



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

BR/GPL/20  
13 a 16 de Outubro de 2013  
Brasília - DF

**GRUPO - VII**

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

**ASPECTOS RELEVANTES À CONCEPÇÃO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO CCAT 800 KV, AMPLIAÇÃO DA INTERLIGAÇÃO NORTE-SUL, PARA INTEGRAÇÃO DA USINA DE BELO MONTE**

**Dourival de Souza Carvalho Jr (\*)**

**Daniela Florêncio de Souza**

**Paulo Cesar Vaz Esmeraldo**

**EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE**

(até jan/2013)

**RESUMO**

O artigo apresenta os principais aspectos considerados pelo planejamento na concepção do primeiro sistema em corrente contínua em 800 kV do Brasil, constituído por dois elos de 4000 MW cada, ampliação do tronco de transmissão de interligação Norte/Nordeste – Sudeste/Centro Oeste (Norte-Sul) do Sistema Interligado Nacional (SIN), necessário à integração da usina de Belo Monte. Esses aspectos incluem características determinantes da usina de Belo Monte e da região Norte, particularidades da inserção desse sistema de CCAT no SIN, ineditismo do novo padrão de transmissão em 800 kV e o dimensionamento básico das instalações.

**PALAVRAS-CHAVE**

Transmissão em 800 kV CCAT, Transmissão em longa distância, Integração de Belo Monte ao SIN.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Os estudos de planejamento para ampliação do tronco de transmissão de energia elétrica de interligação Norte/Nordeste – Sudeste/Centro Oeste (Norte-Sul) do Sistema Interligado Nacional (SIN), necessária à integração da usina de Belo Monte, resultaram na indicação de um sistema em corrente contínua em alta tensão (CCAT), em  $\pm 800$  kV, composto por dois bipolos de 4000 MW de potência nominal cada.

Esse sistema será inserido no SIN, como ilustrado na Figura 1, ao Norte, através de duas conversoras CCAT instaladas na subestação Xingu 500 kV, distante cerca de 17 km da usina de Belo Monte e a Sudeste, em dois pontos distintos. O primeiro, através de uma conversora instalada na futura subestação (SE) Terminal Minas 500 kV (TMinas), próxima a SE Estreito 500 kV, MG, na fronteira com o estado de São Paulo, formando o primeiro bipolo CCAT com linha de transmissão com cerca de 2140 km de extensão. O segundo, através de uma conversora instalada na futura SE Terminal Rio 500 kV (TRio), próximo de Nova Iguaçu, RJ, formando o segundo bipolo, com linha de transmissão com cerca de 2439 km.

Essa solução em CCAT de tensão nominal 800 kV, novo padrão internacional para transmissão de grandes blocos de energia em longas distâncias, adotada em países de dimensões continentais como China e Índia, é inédita no Brasil e foi indicada após extensos estudos técnicos e econômicos de planejamento, que avaliou e comparou distintas alternativas de transmissão, com diferentes tecnologias. [ 1 ].

Neste artigo são apresentados os principais aspectos que nortearam o planejamento na concepção desse sistema de transmissão em corrente contínua a ser instalado no Brasil, que além de ser o primeiro em 800 kV no país, conterá a linha de transmissão mais longa do mundo.

(\*) Avenida Rio Branco, 1 - 11º andar - CEP 20090-003 – Rio de Janeiro – RJ – BRASIL  
Tel.: (021) 3512-3322 – Fax: (021) 3512-3198 – e-mail: dourival.carvalho@epe.gov.br

