



**XXIV SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GPL/28

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO -VII**

**GRUPO DE ESTUDO DE PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GPL**

**OS DESAFIOS SUPERADOS NO PLANEJAMENTO DA SOLUÇÃO MTS – MIXED TECHNOLOGY  
SUBSTATIONS NA SUBESTAÇÃO GRAVATAÍ 2**

**Marcos Keizo Morikami(\*)**  
CEEE-GT

**Vagner Rinaldi**  
CEEE-GT

**Rodrigo B. de Oliveira**  
CEEE-GT

**Diogo da S. Costa**  
CEEE-GT

**RESUMO**

O processo de planejamento setorial subestimou o problema de superação de instalações. Somente após o MME assinar o contrato de concessão do Lote A do Leilão de Transmissão 04/2014, que o ONS indicou necessidade de “Pequenos Reforços” na SE Gravataí 2, que são inexecutáveis no prazo pelas técnicas tradicionais. Graças ao esforço conjunto MME/ANEEL/EPE/ONS/CEEE-GT foi possível definir a solução utilizando instalações não convencionais MTS, com investimento de R\$ 157 milhões e que terá Resolução Autorizativa específica da ANEEL. O problema no processo de planejamento setorial foi equacionado, mas persiste o risco da incompatibilidade do MTS com as demais instalações existentes.

**PALAVRAS-CHAVE**

Não-Convencional, MTS, GIS, Uprating, VFTO

**1.0 - INTRODUÇÃO**

O estudo EPE-DEE-DEA-RE-006\_2013 – “ESTUDO PROSPECTIVO PARA AVALIAÇÃO DA INTEGRAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL”, indicou os reforços estruturantes principalmente no Estado do Rio Grande do Sul. Ressalta-se que este estudo indica elevação da corrente de curto circuito, e aponta as subestações com limites superados, mas não quantifica e nem avalia os investimentos associados a esta superação.

Posteriormente, parte destes reforços foram consolidados pelo MME - Ministério de Minas e Energia para o Leilão de Transmissão ANEEL 004/2014, no qual a Eletrobrás-Eletrosul arrematou o Lote A, composto por diversas instalações em 525 kV e 230 kV, que elevarão significativamente o nível de curto circuito na Rede Elétrica no Estado do Rio Grande do Sul.

De acordo com o processo normal da época, o Grupo de Estudos de Análise de Superação (GT-AS) do ONS desenvolveu os estudos de análise de superação, paralelamente ao processo do Leilão de Transmissão ANEEL 004/2014. Quando finalmente detectou superação nos disjuntores 230 kV da SE Gravataí 2, o ONS emitiu carta solicitando à CEEE-GT: a confirmação da superação destes equipamentos; avaliação de superação nos demais equipamentos, e indicação dos reforços necessários com escopo e prazo.

Somente quando em atendimento a referida carta do ONS, a CEEE-GT fez as avaliações de superação dos demais equipamentos, houve a constatação de que não são apenas os disjuntores que serão superados pela elevação da corrente de curto circuito, mas praticamente todos os equipamentos de todos os 27 módulos de manobras do barramento 230 kV. Diante dos fatos ficou evidente a necessidade de desenvolver um estudo de alternativas das

soluções técnicas para promover os reforços necessários. Cabe ressaltar que neste instante, a Eletrosul havia assinado o contrato do Lote A do Leilão de Transmissão ANEEL 004/2014, e a data contratual para energização das instalações é Março de 2018, ou seja, esta seria a data limite para a conclusão dos reforços por superação na SE Gravataí 2.

## 2.0 - ESTUDOS DE ALTERNATIVAS

De acordo com o processo estabelecido para obras de Reforços de Pequeno Porte, após o diagnóstico das instalações apontar que os disjuntores, transformadores de corrente, transformadores de potencial e chaves seccionadoras terão as respectivas capacidades de curto circuito superadas, a área de manutenção da CEEE-GT imediatamente concluiu que não dispõe de recursos para executar as substituições de equipamentos necessários no prazo requerido.

Isto porque os referidos Reforços de Pequeno Porte, na verdade, tratam-se de substituir todos os equipamentos do módulo de manobra, o que requer o desligamento prolongado do módulo e da respectiva função transmissão associada, destacando que muitas das funções conectadas no barramento 230 kV da SE Gravataí 2 não permitem desligamentos prolongados, o que exige adoção de instalações provisórias para manter a função transmissão em operação. Soma-se a isto a quantidade de 27 módulos que requerem este escopo de obra, o que prolongaria demasiadamente a atuação das equipes de manutenção apenas na SE Gravataí, comprometendo o plano de manutenção nas demais subestações da CEEE-GT.

