutação na estação conversora de 500 kV de Araraquara 2 foi observada uma sobrefrequência elevada, porém inferior a 66 Hz, conforme ilustrado na FIGURA 7.

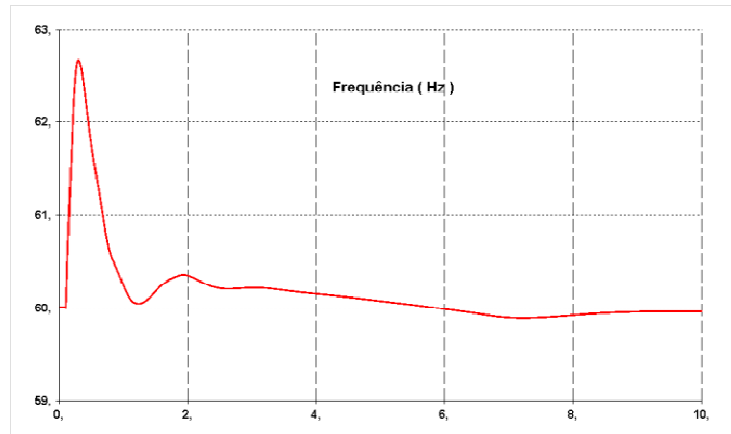


FIGURA 7 – Frequência nas unidades geradoras das UHEs Santo Antônio e Jirau

### 3.2 Operação interligada - Sistema de CCAT em paralelo com Transformador 525/230 kV

Nesta fase inicial de operação do bipolo 1, sem GSC e com número reduzido de unidades geradoras nas UHEs Santo Antônio e Jirau, a operação interligada do sistema AC/RO a essas usinas através do transformador provisório será a configuração preferencial. Em caso de bloqueio do polo, a potência que estava sendo transmitida pelo sistema CCAT será injetada no sistema AC/RO através do transformador 525/230 kV, provocando a perda de sincronismo das unidades geradoras desse sistema com o restante do SIN e, consequentemente, a abertura do tronco de 230 kV por atuação da Proteção de Perda de Sincronismo (PPS) instalada na subestação 230 kV de Ji-Paraná.

Para evitar tais consequências foi necessário implantar um Sistema Especial de Proteção (SEP) que no bloqueio do polo e após a confirmação do sinal de abertura dos filtros, promove o desligamento do transformador 525/230 kV e dos circuitos de conexão das usinas de Santo Antônio e Jirau, impedindo a injeção de potência no sistema de 230 kV do Acre e Rondônia. O resultado desta ação é apresentado na FIGURA 8.

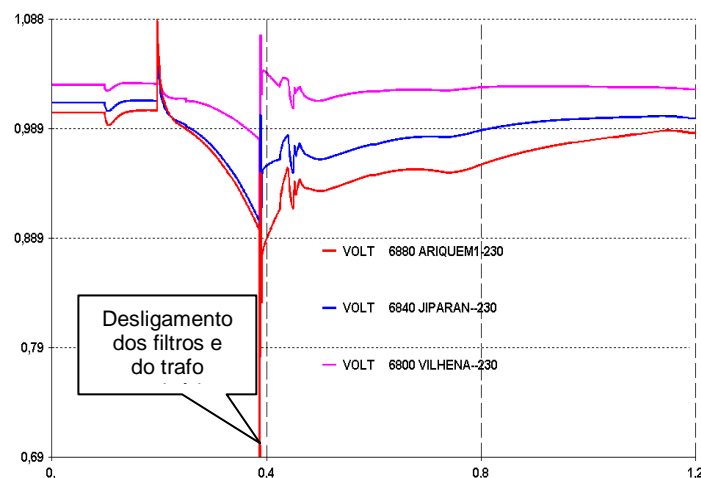


FIGURA 8 – Bloqueio do Pólo com SEP



Este evento de bloqueio do polo seguido da atuação do SEP de abertura do transformador 525/230 kV, provoca um déficit de geração na área AC/RO, que é suprido transitoriamente por meio da interligação com o sistema Mato Grosso. Para que a abertura do transformador provisório não provoque a perda de sincronismo entre as usinas do Acre/Rondônia e o restante do SIN, e consequentemente a atuação da PPS instalada na subestação 230 kV de Ji-Paraná, foi necessário criar uma relação entre fluxo no transformador 525/230 kV e o intercâmbio do sistema Acre/Rondônia (FACRO). Assim foi definida uma região de segurança para suportar o bloqueio do polo, seguido da abertura do transformador provisório, conforme apresentado NA FIGURA 9.