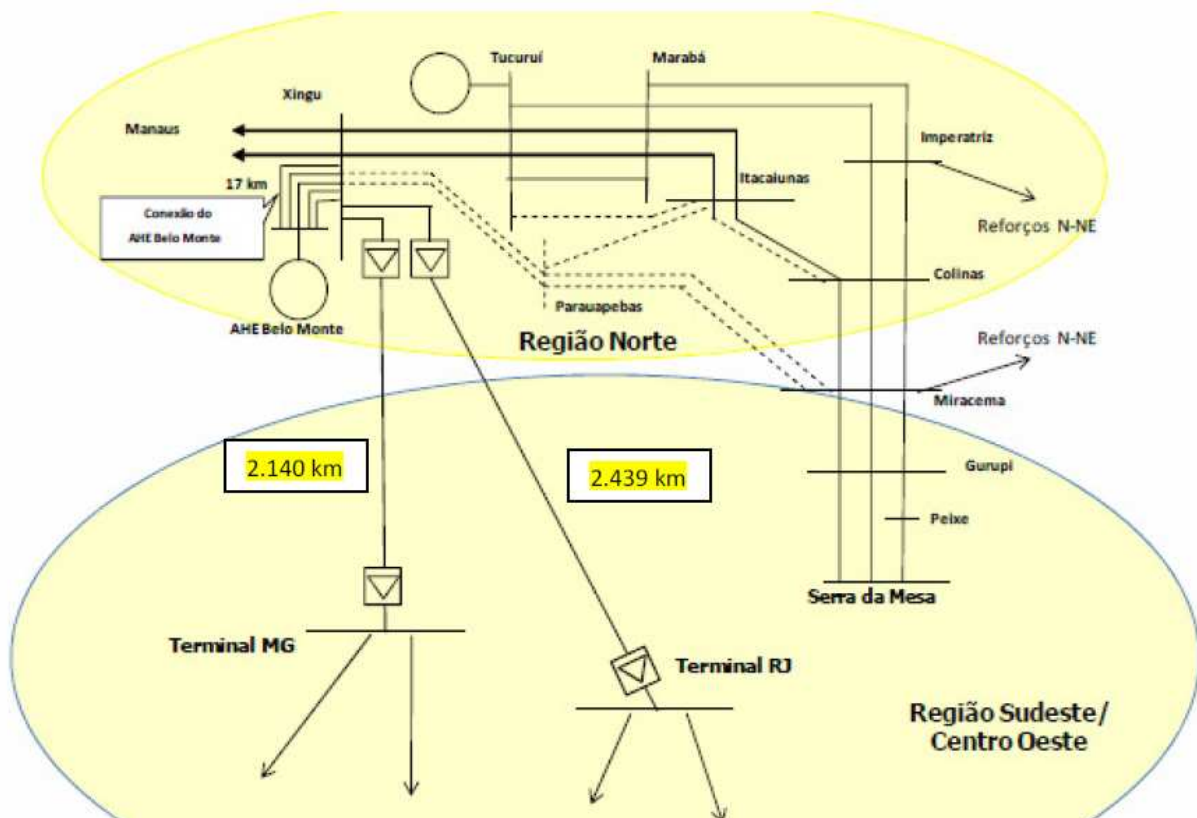


Figura 1 - Ilustração da inserção do sistema CCAT  $\pm 800$  kV no SIN

## 2.0 - ASPECTOS DETERMINANTES NA CONCEPÇÃO DO SISTEMA CCAT 800 KV

### 2.1 Características da usina de Belo Monte e da região Norte

A UHE Belo Monte com capacidade instalada de 11.233 MW é composta por uma casa de força principal, com 11.000 MW, 18 máquinas de 611 MW de potência nominal cada e uma casa de força secundária, com 233 MW, para atendimento local. Em função das vazões do rio Xingu que variam bastante ao longo do ano, como ilustrado na Figura 2, e das características e condicionantes do projeto da usina, o despacho da casa de força principal poderá variar, desde a geração máxima, no período úmido da região, até zero, no período seco. Em decorrência desses condicionamentos, para reduzir as dificuldades de inserção da usina no SIN, foi previsto que 3 das máquinas da casa de força principal deverão operar, simultaneamente, como compensador síncrono.

