



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

FI/GOP/15
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO - IX

GRUPO DE ESTUDO DE OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS- GOP

IMPLANTAÇÃO E IMPACTO DO SECCIONAMENTO DA LINHA GARABI 2 – ITÁ À OPERAÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO NA REGIÃO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

**Diego Roberto Morais(*)
ENDESA CIEN**

**Alison Marchioro
ENDESA CIEN**

**William Brum Batista
ENDESA CIEN**

RESUMO

Este artigo visa apresentar algumas melhorias técnicas obtidas com a interligação dos barramentos em Garabi e posteriormente com a entrada em operação do seccionamento da Linha Garabi 2 - Itá. É dado enfoque principalmente a um resumo dos estudos pré-operacionais realizados pelo Operador Nacional do Sistema (ONS) [1], para a entrada do empreendimento em operação, contemplando com as configurações possíveis de operação do sistema, importação e exportação de energia, além de reforço de tensão e transmissão de potência em regime permanente.

PALAVRAS-CHAVE

Interligação de Barramentos, Seccionamento de Linha, Impactos Operacionais.

1.0 - INTRODUÇÃO

As Conversoras de frequência de Garabi 1 e Garabi 2 foram projetadas para atender as demandas de energia do sistema elétrico brasileiro, através da importação de energia do sistema argentino, e entraram em operação em meados de 2000 e 2002, respectivamente. Possuem capacidade de transmissão de 2200 MW, suprimindo quase que 20% da demanda da Região Sul. Nos últimos anos, com a escassez de fontes de energia na sistema argentino, o Complexo Garabi tem sido utilizado como suporte energético para o país vizinho e também para o Uruguai, alavancando a sua importância não somente do ponto de vista elétrico mas também do ponto de vista de estratégias de integração e cooperação internacional no Mercosul.

A partir do ano de 2011 as Conversoras sofreram uma alteração no seu modelo de negócio e passaram a atuar no Sistema Interligado Nacional - SIN, não somente com o intercâmbio de energia mas também para estabelecer uma nova forma de evitar sub ou sobretensão na região oeste do Rio Grande do Sul frente a contingências da Linha de Transmissão de 525 kV entre Itá e Santo Ângelo. No mesmo ano em que alterou seu modelo de negócio, foi solicitado pelo ONS a interligação de barramentos em Garabi permitindo a energização da subestação de Santo Ângelo por um circuito alternativo e o atendimento desta condição [1].

A partir do ano de 2013 o ONS também solicitou que a linha GB2-YTA que conectava diretamente a Conversora Garabi à SE YTA fosse também seccionada na subestação de Santo Ângelo, aumentando a confiabilidade, redundância e flexibilizando ainda mais o suprimento da região noroeste do estado do Rio Grande do Sul [2].

(*) Avenida Rincão do Pedregulho, s/n° – CEP 97.690-000 Garruchos, RS – Brasil
Tel: (+55 55) 3313-0300 – Fax: (+55 55) 3313-0321 – Email: dmorais@endesabr.com.br

FIGURA 1 – Detalhe do sistema elétrico da região de integração do empreendimento (1)

As Conversoras de Frequência de Garabi I e II foram consideradas nas análises, conforme modelagem existente nos programas Anarede e Anatem, as quais foram elaboradas pelo CEPEL. Na figura 2 a seguir está incluído o diagrama unifilar simplificado das C. F. Garabi I e II.