Consequentemente, a engenharia foi acionada para buscar alternativas para viabilizar os reforços, no prazo necessário e sem comprometer as demais atividades de manutenção.

Entretanto, a equipe de engenharia responsável concluiu que a definição de algumas premissas e critérios, indispensáveis para o desenvolvimento do estudo, não era de competência exclusiva da transmissora. E ainda, necessidade de esclarecimento quanto ao tratamento regulatório da obra, para conhecer previamente os trâmites burocráticos para sua execução.

Por isto foi formado um grupo de trabalho MME/ANEEL/EPE/ONS/CEEE-GT sob coordenação do MME para enviar esforços na busca de uma solução, que seja viável no aspecto técnico, da operação do SIN e da regulação vigente.

Em conjunto com a EPE e o ONS, foram definidos os seguintes critérios e premissas:

- a. Data limite para conclusão dos reforços: Março de 2018
- b. Por recomendação da EPE e do ONS, as novas instalações devem ser dimensionadas para 63 kA.
- c. Não será admitida indisponibilidade de função transmissão durante a substituição dos equipamentos, exceto os Bancos de Capacitores e Módulos Interbarras, que precisam da anuência e concordância prévia do ONS quanto ao período e duração.
- d. Todas as alternativas devem ser tecnicamente equivalentes, ou seja, todas as alternativas devem substituir os mesmos equipamentos por superação e por final de vida útil.
- e. Neste estudo será considerado que o padrão mínimo a ser atendido no arranjo do barramento é o padrão Barra Dupla a 4 Chaves Seccionadoras, conforme definido pelo Procedimento de Rede do ONS, Submódulo 2.3.

### 2.1 Alternativa Convencional

A Alternativa Convencional é basicamente o plano de substituições da área de manutenção. O que foi equacionado são as instalações provisórias para permitir a desenergização do módulo de manobra e manter a função transmissão em operação, fundamentada em módulo de manobra móvel 230 kV.

O módulo de manobra móvel, demonstrado na Figura 1, dispõe de disjuntor, transformador de corrente, transformador de potencial, pára-raios, chave seccionadora e painel de proteção e controle próprios.

Em virtude do número elevado de 27 módulos a serem substituídos, para atender o prazo é necessário 3 módulos de manobra móveis e 3 equipes trabalhando simultaneamente na subestações, aas competindo entre si para os desligamentos programados que está restrito a apenas uma função transmissão por evento.

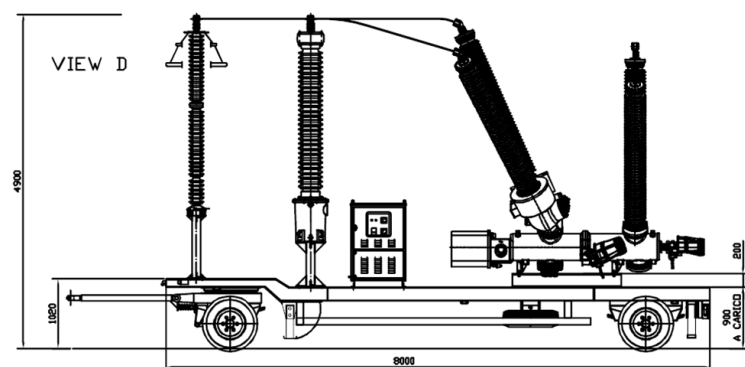


FIGURA 1 – Módulo de Manobra Móvel

Na Figura 2 está representada o croqui dos barramentos provisórios auxiliares, e os módulos de manobra móveis que estacionam no alinhamento do módulo a ser substituído.