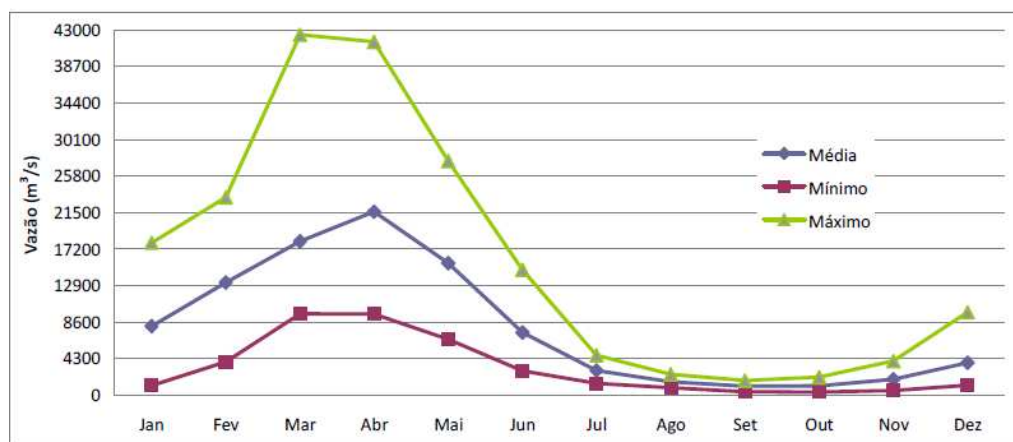


Figura 2 – Vazões médias mensais do rio Xingu de 1931 a 2007 (m³/s)

Desta forma, se no período úmido da região Norte, quando do despacho elevado das usinas de Belo Monte e Tucuruí (7859 MW), a transmissão nos elos CCAT deverá ser máxima, no período seco, haverá necessidade de transmissão reversa para suprir demanda dessa região.

## 2.2 Condições de inserção do sistema CCAT 800 kV no SIN

A conexão da usina de Belo Monte à Rede Básica, na subestação Xingu 500 kV, foi um dos fatores condicionante para a concepção dos reforços de transmissão do SIN, necessários à integração dessa usina, dentre os quais o sistema de transmissão CCAT em 800 kV. A subestação Xingu, parte integrante do troço de transmissão em 500 kV, Tucuruí – Macapá – Manaus esta conectada a expressiva malha em 500 kV das regiões Norte e Nordeste, que por sua vez é interligada ao Sudeste através do tronco de transmissão Norte-Sul, que já é composto por 3 linhas em 500 kV em paralelo. Desta forma, diferente dos reforços concebidos para escoamento da energia de Belo Monte para o Nordeste, que considerou a necessidade de integração de algumas regiões não suficientemente cobertas pelo SIN, o reforço do tronco Norte-Sul pode ser concebido através de uma ligação direta entre essas regiões, através do sistema em CCAT. Caso a conexão de Belo Monte à Rede Básica se desse em outro ponto, como se aventou em estudos anteriores alguns anos atrás [ 2 ], e sem expressiva malha de transmissão, a solução adotada poderia ter sido outra.

Ressalta-se que a SE Xingu, como concebida inicialmente, não comportava a implantação das duas conversoras dos bipolos, além das linhas de transmissão em 500 kV já previstas. Contudo, sua expansão foi tornada factível, com adequações, que incluíram a previsão de movimentação de terra, indicada em avaliações de campo.

Na extremidade oposta da conexão do primeiro bipolo no Sudeste, TMinas foi escolhida após comparação com diversos outros pontos de conexão, por resultar na melhor solução técnica e econômica que contemplou os requisitos de transmissão nos dois sentidos do elo CCAT. Os reforços de transmissão na rede CA necessários à essa conexão foram concebidos, tanto para o atendimento às cargas da região Sudeste, quando transmitindo no sentido Norte-Sul, como para permitir o fluxo de potência das usinas da região para o elo CCAT, quando transmitindo no sentido inverso, Sul-Norte. A conexão do segundo bipolo no Sudeste, em TRio, foi viabilizada técnico e economicamente, tendo como premissa a conexão inicial do primeiro bipolo em TMinas.

## 2.3 Novo padrão de tensão para transmissão em CCAT

Na primeira fase dos estudos de planejamento, quando ainda se analisava as tecnologias elegíveis para reforço do tronco Norte-Sul, a experiência mundial com a transmissão em 800 kV CC não era suficientemente difundida no país. Mas a despeito desse ineditismo, investigações realizadas durante os estudos, revelaram a tensão 800 kV como novo padrão de tensão que se estabeleceu no mercado internacional para a transmissão de grandes blocos de energia em distâncias elevadas. A experiência mostra que a adoção de padrões internacionais na expansão da rede possibilita obter para os projetos, o benefício decorrente de ganhos em escala de produção e da competição entre os fabricantes mundiais. Isto foi observado, por exemplo, quando se adotou no país os padrões 345 kV e 500 kV na expansão da rede CA [ 3 ].

Por outro lado, em termos da topologia ou de outras concepções ou inovações, ficou evidenciado das investigações do Grupo de Estudo que as conversoras são similares as de tensão em 600 kV, já conhecidas no Brasil, a exceção do nível de tensão CC e, conseqüentemente, dos equipamentos e demais instalações do pátio de corrente contínua. Os pátios de corrente alternada são similares, inclusive a tensão, usualmente 500 kV.