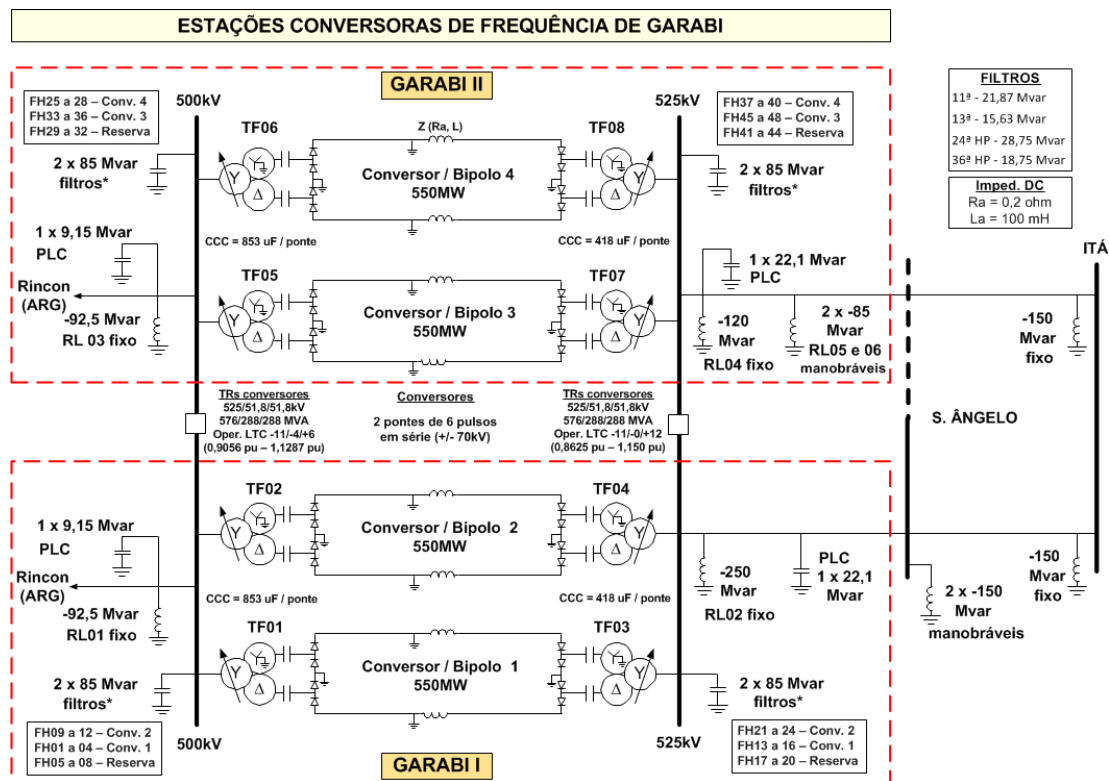


FIGURA 2 – Diagrama Unifilar Simplificado das Conversoras de Frequência Garabi 1 e 2 [1]

4.0 - IMPACTO SISTÊMICO DO EMPREENDIMENTO

4.1 Regime Normal

4.1.1 – Efeitos nos Níveis de Carregamento

a) Sem transferência entre Brasil e Argentina via C. F. Garabi I e II

Observa-se uma distribuição equilibrada do fluxo de atendimento à região norte do Rio Grande do Sul em 525 kV, dado pelo fluxo na transformação 525/230 kV de Santo Ângelo, através das duas linhas entre Itá e Santo Ângelo (circuito 1 existente 50% e novo circuito 2 50%), reduzindo o fluxo na Itá – Santo Ângelo C1, que atendia cerca de 70% deste requisito, fluindo os outros 30% através do trecho de 525 kV Itá – Garabi II/Garabi I – Santo Ângelo. Este comportamento não se altera em caso de operação dos barramentos das C. F. Garabi I e II interligados, uma vez que se mantém praticamente nulo o fluxo de MW na conexão entre os barramentos. O fluxo entre Garabi I e II e Santo Ângelo é anulado em caso de abertura dos barramentos das SE Garabi I e II, uma vez que a operação interligada não é mais necessária/imprescindível na nova configuração para fazer frente à perda da única linha entre Itá e Santo Ângelo existente na configuração anterior. Nos demais equipamentos do sistema não são observadas variações de fluxo significativas.

b) Transferência de 2000 MW do Brasil para a Argentina via C. F. Garabi I e II

Nessa condição, na qual ocorre uma inversão no sentido do fluxo via transformação 525/230 kV de Santo Ângelo, passando a fluir do 230 kV para o 525 kV em relação ao caso sem transferência, observa-se, da mesma forma, uma distribuição equilibrada do fluxo através das duas linhas entre Itá e Santo Ângelo (circuito 1 existente e novo circuito 2), mas agora com um aumento na LT 525 kV Itá – Santo Ângelo C1 em relação à configuração anterior. No total, as LT 525 kV Itá – S. Ângelo C1 e C2 fornecem cerca de 92,5% do fluxo de transferência para a Argentina, contra 94% na configuração anterior.