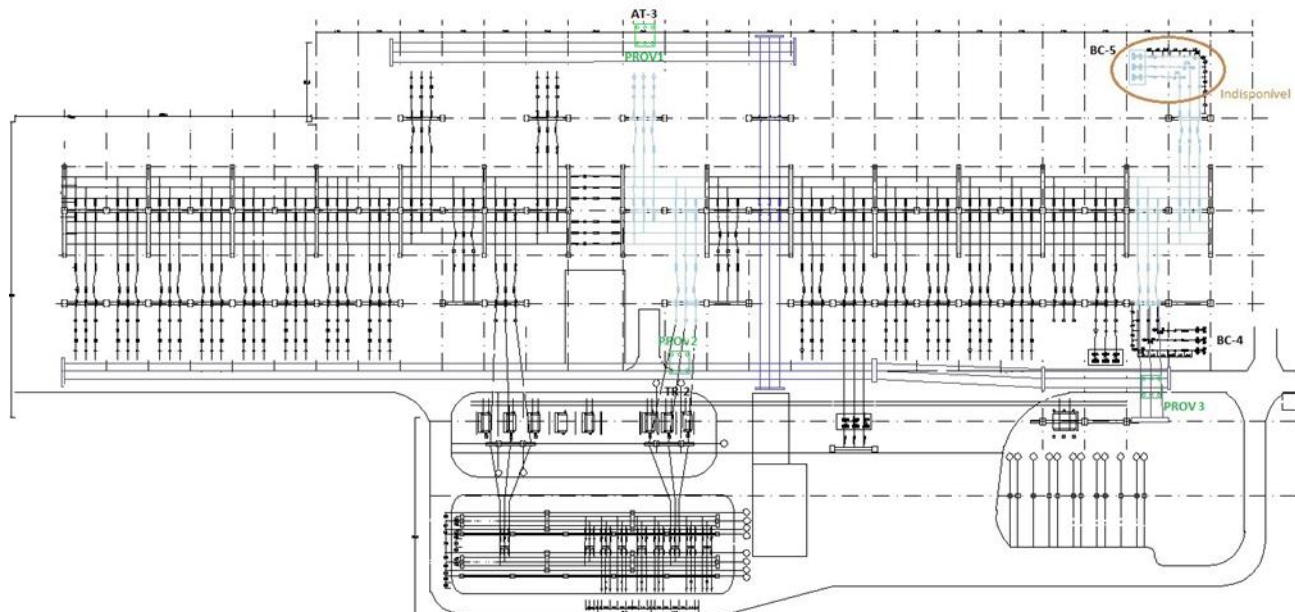


FIGURA 2 – Representação das instalações provisórias

A estimativa para realizar as obras em cada módulo é de 70 dias, a partir da desenergização completa do módulo. Cabe ressaltar a restrição de apenas 1 desligamento por evento, ou seja, jamais duas ou mais equipes podem iniciar os trabalhos ao mesmo tempo.

Outro aspecto técnico importante é a obrigatoriedade de desativação do sistema de proteção diferencial de barras, por que é inviável realizar 27 modificações no sistema de proteção diferencial de barras, que requer trabalhos com alta complexidade e elevado risco associado.

Considerando estas restrições, a Alternativa Convencional tem 2 Fases: A Primeira Fase tem 7 etapas executivas de substituição dos equipamentos de pátio, que quando concluídas tornam a subestação apta a operar com corrente de curto circuito superior a 40 kA. E a estimativa para sua conclusão é 29 meses após o ato autorizativo da ANEEL; A Segunda Fase são as obras para substituição do sistema de proteção diferencial de barras e do sistema de intertravamento do barramento 230 kV. E a estimativa para conclusão desta fase é 36 meses após a conclusão da Primeira Fase.

Com base no Banco de Preços Referência ANEEL – Ref. 06/2014, o investimento parcial estimado desta alternativa é de R\$ 82 milhões.

## 2.2 Alternativa GIS – Gas Insulated Substation

A Alternativa GIS contempla a construção de um novo barramento 230 kV na tecnologia GIS. O futuro barramento GIS 230 kV é construído em área livre disponível no terreno da subestação, conforme Figura 4, portanto, o futuro barramento ficará apto a operar sem qualquer interferência no barramento existente.