Em termos práticos é importante ressaltar que na China, atualmente, 2 sistemas de transmissão em  $\pm 800$  kV CC convencionais já operam comercialmente e diversos outros estão previstos para futuro próximo. Os projetos chineses foram desenvolvidos em parceria com alguns dos principais fornecedores desses sistemas. Na Índia, um projeto está em fase de implantação (Sistema North-East Agra, multi terminal, 6000 MW, 1728 km) e outro encontra-se em início de implantação (Sistema Champa - Khurukshetra, 3000 MW, 1365 km), cada um com fornecimento de distintos fabricantes europeus. Portanto, além da experiência existente na operação desses sistemas em 800 kV, existe competição no fornecimento, com participação efetiva dos principais fabricantes de equipamentos de CCAT, aspecto desejado na implantação de novos empreendimentos no Brasil. E as investigações na fase de planejamento mostraram que os principais fabricantes estão motivados para futuros fornecimentos, com razoável potencial para equipamentos nacionais.

## 2.4 Condicionantes da rede existente

A potência total adicional a ser transmitida através do novo reforço do tronco foi estimada em cerca de 8.000 MW no sentido Norte – Sul e 6.500 MW no sentido oposto. A despeito da viabilidade técnica da instalação de um único bipolo com 8000 MW em  $\pm 800$  kV, solução adotada na China, as avaliações do comportamento dinâmico da rede brasileira indicaram que o sistema não sobreviveria à perda de um polo, o que levou à solução com bipolos de menor potência. Além desse condicionamento, o ajuste da potência de cada bipolo precisou também levar em

conta os futuros aproveitamentos hidrelétricos da região Amazônica e as incertezas quanto à efetiva implantação desses empreendimentos. Para isto foi realizada uma análise de mínimo - máximo arrependimento, em função de diferentes potências nominais dos elos e de variações de cenários de transmissão, que indicou a solução ótima constituída por dois bipolos com potência nominal de 4000 MW cada [ 4 ].

Preliminarmente, adotou-se uma solução com os dois bipolos em paralelo, desde Xingu, conectando-se no Sudeste em uma única subestação, TMinas. Esse arranjo, similar ao utilizada na transmissão em CC de Itaipu e do Madeira, tinha o objetivo de tirar vantagem da operação das conversoras em paralelo, quando da perda de uma das linhas de transmissão. Entretanto, dois fatores contribuíram para a se considerar uma solução com os bipolos conectados em pontos distintos no Sudeste. O primeiro, baseado na experiência de operação de Itaipu, que mostra que o paralelismo entre conversoras tem sido ocorrência rara. Além disto, para torná-lo viável seria necessário um correspondente reforço, e consequente ônus adicional nos custos das linhas de transmissão, para que pudessem suportar em condição de longo prazo, duas vezes a corrente nominal. O segundo condicionante, em razão do melhor desempenho do sistema interligado quando a injeção da potência de 8000 MW se dá em pontos distintos, além do consequente aumento do indicador SCR (*Short Circuit Ratio*) de cada bipolo no seu ponto de injeção. Esse indicador, condicionante importante na operação de elos de corrente contínua tradicionais, resultou para a solução adotada em valores superiores a 3.

Quanto aos requisitos de operação para os bipolos, estes incluem a perda de polo (critério N-1) a perda de bipolo, a transmissão com retorno metálico e a transmissão com retorno pela terra, ajustadas aos requisitos de sobrecarga nos elos. Assim, as sobrecargas recomendadas garantem o escoamento da potência plena das usinas do Norte, atendendo aos critérios de planejamento (não haverá corte de carga na perda de 1 polo) mesmo nos cenários críticos de intercâmbio Norte-Sul, sem considerar alívio automático de geração. Na perda de bipolo, a capacidade de sobrecarga leva à necessidade de menor corte automático de geração. Os valores previstos de capacidade de sobrecarga são mostrados na Tabela 1. Ressalta-se que ao se utilizar a sobrecargas de 33% por meia hora o elo deverá ter capacidade para retornar à potência plena e, de forma análoga, após a utilização de sobrecarga de 10% por 4 horas.