c) Transferência de 2000 MW da Argentina para o Brasil via C. F. Garabi I e II

Nessa condição, observa-se, da mesma forma, uma distribuição equilibrada do fluxo através das duas linhas entre Itá e Santo Ângelo (circuito 1 existente e novo circuito 2), mas agora com um aumento no fluxo na LT 525 kV Itá – Santo Ângelo C1, de S. Ângelo para Itá, em relação à configuração anterior. No total, as LT 525 kV Itá – S. Ângelo C1 e C2 carregam para Itá cerca de 76% do fluxo proveniente da Argentina, contra 78% na configuração anterior.

4.1.2 – Efeitos nos níveis de tensão

Dadas às características do sistema de 525 kV na região da integração, cujo controle de tensão é realizado, principalmente, pela usina de Itá / Machadinho, e, adicionalmente, pelas C. F. Garabi I e II nas situações de operação com transferências entre Brasil e Argentina (sendo contudo, o controle exercido pelos HVDC mais limitado, devido suas características), foi observado em geral, a partir da integração do seccionamento em análise, um aumento no perfil de tensão no setor de 525 kV das SE S. Ângelo, Garabi I e II, como consequência da aproximação elétrica entre S. Ângelo e as usinas do rio Uruguai. As maiores variações observadas, da ordem de 3%, ocorrem nos períodos de carga pesada e média, com ou sem transferência entre Brasil e Argentina via Garabi. Em carga baixa, não se observa o aparecimento de restrições para o controle de tensão advindos dessa integração.

4.1.3 – Efeito na potência reativa em usinas da região

Em todos os cenários se observa uma redução no requisito de geração de Mvar nas usinas conectadas ao sistema de 525 kV do rio Uruguai, com destaque para a UHE Itá. Em menor amplitude, e principalmente nas cargas pesada e média, observa-se efeito similar para o Complexo de usinas conectadas ao 525 kV do rio Iguaçu. Dependendo do ponto de operação essa “redução” se traduz em efetiva redução na geração de Mvar, gerando folgas, como nos períodos de carga mais elevada, ou, de outra forma, em aumento na absorção de potência reativa, o que remeterá a uma pequena redução da reserva de Mvar para o controle de tensão do sistema.

Conforme apresentado nos itens acima, a entrada em operação do seccionamento da LT 525 kV Itá – C. F. Garabi II na SE Santo Ângelo promove uma pequena redistribuição dos fluxos no sistema de 525 kV entre as SE Itá, Santo Ângelo e Garabi I e II, sem efeitos significativos para o sistema, no que tange à operação em regime normal. Por outro lado, remete a um aumento no perfil de tensão na região de Santo Ângelo, gerando folgas para regulação nos períodos de carga mais elevada. Essa elevação no perfil de tensão do sistema traz benefícios ao atendimento à região noroeste e oeste do RS e ainda, à operação das Conversoras de Frequência de Garabi em situações de transferência entre Brasil e Argentina.

No que tange à operação dos barramentos das C. F. Garabi I e II a partir deste seccionamento, não são observadas, em regime normal, diferenças significativas em caso de operação interligada ou não. Por fim, cumpre destacar que apesar das melhorias obtidas, se mantém as dificuldades operativas para o controle de tensão e carregamento, em caso de realização de elevados níveis de transferência do Brasil para a Argentina (maiores que 1500 MW) no período do verão, associados a elevados níveis de FRS ou baixa geração nas usinas do rio Uruguai conectadas ao sistema de 525 kV, devendo ser limitada a transferência via Garabi já em regime normal, também para fazer frente à perda simples de linhas 525 kV na região Sul, com ênfase para as linhas de 525 kV da interligação com o RS.