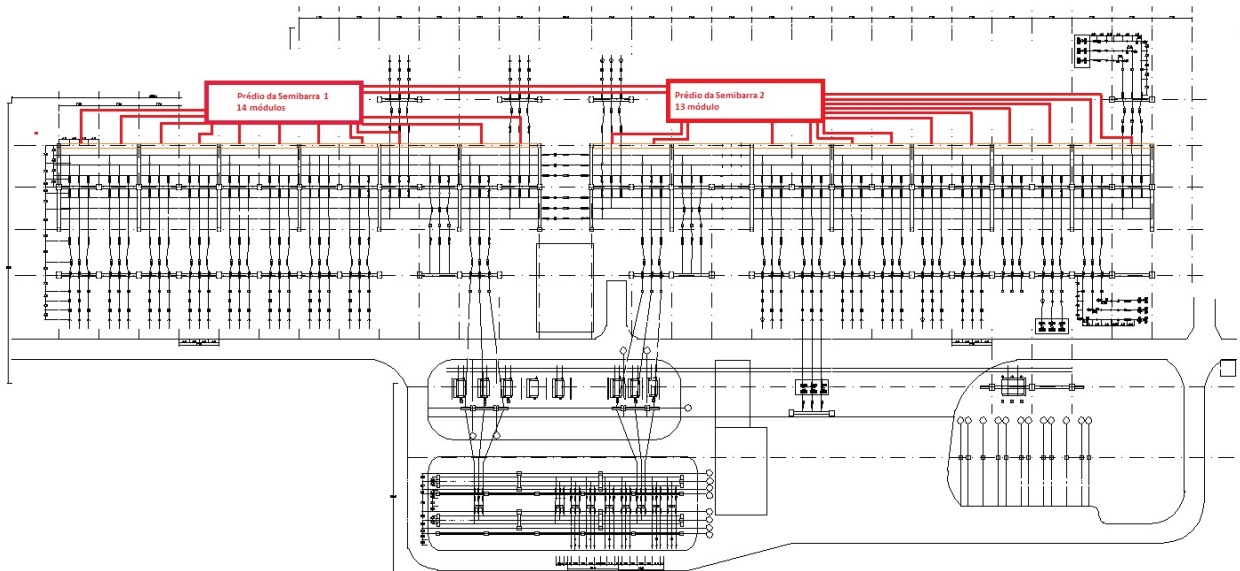


FIGURA 4 – Localização do futuro barramento GIS

Quando o barramento estiver concluído, cada módulo de manobra GIS será conectado à função transmissão através de GIL – Gas Insulated Line, aproveitando-se o barramento transversal superior aéreo existente, conforme Figura 5.

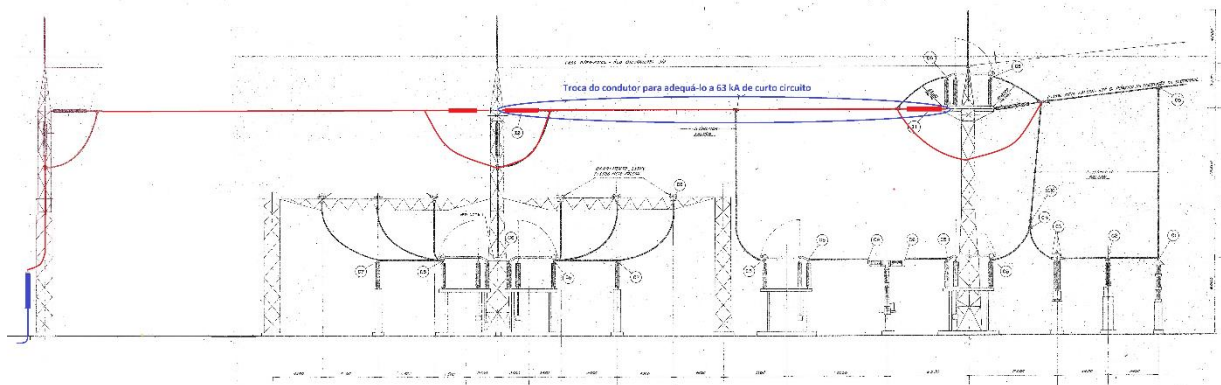


FIGURA 5 – Ponto de interligação do módulo GIS com o sistema existente

A Figura 6 ilustra a subestação Gravataí 2 após a migração em todos os módulos e desmontagem de todos os equipamentos convencionais existentes.