**Tabela 1 – Capacidade de sobrecarga**

Sobrecarga (%)	Tempo	Frequência (*)
50	5 segundos	-
33	½ hora	1 x dia
10	4 horas	1 x dia

(\*) estabelecida num ciclo diário de carga, para a expectativa de perda de vida útil normal, conforme normas técnicas.

No que diz respeito à necessidade de transmissão mínima nos elos, em decorrência da inserção total desse sistema CCAT na rede CA, inclusive com tronco de transmissão em 500 kV paralelo, não foram verificados requisitos de transmissão inferiores a 10% da potência nominal.

Quanto ao nível de curto-circuito mínimo em Xingu, crítico no período seco da região Norte, quando a usina de Belo Monte tem geração mínima ou nula, sua elevação foi planejada na ocasião da definição das especificações da usina, quando se exigiu que pelo menos 3 de suas máquinas tivessem condições de operar simultaneamente como síncronas.

## 2.5 Concepção das linhas de transmissão em 800 kV CC

A concepção das linhas de transmissão em 800 kV CC, principal investimento desses elos, foi resultante de análise em duas etapas. A primeira, a partir de uma concepção de linha que atendesse os requisitos técnicos dessa classe de tensão, com a otimização econômica das instalações, por meio do programa ELEKTRA [ 5 ] do Cepel, considerando os custos dos elementos integrantes das linhas, disponíveis no banco de dados da Aneel, e os carregamentos e suas durações previstas no horizonte do estudo. Essa análise selecionou um conjunto de soluções de diferentes bitolas de cabo condutor, considerando um feixe de 6 condutores tipo CAA, com diferença entre os custos totais (instalação mais perdas) de cada solução não superior a 3%

A queda máxima de tensão nessas linhas tão longas, para a operação dos elos com retorno metálico, excluiu algumas das soluções de cabos de menor bitola, previamente selecionadas. Posteriormente, em função de sugestões contidas em Brochura do Cigre [ 6 ] para linhas CC nesta tensão, foram feitos pequenos ajustes [ 7 ]. O resultado final desta primeira etapa da concepção das linhas, que atendeu a todos os critérios técnicos e econômicos considerados, correspondeu a um conjunto de soluções com condutores de bitola desde 1113 MCM

até 1590 MCM. A segunda etapa da concepção das linhas, que escolheu a bitola do condutor, foi realizada em conjunto com a definição da potência das conversoras do Sudeste.

## 2.6 Dimensionamento das conversoras

Uma vez definida esse conjunto de soluções, a segunda etapa da concepção das linhas de transmissão analisou simultaneamente as perdas totais do sistema CCAT e da rede CA. Essa análise resultou na definição final das linhas e no dimensionamento da capacidade nominal das conversoras.

Como os dois elos de corrente contínua estão completamente “inseridos” no SIN (primeiro nesta condição no país), ou seja, com operação em paralelo com a rede de corrente alternada, as soluções previamente selecionadas para as linhas de transmissão foram, então, submetidas a uma avaliação de perdas totais do sistema, em função da operação dos elos CCAT, com transmissão direta (Norte-Sul) e reversa (Sul-Norte). Esses resultados condicionaram o dimensionamento das inversoras CCAT, cujos investimentos somam-se ao custo de investimento das linhas, que totalizam os investimentos dos elos de CCAT.

Os resultados finais dessa avaliação de custos globais, investimentos mais perdas totais, que atendeu aos demais critérios considerados, levaram à concepção de um sistema de transmissão composto pelos dois elos em  $\pm 800$  kV CCAT, com ambas as linhas de transmissão do bipolo 1 e do bipolo 2, com seis condutores CAA 1590 MCM por polo, e conversoras de potência iguais, 4000 MW cada, na subestação Xingu e 3850 MW cada, para as conversoras do Sudeste quando transmitindo como inversoras. Entretanto, considerando a partir de investigações posteriores junto a fabricantes, que o carregamento máximo a ser praticado no sentido Sul-Norte, sem custos adicionais às conversoras seria em torno de 85% da potência definida para os inversores, essas conversoras quando operando como retificadoras foram dimensionadas para 3270 MW.

Quanto às perdas nas conversoras, com base na experiência do Madeira, foi considerado que as perdas máximas admissíveis em cada estação conversora (retificador ou inversor) não poderão ser superiores a 0,75% da sua potência nominal, incluindo a contribuição de todos os equipamentos e serviços auxiliares necessários a operação da mesma.