4.2 Desempenho Dinâmico

As Conversoras de Frequência de Garabi I e Garabi II, compostas por HVDC back-to-back convencional com tecnologia CCC (Capacitor Commutated Converter) com capacidade de transferência de até 1100 MW cada, inicialmente concebidas com vistas à importação de energia pelo Brasil, foram integradas ao SIN em junho de 2000 e agosto de 2002, respectivamente. Devido às características de suas conexões ao sistema brasileiro e ao ponto onde se realiza (ver figura 3 a seguir), houve a necessidade do estabelecimento, para a C. F. Garabi I, de Sistemas Especiais de Proteção (run-back) que evitassem a ocorrência de violações dos critérios de desempenho elétrico do SIN (subtensão e sobrecarga) e do HVDC (baixa razão de curto circuito - SCR), em caso de perda simples da LT 525 kV Itá – Santo Ângelo, que mantinha a C. F. Garabi I fisicamente conectada ao sistema brasileiro, através, apenas, da rede de 230 kV de atendimento à região NO/O do RS.

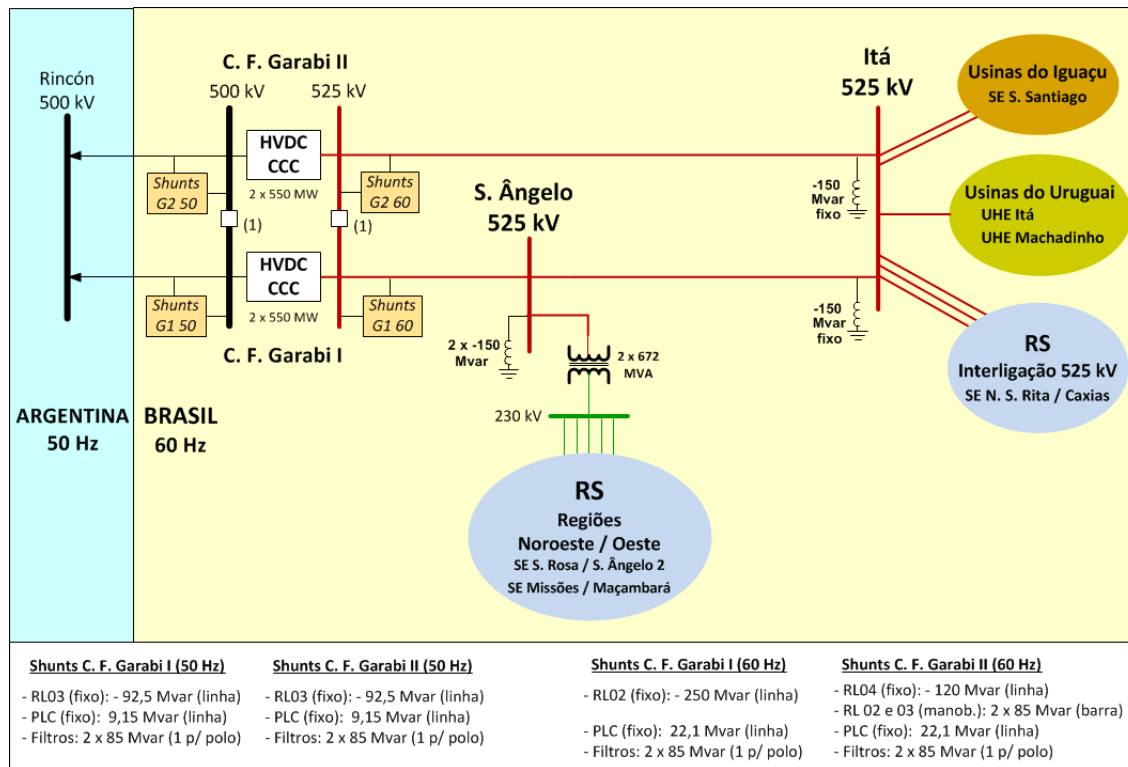


FIGURA 3 – Diagrama Unifilar Simplificado da Conexão das Conversoras de Frequência Garabi 1 e 2 ao SIN [1]

De fato, essa rede não se mostra eletricamente robusta para suportar a transferência de elevados montantes de potência (de até 1100 MW em ambos os sentidos), com ênfase para a condição N-1, considerando ainda, o fato de que a principal fonte se trata de um equipamento HVDC convencional, que apesar das vantagens da tecnologia CCC, ainda depende da robustez do sistema ao qual se encontra conectado para a obtenção de um desempenho adequado.