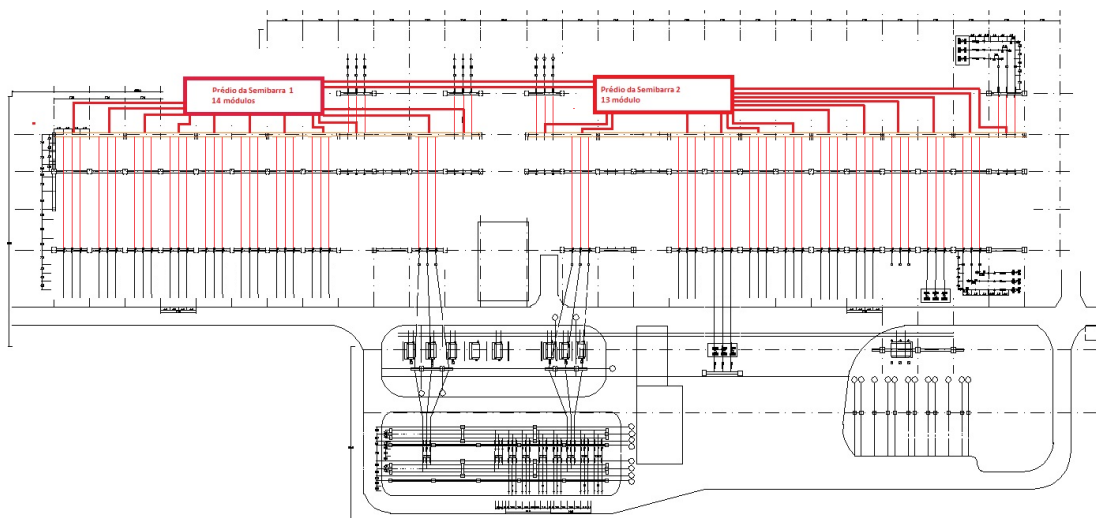


FIGURA 6 – Subestação Gravataí 2 com o barramento GIS 230 kV

A Alternativa GIS tem desligamentos somente na etapa de migração, quando será realizado um desligamento por final de semana. A estimativa para concluir as obras é 26 meses após o ato autorizativo da ANEEL.

A vantagem desta alternativa é a fase de montagem do barramento ser imune às condições climáticas, por ser um barramento abrigado e isto minimiza o risco de atrasos nesta fase do empreendimento.

Já a fase seguinte depende do clima, mas o escopo das obras necessárias é reduzido, basicamente envolvendo apenas lançamento de cabos condutores e conexões e desconexões. Há de se ressaltar que esta alternativa renova apenas as instalações dos barramentos 230 kV, e que requer um novo prédio de comando para acomodar os novos painéis.

O investimento estimado desta alternativa é de R\$ 210 milhões, o que considera as instalações GIS abrigadas e novo prédio de comando, em contrato “turn key”.

### 2.3 Alternativa MTS – Mixed Technology Substation

A Alternativa MTS utiliza módulos de manobra isolados a gás SF6 conectados em barramento aéreo isolado a ar. Isto viabiliza a construção de um barramento 230 kV BD4 – Barra Dupla a 4 Chaves em área relativamente muito menor que o convencional. A largura e altura do barramento é similar ao convencional, porém a sua profundidade é definida pelo barramento duplo aéreo isolado a ar porque todo o conjunto Disjuntor, Transformador de Corrente e Chaves Seccionadores podem ser instalados sob o barramento.

Na Figura 7 está a primeira proposta fornecida pelo fabricante na fase de estudos da solução técnica. Detalhe importante neste desenho é o requisito definido pela CEEE-GT que são os “Buffers” nas duas extremidades do compartimento do disjuntor, o que permitirá a extração do disjuntor para manutenção sem indisponibilizar o módulo de manobra inteiro em razão da despressurização do gás SF6.