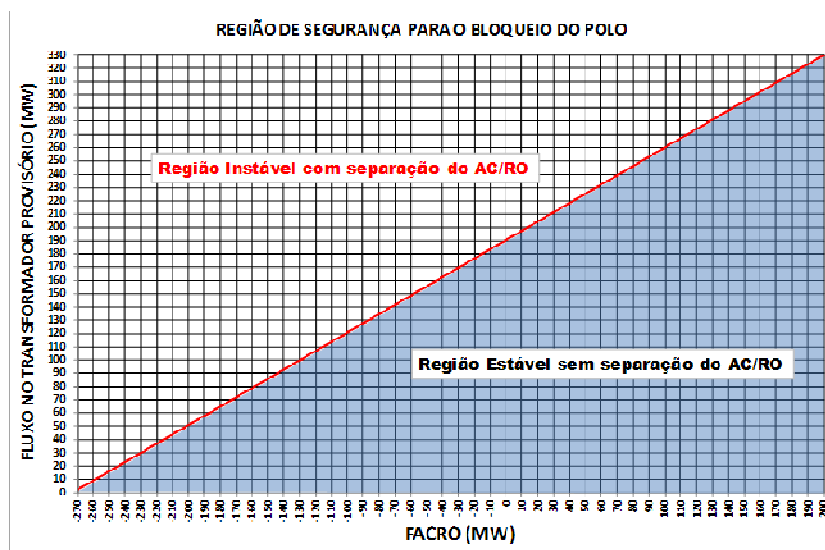


FIGURA 9 – Região de Segurança para o bloqueio do pólo

No distúrbio de falha de comutação na estação inversora de Araraquara 2, a potência transmitida pelo polo será transitoriamente injetada pelas usinas de Santo Antônio/Jirau no sistema AC/RO, podendo levar suas unidades geradoras à perda de sincronismo com o SIN, dependendo da ordem de potência no polo e do fluxo nos circuitos de 230 kV. De modo a evitar a abertura do tronco de 230 kV seria necessário limitar a ordem de potência no 1º bipolo em função do fluxo na LT 230 kV Samuel-Ariquemes, definida por uma região de segurança ilustrada na FIGURA 10.



FIGURA 10 – Região de Segurança para falha de comutação

Observa-se pela figura acima que, para garantir a estabilidade do sistema quando de falha de comutação na estação conversora da subestação 500 kV de Araraquara 2, seria imposta uma severa restrição ao fluxo na LT Samuel-Ariquemes e, consequentemente, ao parque gerador de Santo Antônio e Jirau e das usinas de Samuel e Termonorte. Assim, considerou-se a possibilidade de separação do sistema AC/RO, para este evento, dado que as consequências desse distúrbio serão contornadas pela atuação da PPS que provocará a separação do sistema que se estabilizará em condições aceitáveis de tensão e frequência.

Outro evento com consequências severas para o sistema Acre e Rondônia é a perda de ilha de geração da UHE Santo Antônio ou da UHE Jirau. No evento de perda de ilha de geração em Santo Antônio/Jirau ou abertura do circuito simples de conexão da Casa de Força da Margem Esquerda de Santo Antônio, a potência perdida é transitoriamente injetada por meio da interligação com o sistema Mato Grosso no sistema AC/RO, podendo levar as unidades geradoras da área à perda de sincronismo, dependendo do nível praticado de intercâmbio. Assim, foi



definida outra região de segurança, que parametriza a geração da ilha de Santo Antônio/Jirau com o fluxo na interligação (FACRO) conforme mostrada na FIGURA 11.