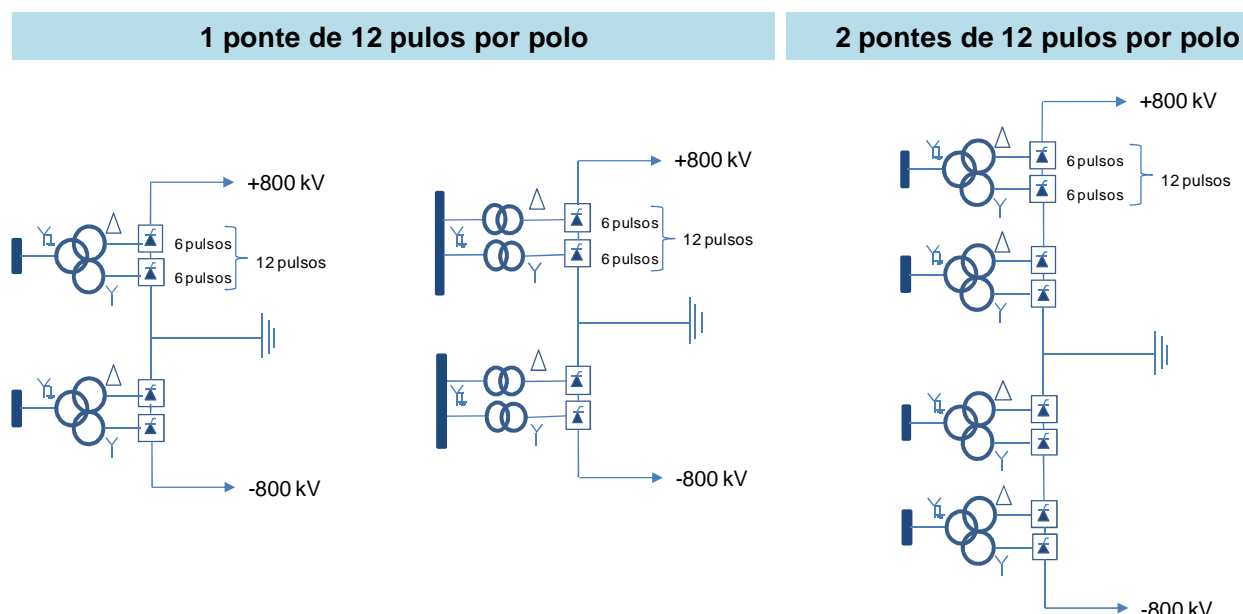
## 2.7 Pontes e transformadores conversores

Uma das possibilidades de concepção de conversoras convencionais em CCAT é considerar duas pontes de 12 pulsos em série por polo, permitindo a operação com metade da tensão nominal, como previsto, por exemplo, no projeto Itaipu.

Para a potência nominal da ordem de 4000 MW, em 800 kV CC, e não havendo requisitos sistêmicos para a concepção com duas pontes série por polo, o arranjo das conversoras pode ser concebido com 1 ou 2 pontes de 12 pulsos por polo, como ilustrado na Figura 3, permitindo aos fornecedores desses equipamentos flexibilidade para contornar uma das principais dificuldades na implantação das conversoras desse porte, que é o transporte dos transformadores. Além do peso, existem restrições no transporte quanto a altura máxima dos transformadores.

A concepção com 1 ponte por polo e transformadores de 3 enrolamentos foi aceita no fornecimento da conversora de Porto Velho do primeiro bipolo do Madeira, a despeito da especificação técnica que previa transformadores conversores com 2 enrolamentos. Esses equipamentos, fabricados na Europa, foram transportados por via fluvial. Entretanto, para a conversora de Araraquara deste mesmo bipolo o fornecimento foi de transformadores com 2 enrolamentos, fabricados no Brasil, transportados via terrestre, o que indica as diferentes possibilidades de transporte e fabricação.

A vantagem de se utilizar uma configuração com 2 pontes série por polo se dá na redução do tamanho e do peso dos transformadores, em situações em que a rede viária não comportar o transporte dos mesmos. No caso da SE Xingu, aparentemente essa restrição não existe, pois deverá ser empregado o transporte fluvial. Já para as SE TMinas e TRio, dependendo da tecnologia empregada pelo fabricante, poderá ser imposto pela restrição de transporte a construção de transformadores de 2 enrolamentos, com demanda de mais espaço na subestação e maiores custos consequentes.