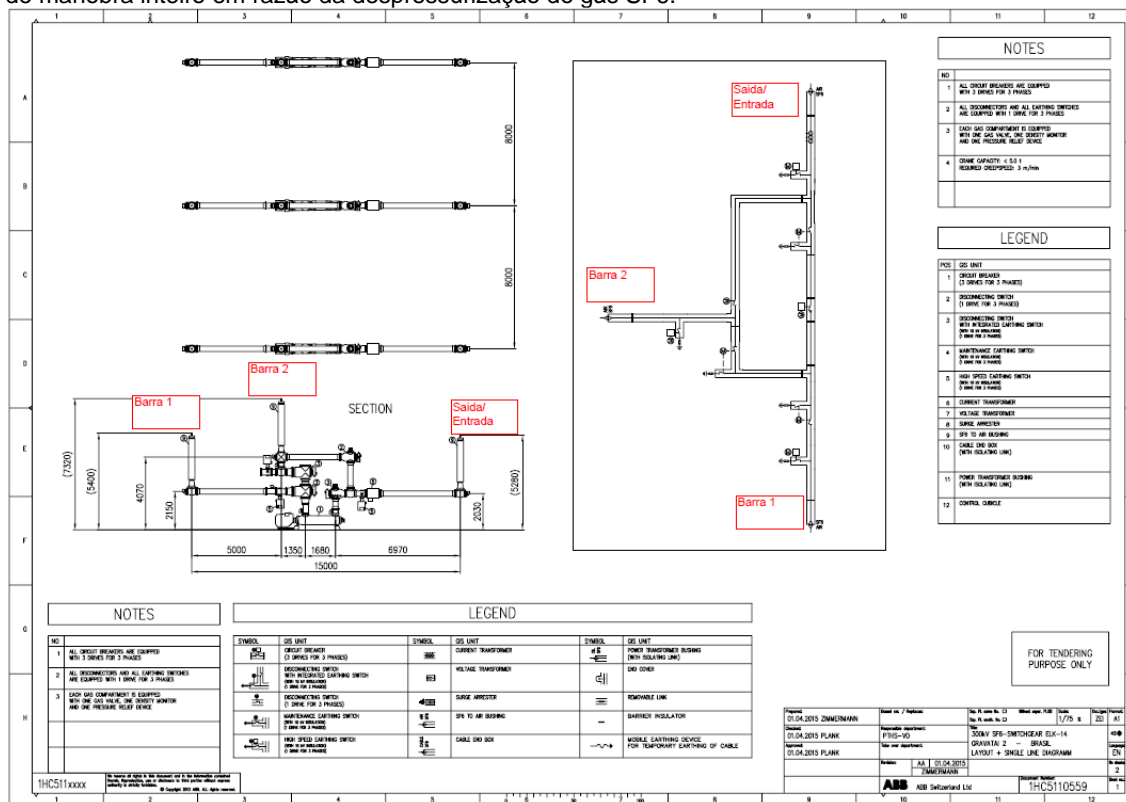


FIGURA 7 – Módulo GIS 230 kV BD4 (cortesia ABB)

Com estas dimensões do módulo de manobra é possível alocar 2 módulos de manobra rebatidos no mesmo alinhamento do vão no barramento, com uma distância de apenas 47 metros entre os pórticos de ancoragem das Funções Transmissão, conforme ilustrado na Figura 8.



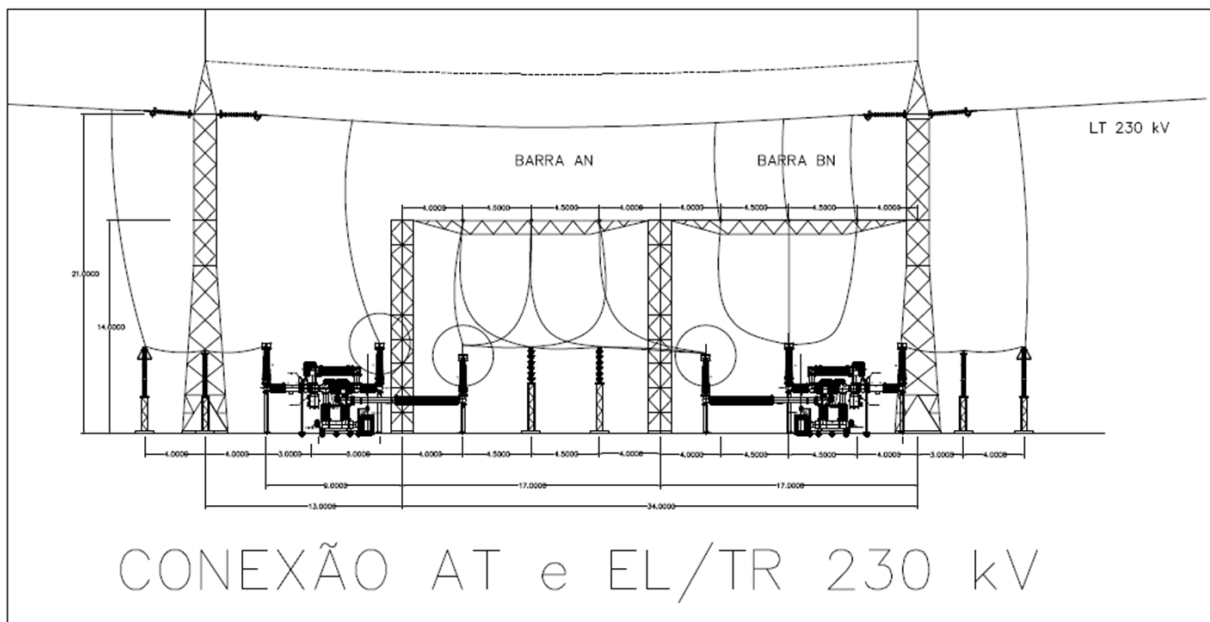


FIGURA 8 – Módulos GIS rebatidos no mesmo alinhamento.

Com esta redução na profundidade do barramento torna-se viável construir o novo barramento BD4 na área livre do polígono indicado em amarelo da Figura 9.



FIGURA 9 – Foto Aérea da Subestação Gravataí 2

Como na área pretendida existem os módulos de conexão de transformador 230 kV dos Autotransformadores 525/230 kV da Eletrosul, a implantação do futuro barramento deve ser em etapas. Portanto, cabe ressaltar que a viabilidade da Alternativa MTS está intimamente ligada a viabilidade executiva das etapas sequenciais.