Adicionalmente, cabe destacar que ao longo dos anos seguintes à implantação das C. F. Garabi I e II, ocorreram os seguintes fatos que contribuíram para o agravamento dessa situação:

- impossibilidade de importação de energia pelo Brasil via Garabi, devido a carência de excedentes energéticos na Argentina, e posteriormente, a necessidade de importação por aquele país;
- aumento do consumo de energia no Brasil e no estado do RS em consequência do crescimento econômico observado, com ênfase para a carga do verão na região NO e oeste desse estado, advindo do consumo sazonal associado à irrigação da safra agrícola, aliado às elevadas temperaturas.
- perda da maior fonte existente na região oeste do Rio Grande do Sul, a UTE Uruguiana (639 MW), devido à falta de combustível (gás argentino).
- insuficiente/não tempestiva expansão do sistema de atendimento às regiões NO e oeste do RS.

Disso, advieram duas consequências principais: aumento da dependência do atendimento às regiões NO e oeste do RS da SE 525/230 kV Santo Ângelo e agravamento das dificuldades operacionais associadas à realização de transferências via C. F. Garabi I.

Nesse cenário foi estabelecida, em 2012, a autorização para a construção da obra de expansão ora analisada. Contudo, até que sua integração fosse concretizada, dada a necessidade urgente da adoção de um paliativo para minimizar as dificuldades existentes, principalmente aquelas relacionadas às consequências para o atendimento ao estado do RS da perda simples da LT 525 kV Itá – Santo Ângelo, foi adotada uma alternativa operacional que consistiu na operação interligada dos barramentos das C. F. Garabi I e II, a qual foi efetivada em dezembro de 2012, após a realização de testes pela CIEN, mas somente em caso de operação sem transferências via Garabi I e/ou II.

A obra de seccionamento da LT 525 kV C. F. Garabi II – Itá na SE Santo Ângelo afasta a possibilidade da desconexão do SIN da principal fonte de atendimento à região NO e oeste do estado do RS, a SE Santo Ângelo, em caso de perda simples da LT 525 kV Itá – S. Ângelo, com ou sem transferências via C. F. Garabi, com vantagens sobre a solução paliativa anteriormente adotada, de interligação dos barramentos das C. F. Garabi I e II, que atendia apenas a condição operativa sem transferências de energia entre Brasil e Argentina. Ou seja, o seccionamento da LT 525 kV Itá – C. F. Garabi II na SE Santo Ângelo aqui analisado, reforça de forma definitiva a

conexão do sistema de 525 kV com as regiões NO e oeste do RS, eliminando os problemas de desempenho elétrico associados a perda simples da LT 525 kV Itá – Santo Ângelo (subtensão e sobrecarga). Adicionalmente, permite evitar a rejeição total da C. F. Garabi I ou II na perda das linhas de 525 kV que as conectam ao SIN, caso seja viável a operação com os barramentos das C. F. Garabi I e II interligados em situações de transferência.

5.0 - CONCLUSÃO

A entrada em operação do seccionamento da LT 525 kV Itá – C. F. Garabi II na SE Santo Ângelo promove uma pequena redistribuição dos fluxos no sistema de 525 kV entre as SE Itá, Santo Ângelo e Garabi I e II, sem efeitos significativos para o sistema, no que tange à operação em regime normal. Por outro lado, proporciona um aumento no perfil de tensão na região de Santo Ângelo, gerando folgas para regulação nos períodos de carga mais elevada. Essa elevação no perfil de tensão do sistema traz benefícios ao atendimento à região noroeste e oeste do RS e ainda, à operação da Conversora de Garabi em situações de transferência entre Brasil e Argentina.