**Figura 3 - Opções para concepção de pontes por polo**

## 2.8 Filtros CA

Na fase de concepção básica foram estabelecidos os totais nominais de compensação reativa fornecida pelos filtros de cada conversora, a capacidade nominal máxima de cada unidade de filtro e a capacidade nominal máxima de cada ilha de filtros. Na etapa de detalhamento do Relatório R2, posterior a da concepção básica do Relatório R1, o dimensionamento e características dos filtros serão objeto de revisão.

A premissa inicial considerou que os filtros irão oferecer toda a potência reativa (cerca de 50% da potência nominal do elo) necessária para compensar o consumo próprio de cada conversora, em qualquer condição operativa, tanto como retificadora como inversora.

Diferentes condições de operação, em termos de carregamento máximo, carregamento mínimo, cenários de geração e sentido de transmissão, foram determinantes para a avaliação do balanço de potência reativa e da potência máxima reativa que o sistema pode comportar. Foram também analisadas as variações de tensão por perda de módulo de filtro (3% máximo admissível) e ilha (máx 10% admissível) composta por até 3 módulos de filtro. Para atender as condições analisadas foram indicados, sem considerar filtros reserva, 5 módulos de filtros para cada conversora, com os módulos não superiores a 420 Mvar em Xingu 500 kV e a 400 Mvar nas subestações 500 kV T. Minas e T. Rio, como sumarizado na Tabela 2. Esses filtros poderão ser arranjados nas subestações através de 2 ou 3 ilhas.

**Tabela 2 – Filtros para compensação reativa, por conversora**

Barra CA	Quantidade de filtros	Quantidade de ilhas de filtros	Potência por filtro (Mvar)	Potência total (Mvar)
Xingu, bipolo 1	5	2	420	2100
Xingu, bipolo 2	5	2	420	2100
TMinas, bipolo 1	5	2	400	2000
TRio, bipolo 2	5	2	400	2000

## 3.0 - CONCLUSÃO

Os estudos de planejamento indicaram para reforço do tronco de transmissão Norte-Sul, necessário à integração da usina de Belo Monte ao SIN, dois bipolos em 800 kV CCAT de 4000 MW cada, inseridos no SIN, ao norte, na subestação de Xingu e no Sudeste, a cerca de 2.140 e 2.439 km, respectivamente, em dois pontos distintos, nas novas subestações, TMinas e TRio.

Na concepção desse sistema em CCAT em tensão inédita no Brasil, com a linha de transmissão mais longa do

mundo, diferentes aspectos contribuíram ou condicionaram a solução indicada pelo planejamento. Dentre os quais, foram destacados a influência das vazões médias dos rios da região Norte, certas características do projeto da usina de Belo Monte, as incertezas na consecução dos novos aproveitamentos hidrelétricos da região, os condicionantes atuais da rede do SIN, e a inserção completa do novo sistema CCAT numa rede CA malhada.

Além desses condicionantes, outros aspectos influenciaram a concepção do novo sistema CCAT. Em destaque para a afirmação da tensão 800 kV como novo padrão internacional na transmissão de grandes blocos de energia em longas distâncias. Situação oportuna para implantação do novo projeto. Em decorrência, pela novidade, análises específicas foram necessárias para a concepção da linha de transmissão, principal investimento do sistema. Por sua vez, no dimensionamento das conversoras e filtros CA foram atendidas as necessidades da transmissão nos sentidos direto e reverso. Finalmente, na concepção de pontes e transformadores foram observados novos condicionantes, inclusive as potenciais dificuldades de transporte para equipamentos da classe de tensão considerada.