Durante a implantação da Alternativa MTS, o futuro barramento e o existente estarão ambos operando com apenas uma das barras energizadas e interligadas para atender em conjuntos todas as funções transmissão. Durante este período a proteção diferencial de barras será desabilitada em algumas etapas, e não haverá nenhuma flexibilidade operativa porque são praticamente 2 barras simples atendendo as funções transmissão.

A Alternativa MTS tem 2 fases. A primeira Fase tem 9 etapas e tem o objetivo de energizar todos os módulos de manobra GIS 230 kV no menor prazo possível, e assim, evitar a superação dos equipamentos pela elevação da corrente de curto circuito em Março de 2018. Entretanto, para atingir esta meta diversas funções transmissão serão temporariamente conectadas em outros módulos, devido a sequencia executiva viável das migrações. Por isto, a segunda Fase com 2 etapas é para conectar as funções transmissão nos seus módulos definitivos. A seguir na Figura 10 a Subestação Gravataí 2 com o futuro barramento MTS 230 kV.

Com base no Banco de Preços Referência ANEEL – Ref. 06/2014, e estimativa de preço do módulo de manobra GIS fornecido por fabricantes, o investimento parcial estimado desta alternativa é de R\$ 157 milhões.

Cabe primeiramente salientar que a decisão pela alternativa vencedora ocorreu em reuniões conjuntas MME/ANEEL/EPE/ONS/CEEE-GT/Eletrosul, de consenso de todas as partes envolvidas.

### 3.0 - QUEBRA DE PARADIGMA

Ao analisar este caso da SE Gravataí 2, compreende-se que não se trata de um caso isolado e sim o primeiro da série. Isto porque as instalações construídas até recentemente jamais consideraram plausível a hipótese de corrente de curto circuito superior a 40 kA, por isto os equipamentos foram especificados com esta premissa. Então, quando este patamar for superado, provavelmente será um caso similar ao da SE Gravataí 2.

O segundo paradigma quebrado é que reforços que são classificados no inciso V (“substituição de equipamentos por superação de capacidade operativa”) do Art. 3º da Resolução Normativa Nº 443/2011, quando coincidem numa única subestação e tem grande escala, podem ser objeto de uma Resolução Autorizativa específica com cálculo prévio de RAP. Este tratamento regulatório prévio à execução da obra é fundamental para as transmissoras, no cumprimento das suas responsabilidades do Contrato de Concessão, captar recursos financeiros, executar a obra

no escopo e prazo definido pelo Poder Concedente, prestar o serviço de transmissão à sociedade e gerar resultado para seu acionista.

#### 4.0 - RISCOS ASSOCIADO AO ESTUDO COMPLEMENTAR DE VFTO

O VFTO – Very Fast Transiente Overvoltages é o transitório de tensão gerado na manobra de chave seccionadora em instalações GIS. Este transitório se propaga pelos condutores e atinge os transformadores de força, e o efeito cumulativo pode comprometer a isolamento dos seus enrolamentos. Entretanto, o estudo deste fenômeno somente poderá ser realizado de forma conclusiva com dados de projeto executivo do barramento GIS fornecido pelo fabricante.

No caso da SE Gravataí 2 há dificuldade adicional no estudo que requer modelos dos transformadores de força existentes. Estes equipamentos por serem antigos não dispõem de modelagem para as análises computacionais dos transitórios. O ideal neste caso seria realizar ensaios para levantamento dos dados para a modelagem, mas isto é inviável porque seria necessário retirá-los de operação por um longo período. Resta portanto, apenas adotar modelos simplificados e por aproximação com base em equipamentos similares.

Consequentemente, o estudo de VFTO será realizado após a contratação da obra, e existe o risco deste indicar a substituição do transformador de força, com a ressalva de que esta conclusão tem como base o modelo aproximado do transformador. Obviamente que não será possível substituir o transformador de força antes de energizar as instalações GIS, implicando em conviver com o risco de falha no equipamento provocado pelo VFTO até a substituição. Neste caso seria aplicável como medida mitigadora, estabelecer a limitação no número de manobras nas chaves seccionadoras GIS para minimizar o estresse nos transformadores.

Ainda que o estudo de VFTO não indique a substituição do transformador, devido à incerteza do modelo aproximado representar corretamente o transformador real, ainda persiste o risco de falha do transformador devido a utilização de modelo inadequado.

#### 5.0 - INDICAÇÕES DE APRIMORAMENTOS NECESSÁRIOS

Apesar deste caso da SE Gravataí 2 ter obtido tratamento distinto, entende-se que cabe aprimoramento na REN Nº 443/2011 para segregar devidamente as obras de grande porte que atualmente são classificadas como Pequenos Reforços, para que o próprio processo remeta esta obra para consolidação de obras com autorização específica.