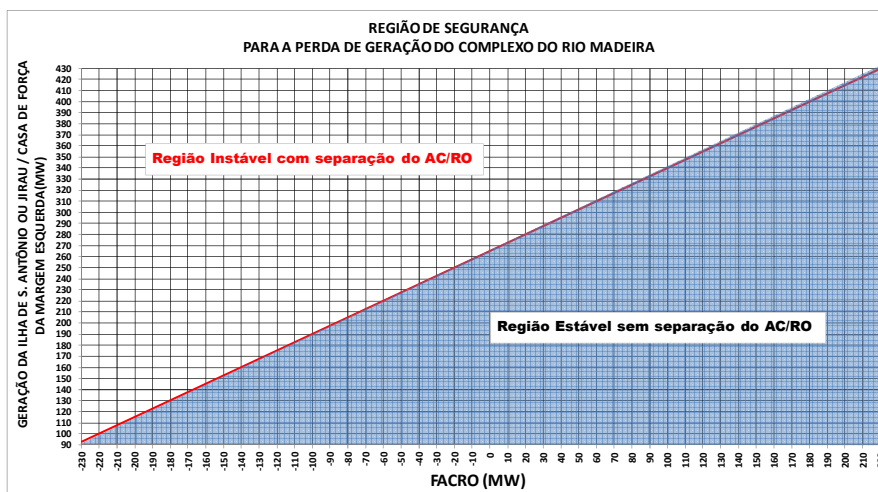


FIGURA 11 – Região de Segurança para o bloqueio do pólo

Tendo em vista o exposto, a operação do bipolo na configuração interligada requer a operação respeitando-se as duas regiões de segurança definidas nas FIGURAS 9 e 11, bem como a implantação do SEP de abertura do transformador provisório que no bloqueio do polo promove a abertura do transformador provisório e das linhas de conexão das usinas de Santo Antônio e Jirau.

#### 4.0 - CONCLUSÃO

A partir da entrada em operação do 2º circuito em 230 kV entre as subestações de Jauru e Porto Velho, e na ausência da UTE Termonorte II, o transformador provisório em operação paralela à Estação Conversora Back-to-Back consiste em uma solução adequada para a operação segura da área ACRO, garantindo maior confiabilidade ao atendimento às cargas e melhor desempenho do sistema em regime normal e em situações de contingências, especialmente nos períodos onde não se pode contar com um grande número de máquinas nas usinas hidráulicas da área. Essa alternativa, após a entrada em operação do 1º bipolo continua sendo recomendável, em face da operação com número reduzido de unidades geradoras no Complexo Gerador do Rio Madeira e sem a presença do Master Control e GSCs associados.

Tendo em vista, as restrições do tronco de 230 kV do sistema Acre/Rondônia e a necessidade de disponibilizar o quanto antes a geração das UHE Santo Antônio e Jirau para o SIN, o 1º bipolo do sistema de transmissão em correte contínua deverá operar inicialmente em configuração monopolar com retorno metálico (utilizando o circuito do outro polo como retorno) com ordens de potência de até 700 MW, desligando-se a estação conversora Back-to-Back e utilizando-se apenas um filtro de 263 Mvar. Face à necessidade de compatibilizar a geração de potência reativa do filtro do bipolo (263 Mvar) com a capacidade de absorção de potência reativa das unidades geradoras, deverão ser considerados um número mínimo de 12 unidades geradoras no complexo gerador do Madeira.

Nesta fase inicial de operação do 1º bipolo, sem GSC e com número reduzido de unidades geradoras nas UHE Santo Antônio e Jirau, a operação interligada do sistema Acre/Rondônia a essas usinas através do transformador provisório será a configuração preferencial. Na hipótese de indisponibilidade do transformador provisório, ou havendo necessidade de operar com esse equipamento desligado para atendimento a alguma condição específica, deverá ser sincronizado um número maior de máquinas nas usinas, especialmente na margem direita da UHE Santo Antônio.

#### 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Estudos Pré-Operacionais para Integração do Complexo Gerador do Rio Madeira considerando a Entrada em Operação do 1º Bipolo, Vol 1 - Operação Inicial do Bipolo em configuração monopolar com retorno metálico com ordens de potência até 700 MW.

#### 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Raphael Gárdos graduou-se em engenharia elétrica em 2001 na UERJ e obteve o grau de mestre em sistemas de energia na COPPE - UFRJ em 2008. Ingressou no ONS em 2002 onde atua na área de Planejamento da Operação Elétrica.



Leandro Dehon Penna graduou-se em engenharia elétrica em 1997 na UFJF e obteve o grau de mestre em Engenharia Elétrica em 2005 pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Desde 2001 está no ONS na área de Planejamento da Operação Elétrica.

Sergio Luiz de Azevedo Sardinha graduou-se em engenharia elétrica em 1974 na Universidade Federal do Rio de Janeiro e pós-graduou-se na Universidade Federal de Santa Catarina em 1981. Desde 2006 atua no ONS na Gerência de Estudos Especiais.

Rodrigo Villela de Faria graduou-se em engenharia elétrica em 2007 na UERJ. Desde 2008 está no ONS na área de planejamento da operação elétrica.

Adriano de Andrade Barbosa graduou-se em engenharia elétrica pela UFJF em 1995, com mestrado em engenharia elétrica pela COPPE/UFRJ em 1999. Em 2004, concluiu o curso de pós-graduação *latu sensu* em Proteção de Sistemas Elétricos pela UFRJ e, em 2010, o Curso de Capacitação Institucional do Setor Elétrico – CAISE pela PUC-RJ. Desde 2001 trabalha no ONS na Gerência de Estudos Especiais.