No que tange à operação dos barramentos das C. F. Garabi I e II a partir deste seccionamento, não são observadas, em regime normal, diferenças significativas entre a operação de forma interligada ou não interligada, considerando ou não transferências entre Brasil e Argentina em ambos os sentidos. Vale salientar que não foi comissionada a operação das Conversoras Interligadas com transmissão de potência em ambos os sentidos. Por fim, cumpre destacar que apesar das melhorias obtidas, se mantém as dificuldades operativas para o controle de tensão e carregamento, em caso de realização de elevados níveis de transferência do Brasil para a Argentina (maiores que 1500 MW) no período do verão, associados a elevados níveis de FRS ou baixa geração nas usinas do rio Uruguai conectadas ao sistema de 525 kV, devendo ser limitada a transferência via Garabi já em regime normal.

A obra de seccionamento da LT 525 kV C. F. Garabi II – Itá na SE Santo Ângelo afasta a possibilidade da desconexão do SIN da principal fonte de atendimento à região NO e oeste do estado do RS, a SE Santo Ângelo, em caso de perda simples da LT 525 kV Itá – Santo Ângelo, com ou sem transferências via C. F. Garabi, com vantagens sobre a solução paliativa anteriormente adotada, de interligação dos barramentos das C. F. Garabi I e II, que atendia apenas a condição operativa sem transferências de energia entre Brasil e Argentina. Ou seja, o seccionamento da LT 525 kV Itá – C. F. Garabi II na SE Santo Ângelo aqui analisado, reforça de forma definitiva a conexão do sistema de 525 kV com as regiões NO e oeste do RS, eliminando os problemas de desempenho elétrico associados a perda simples da LT 525 kV Itá – Santo Ângelo com ocorrência de subtensão e sobrecarga.

Adicionalmente, permite evitar a rejeição total da C. F. Garabi I ou II na perda das linhas de 525 kV que as conectam ao SIN, caso seja viável a operação com os barramentos das C. F. Garabi I e II interligados em situações de transferência. Apesar de se manter a necessidade de atuação de esquemas de redução da transferência via C. F. Garabi I e II (run-back) para evitar a ocorrência de violações de tensão e carregamento em caso de perda simples de linhas de 525 kV entre Itá, S. Ângelo e Garabi, cabe destacar que o aumento da robustez do sistema remanescente, permite manter a conexão da SE Santo Ângelo / Garabi ao SIN, incluindo situações com elevadas transferências entre Brasil e Argentina.

Todavia, a operação com os barramentos interligados traz algumas vantagens na operação global, associada ao efeito nos níveis de tensão da manobra dos reatores de linha manobráveis existentes na LT 525 kV C. F. Garabi II – S. Ângelo, aliado ao fato já mencionado de que, com barras interligadas, não ocorre a rejeição total de uma das Conversoras em caso de perda da linha de 525 kV que as interliga a SE S. Ângelo.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ONS; 2014. *Seccionamento da LT 525 kV Itá - Garabi II na se 525 kV Santo Ângelo - Análise Pré-Operacional*. Estudo elaborado pelo Operador Nacional do Sistema.
- [2] MORAIS, D. R.; MARCHIORO, A.; FEYH, A. R.; OLIVEIRA, C. P.; SILVA, C. R.; *Interligação das Barras de Garabi 1 e Garabi 2 e Comportamento do Sistema Elétrico Brasileiro durante os Testes Reais com Repercussão Sistêmica*. In: xiii Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica, Maio 2014.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Diego Roberto Moraes - possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Regional do Noroeste do Estado do RS (2001), mestrado (2004) e doutorado (2009) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina. O doutorado foi desenvolvido em um programa sanduíche com um ano de pesquisas junto ao Instituto Superior de Engenharia do Porto em Portugal. Atualmente é professor e coordenador do curso de Engenharia Elétrica na URI e atua também como Especialista de Proteção e Controle junto da ENDESA - CIEN - Companhia de Interconexão Energética que realiza a conversão de frequência entre Brasil e Argentina. Tem experiência na área de monitoramento e diagnóstico de equipamentos de subestação, em especial transformadores de potência, atuando com técnicas de inteligência artificial e atualmente também com sistemas HVDC.