Também se entende necessário dar maior celeridade nos debates técnicos para definir aprimoramento no processo setorial, a fim de detectar em tempo as necessidades de reforços por incompatibilidade das instalações existentes com a tecnologia GIS. Concomitantemente urge a necessidade de incorporar os requisitos mínimos para as instalações não convencionais.

#### 6.0 - CONCLUSÃO

As tecnologias não convencionais proporcionam soluções técnicas capazes de atender as necessidades do sistema elétrico de potência, sejam por restrições físicas das instalações e/ou prazos exíguos. Para isto é indispensável a participação dos fabricantes que ofertam as novas tecnologias nos estudos de planejamento.

O ajuste no planejamento setorial para avaliar necessidades por superação evita adoção de tecnologias não convencionais, que demandam investimentos financeiramente maiores, apenas para atender o prazo de necessidade curtos.

Entretanto, o setor elétrico brasileiro ainda não padronizou este tipo de instalação, determinando requisitos mínimos em instalações de tecnologia não convencional nos Procedimentos de Redes. Isto permite implantação de instalações não convencionais similares no Sistema Interligado Nacional, mas com diferentes níveis de desempenho e flexibilidade operacional.

E os processos setoriais ainda não são capazes de detectar em tempo as incompatibilidades entre instalações de tecnologia não convencional com as existentes.

#### 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) ANEEL, Resolução Normativa Nº 443, de 26 de Julho de 2011;

(2) EPE, Relatório R1 - EPE-DEE-DEA-RE-006\_2013 – “ESTUDO PROSPECTIVO PARA AVALIAÇÃO DA INTEGRAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL”, Maio 2014;



- (3) CIGRÉ, Working Group 23.03, Brochure 214, The Mechanical Effects of Short-circuit currents in open air substations (Part II), October 2002;
- (4) CIGRÉ, Working Group B3.17, Brochure 381, GIS State of the Art 2008, June 2009;
- (5) CIGRÉ, Working Group B3.20, Brochure 390, Evaluation of Different Switchgear Technologies (AIS, MTS, GIS) for Rated Voltages of 52 kV and above, August 2009;
- (6) CIGRÉ, Working Group B3.23, Brochure 532, The Substation Uprating and Upgrading, April 2013;
- (7) ONS, Procedimentos de Rede - Submódulo 2.3 – Requisitos mínimos para transformadores e para subestações e seus equipamentos, Revisão 2016.12, 2016;

## 8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



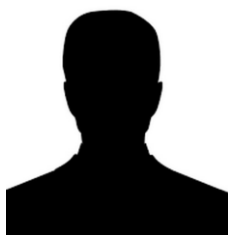
**Marcos Keizo Morikami**, nascido em Maringá/ de 1974. Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) em 1999. Pós Graduado em Planejamento de Sistemas de Distribuição pela Universidade Prebisteriana Mackenzie em 2003. Especializado em MBA Gestão Empresarial pela ESPM em 2010. Trabalha na Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica (CEEE-GT) desde 2011 e atua na Equipe de Planejamento Sistêmico da Assessoria de Planejamento e Gestão, desde 2013.



**Vagner Rinaldi**, nascido em Bento Gonçalves/RS no ano de 1979. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2001), Mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2004) e Mestrado Profissional em Gestão Corporativa do Negócio de Energia pela Escola Superior de Propaganda e Marketing - ESPM (2011). Desde 2005, desenvolve atividades profissionais na Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica (CEEE-GT). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Circuitos Magnéticos, Magnetismos e Eletromagnetismos, Distribuição, Geração e Transmissão de Energia Elétrica. É Especialista em Regulação do Modelo do Setor Elétrico Brasileiro, e membro da Força Tarefa de Regulação da ABRATE.



**Rodrigo Bastos de Oliveira**, nascido em Caxias do Sul/RS no ano de 1980. Graduado em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul em 2008. Desde 2011 desenvolve atividades profissionais na Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica (CEEE-GT), Área de Transmissão. No período compreendido entre maio de 2011 e junho de 2013 atuou no Departamento de Operação do Sistema e desde julho de 2013 atua na Assessoria de Planejamento e Gestão.



**Diogo da Silva Costa**, Nascido em Porto Alegre/RS no ano de 1982. Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em 2005. Especialização em Gerenciamento de Projetos com Ênfase em TI pela PUCRS em 2011. Empresa: Trabalha na Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica (CEEE-GT) desde 2007 e atua na Equipe de Planejamento Sistêmico da Assessoria de Planejamento e Gestão, desde 2013.