

Modernização do Sistema CCAT de Itaipu: Considerações quanto a aspectos eletroenergéticos e técnicos

Nota Técnica

**nº EPE-DEE-NT-099/2019-rev1
ONS NT 0118/2019**

19 de junho de 2020

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	4
2	SUMÁRIO EXECUTIVO.....	4
	Análise energética de curto/médio prazo	4
	Análise energética de médio/longo prazo.....	6
	Aspectos relativos à especificação técnica das conversoras.....	7
	Conclusões.....	9
3	OBSOLESCÊNCIA DOS EQUIPAMENTOS E NECESSIDADE DE MODERNIZAÇÃO	11
4	CONTEXTUALIZAÇÃO ELETROENERGÉTICA	14
4.1	Horizonte de curto/médio prazo (ONS)	14
4.2	Horizonte de médio/longo prazo (EPE)	20
5	CONTEXTUALIZAÇÃO TÉCNICA.....	25
5.1	Síntese	25
5.2	Ponderações quanto aos transformadores conversores	26
5.3	Análise da proposta de Furnas	27
5.4	Consultas a fabricantes.....	37
	Estratégias propostas pelo fabricante NR Electric/NARI	37
	Estratégias propostas pelo fabricante SIEMENS	38
	Estratégias propostas pelo fabricante ABB	40
6	EQUIPE.....	42
7	REFERÊNCIAS.....	43
	ANEXOS	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3:1: Conexões da UHE Itaipu com as redes em 50 Hz e 60 Hz	11
Figura 3:2 - Ilustração esquemática do sistema de transmissão em corrente contínua	11
Figura 4:1: Representação das interconexões entre Itaipu e os subsistemas Sul e Sudeste	14
Figura 4:2: Custo Marginal de Operação Médio - Sudeste/Centro-Oeste	15
Figura 4:3: Custo Total de Operação – 2019 a 2023	16
Figura 4:4: Curva de Permanência do Fluxo no Intercâmbio no Elo CC: Patamar Pesado – 2023	16
Figura 4:5: Curva de Permanência do Fluxo no Intercâmbio Itaipu 60 Hz: Patamar Pesado - 2023	17
Figura 4:6: Permanência do fluxo de intercâmbio em 2029 para a média dos 4 patamares	21
Figura 4:7: Permanência do fluxo de intercâmbio em 2029 para o patamar de ponta	22
Figura 4:8: Permanência do fluxo de intercâmbio entre Itaipu e SE/CO: Ponta (2029).....	23
Figura 5:1: Custos associados à implantação de uma nova conversora CCAT.	27
Figura 5:2: Escopo básico da proposta de modernização apresentada por Furnas.	31
Figura 5:3: Escopo adicional da proposta de modernização apresentada por Furnas.	31
Figura 5:4: Cronograma para modernização dos dois bipolos apresentado por Furnas.....	32
Figura 5:5: Cronograma simplificado de implantação apresentado pela Siemens.	39
Figura 5:6: Escopo da modernização apresentado pela ABB.	41

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4-1: Custo com Geração Térmica, despacho por mérito e fora da ordem de mérito - Cenário mais crítico – Sensibilidade com um bipolo de 4000 MW	19
Tabela 4-2: Custo com Geração Térmica, despacho por mérito e fora da ordem de mérito - Cenário mais crítico – Sensibilidade com um bipolo de 3.150 MW	19
Tabela 4-3: Suprimento de Itaipu para o mercado paraguaio	20
Tabela 4-4: Demanda máxima do Paraguai (MW) no horário de ponta do Brasil, simultânea ou não à demanda máxima do Brasil, ano 2029.....	23
Tabela 5-1: Vida média das instalações de conversoras CCAT - 1	29
Tabela 5-2: Vida média das instalações de conversoras CCAT - 2	30
Tabela 5-3: Previsão inicial de orçamento apresentada por Furnas, em R\$ [II].	33
Tabela 5-4: Orçamento pelo menor investimento apresentado, em US\$ [XII].	33
Tabela 5-5: Orçamento pela média dos investimentos apresentados, em US\$ [XII].	34
Tabela 5-6: Estado atual das linhas ± 600 kV	36
Tabela 5-7: Síntese de projetos realizados pelos fabricantes consultados.....	37
Tabela 5-8: Alternativas apresentadas pela Siemens.....	38
Tabela 5-9: Informações necessárias apresentadas pela Siemens.....	39

1 Introdução

Está sob análise do MME/ANEEL a proposta de FURNAS referente ao ato autorizativo para a revitalização das conversoras dos elos de corrente contínua em alta tensão (CCAT) do sistema de transmissão da usina de Itaipu, tendo em vista que tais equipamentos, instalados no período 1984-1987, portanto com mais de 30 em operação, estão com vida útil ultrapassada, necessitando de modernização ou revitalização.