#### 4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [ 1 ] CARVALHO, D.S.; ESMERALDO, P.C.V.; Opções Tecnológicas no Planejamento da Transmissão em Longa Distância – O Caso da Expansão das Grandes Interligações, XXI SNPTEE, Grupo VII, Florianópolis, 2011.
- [ 2 ] SCAVASSA, J.L. e outros; Inserção do complexo hidroelétrico de Belo Monte no Sistema Interligado Brasileiro – Escolha estratégica das alternativas de transmissão; XVII SNPTEE, Grupo VII, GPL-09, Uberlândia, 2003.
- [ 3 ] GOMES, R.(organizador); A gestão do sistema de transmissão do Brasil, Editora FGV, Rio de Janeiro, 2012.
- [ 4 ] ESMERALDO, P.C.V.; CARVALHO, D.S.; ARAUJO, E.M.A; SILVEIRA, M.A.N.; Long distance transmission interconnections expansion in Brazil impacted by Belo Monte power plant. Paper C1-115, 44th Bient Cigre, Paris, August 2012.
- [ 5 ] SALARI, J. C., SILVA Filho, J. I. DART, F. C.; O Sistema computacional ELEKTRA - Integração de modelos matemáticos para o dimensionamento otimizado de linhas de transmissão com feixes convencionais e não convencionais, X SEPOPE, Florianópolis, Brasil, maio 2006.
- [ 6 ] Electric field and ion current environment of HVDC overhead transmission lines; Cigre Brochure nº 473, joint Working Group B4/C3/B2.50, August 2011.
- [ 7 ] CARVALHO, D.S.; ESMERALDO, P.C.V; SALARI, J.C.; SILVA, J.I.; DART, F.C.; Concepção básica da linha de transmissão em 800 kV CC para ampliação da interligação Norte-Sul, com vistas à integração da usina de Belo Monte; XXII SNPTEE, Brasília, 2013.

#### 5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

**Dourival de Souza Carvalho Junior**, engenheiro eletricitista formado pela PUC-Rio em 1976; mestre em ciências em engenharia elétrica pela Coppe/UFRJ em 1980; Academic Visitor no Imperial College of Science and Technology (Londres, Inglaterra), por um ano, em 1987; mestre em administração de empresas pela PUC-Rio em 1995. É analista na Superintendência de Transmissão de Energia na EPE desde 2007. Experiência de mais de 30 anos em planejamento, consultoria, ensino, pesquisa e estudos de sistemas elétricos de potência, atuando em empresas como Ptel, Promon, Marte, Cepel e PA Consulting.

**Daniela Florêncio de Souza**, engenheira eletricitista formada pela Escola Politécnica de Pernambuco – UPE em 1998; pós-graduação em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Itajubá-UNIFEI. É assessora da Superintendência de Transmissão de Energia na EPE desde 2006. Experiência em estudos para avaliação da estabilidade dos sistemas elétricos e na definição das expansões das interligações Norte/Nordeste/Sudeste bem como do sistema de transmissão do Madeira e Belo Monte, atuando em empresas como ANDESA e ONS.

**Paulo Cesar Vaz Esmeraldo**, engenheiro eletricitista formado pela UFRJ em 1972 e mestre em ciências pela Unifei em 1976. Desde fev/2013 é Diretor Geral do Cesi Brasil. Superintendente de Transmissão de Energia Elétrica da EPE por 8 anos, trabalhou em Furnas por cerca de 30 anos, em estudos de planejamento da transmissão, em sistemas de EAT, HVDC e Facts, concepção de linhas de transmissão, sobretensões e coordenação de isolamento. Fellow do IEEE e Cigre Technical Award.

## 6.0 - AGRADECIMENTOS

Os autores deste artigo agradecem a contribuição de todos os participantes do Grupo de Estudo abaixo relacionados:

Edna Maria de Almeida Araujo	EPE	Sebastião Vidigal F. Júnior	CEMIG
Armando Leite Fernandes	EPE	Marinete Rocha Quintanilha	Eletrobras Eletronorte
Tiago Rizotto	EPE	Rafael Lewergger M. Piccirili	Eletrobras Eletronorte
Carolina Borges	EPE	Eumann Magalhães Feitosa	Eletrobras Eletronorte
Marcelo Pires	EPE	Carlos Leôncio G. Costa	CHESF
Severino Pedro de Oliveira Junior	EPE	Valdson Simões de Jesus	CHESF
Katia Matosinho	EPE	Emanoelli Cipriani	Eletrobras Eletrosul
Hermani Vieira	EPE	Marcos Affonso dos Santos	CTEEP
Carina Renno Siniscalchi	EPE	Luiza Maria de Sousa Carijó	FURNAS
Carlos Eduardo V. M. Lopes	Eletrobras	Arnaldo Dias	FURNAS
Adinã Martins Pena	CEMIG	Wladimir Assunção	FURNAS