Paulo Eduardo Martins Quintão graduou-se em engenharia elétrica na UFRJ em 1993, com mestrado em engenharia elétrica pela COPPE/UFRJ em 1999. Desde 2008 trabalha no ONS na Gerência de Estudos Especiais.

Antonio de Pádua Guarini graduou-se na EFEI-Itajubá em 1974, com mestrado em engenharia elétrica pela COPPE/UFRJ em 1981. Desde 2000 trabalha no ONS na Gerência de Estudos Especiais.

Sumara Duarte Ticom graduou-se em engenharia elétrica em 1994 na UERJ. Especializou-se em engenharia econômica e desenvolvimento industrial na UFRJ em 1998, bem como em Sistemas Elétricos de Potência na EFEI-MG em 2002. Em 2007 participou do MBA na escola de Negócios da PUC-Rio - IAG Master em Desenvolvimento Gerencial - ONS. Ingressou no ONS em 1999, na área de Planejamento da Operação Elétrica. Desde 2011 ocupa o cargo de gerente da Gerência de Planejamento da Operação Elétrica.

Antonio Felipe da Cunha de Aquino graduou-se em engenharia elétrica na UFRJ em 1999, com mestrado e doutorado em engenharia elétrica pela COPPE/UFRJ em 2000 e 2012, respectivamente. Em 2003, concluiu o curso de pós-graduação *latu sensu* em Proteção de Sistemas Elétricos pela UFRJ e, em 2009, o Curso de Capacitação Institucional do Setor Elétrico – CAISE pela PUC-RJ. Ingressou no ONS em 2000, na área de Estudos Especiais. Desde 2011 ocupa o cargo de gerente na Gerência de Estudos Especiais.

João M. F. Ferreira graduou-se em engenharia elétrica em 1997 na UFJF e concluiu o curso de mestrado em Engenharia Elétrica em 2000 pela UFSC. Em 2004 ingressou no ONS onde atua na área de Planejamento e Programação da Operação Elétrica.

Marcio Leonardo Ramos Roberto graduou-se em engenharia elétrica em 1999 na UERJ e obteve o grau de mestre em Engenharia de Computação Aplicada a Sistemas de Potência Elétrica em 2004 pela UFF. Desde 2001 está no ONS na área de Planejamento e Programação da Operação Elétrica.

José Augusto Gomes graduou-se em engenharia elétrica em 1985 na UFRJ e especializou-se em engenharia elétrica na COPPE/UFRJ em 1991. Desde 2000 está no ONS na área de Planejamento e Programação da Operação Elétrica. Atualmente exerce o cargo de gerente da Gerência de Programação Elétrica.

Paulo Gomes graduou-se em engenharia elétrica em 1973 pela UERJ, obteve o grau de Mestre em Engenharia Elétrica em 1976 e o grau de Doutor em Engenharia Elétrica em 2001, ambos pela EFEI-Itajubá. Concluiu o MBA pela FGV em 1995 e o MBA/CAISE pela PUC-RJ em 2007. Desde 1999 está no ONS trabalhando na área de Planejamento da Operação Elétrica. É professor Adjunto da UERJ e coordenador do Comitê de Estudos C2 - Operação e Controle do CIGRÉ-Brasil. É um dos quatro Coordenadores do Projeto Madeira pela Diretoria de Planejamento e Programação

Mario Daher é engenheiro eletricitista pela PUC-Rio, com Mestrado em Pesquisa Operacional pela UNICAMP-SP. Gerente Executivo de Planejamento da Operação do ONS é um dos quatro Coordenadores do Projeto Madeira pela Diretoria de Planejamento e Programação.

Mauro Pereira Muniz graduou-se em engenharia elétrica pela UFF em 1985, com mestrado em engenharia elétrica pela COPPE/UFRJ em 1991. Em 1999, concluiu o curso de Master's Certificate in Project Management pela The George Washington University e, em 2008, o Curso de Capacitação Institucional do Setor Elétrico – CAISE pela PUC-RJ. Desde 2000 trabalha no ONS, ocupando atualmente o cargo de gerente executivo da Gerência Executiva de Estudos Especiais, Proteção e Controle. É um dos quatro Coordenadores do Projeto Madeira pela Diretoria de Planejamento e Programação

Sebastião Tarciso Ferreira graduou-se em engenharia elétrica em 1973, na UFRJ. Desde 1999 trabalha no ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico, onde exerce a Gerência Executiva de Programação da Operação. É um dos quatro Coordenadores do Projeto Madeira pela Diretoria de Planejamento e Programação