De modo a fornecer elementos para orientar a decisão quanto a esse processo autorizativo, foi solicitado pelo MME à EPE que, em conjunto com o ONS, efetuasse a análise de alguns aspectos eletroenergéticos e técnicos associados a essa questão, particularmente quanto a: (i) importância dos bipolos CCAT de Itaipu no médio/longo prazo para o desempenho do Sistema Interligado Nacional (SIN), tendo em conta possíveis cenários de redução de exportação da energia do Paraguai para o Brasil; (ii) considerações técnicas com base na proposta de FURNAS, incluindo a avaliação da oportunidade de se construir um novo sistema, com nova configuração e especificação, ao invés de modernizar/revitalizar o existente; (iii) possibilidade de modulação das obras de modernização/revitalização das conversoras associadas a cada um dos bipolos.

De modo a cobrir os temas acima, esta Nota Técnica resume as avaliações efetuadas, abordando na sequência os seguintes itens: sumário executivo com as principais conclusões, a obsolescência dos equipamentos e necessidade de modernização, a contextualização eletroenergética e contextualização técnica.

Não fez parte do escopo deste documento a abordagem dos aspectos regulatórios e contratuais que certamente constituirão itens importantes no processo autorizativo solicitado por FURNAS. Também não fez parte do escopo das análises a consideração dos temas estratégicos e comerciais vinculados à negociação dos termos financeiros do Anexo C do Tratado de Itaipu, com vencimento em 2023, atividade esta que está sendo objeto de um GT específico coordenado pelo MME. Reconhece-se, no entanto, que as conclusões deste documento, poderão contribuir para a atividade deste GT.

2 Sumário executivo

Obsolescência dos equipamentos e necessidade de modernização

Os bipolos 1 e 2 de Itaipu iniciaram sua operação em 1984 e 1987, respectivamente, atingindo, portanto, cerca de 35,5 anos (bipolo 1) e 33 anos (bipolo 2). Tais valores são bastante superiores aos da experiência internacional quanto à idade média de bipolos CCAT até o momento de sua modernização, da ordem de 26 anos, segundo a pesquisa abrangendo todos os fabricantes tradicionais de CCAT.

A experiência internacional mostra que não vale a pena esperar que os equipamentos se danifiquem, por final de vida útil, para se decidir o momento de se fazer uma modernização, tendo em vista os crescentes períodos de indisponibilidade por falhas e reparos das instalações.

No caso brasileiro, destaca-se a ocorrência, em abril de 2014, de sinistro na válvula tiristora da Conversora 1 do sistema CCAT de Itaipu, quando o período necessário para reparo foi de cerca de 12 meses. Na ocasião,

foi informado pelo fabricante do equipamento que, na ocorrência de novos sinistros em componentes já obsoletos, seriam necessários cerca de 500 dias para reparo, em função da necessidade de fabricação de itens atualmente fora de linha.

Uma análise de sensibilidade foi efetuada pelo ONS quanto ao impacto sobre o sistema interligado nacional da indisponibilidade de um ou de ambos os bipolos de Itaipu, considerando uma interrupção de potência por 12 ou 18 meses, mostrando que:

- Caso ocorram chuvas próximas da média dos últimos cinco anos (cenário base):
 - A disponibilidade de apenas um bipolo não acarretaria perdas significativas de armazenamento e, consequentemente, de segurança para o SIN. Ficariam os impactos restritos ao custo total de operação e ao despacho térmico, sendo que o custo de operação pode ser majorado em 0,3% em dezoito meses.
 - Caso haja a indisponibilidade dos dois bipolos, pode-se perder 6,8% de armazenamento no subsistema Sudeste, em dezoito meses, além de uma elevação dos custos totais de operação da ordem de 4% no mesmo período.
- Caso ocorram chuvas próximas da média dos últimos cinco anos no SIN e bastante abaixo da média no Sul (60% da MLT):
 - A indisponibilidade dos dois bipolos não acarreta perdas significativas de armazenamento e, consequentemente, de segurança para o SIN. O custo total de operação também fica bastante próximo em todos os casos, dentro do intervalo de confiança dos modelos energéticos. Na ocorrência de vazões desta ordem, não haveria perdas relevantes do ponto de vista energético.
 - Entretanto, poderão ocorrer problemas de disponibilidade de potência vinculados à indisponibilidade dos elos de corrente contínua.
- Caso ocorram chuvas próximas da média dos últimos cinco anos no SIN e bastante acima da média no Sul (180% da MLT):
 - A disponibilidade de apenas um bipolo já acarreta perdas significativas de armazenamento no subsistema Sudeste, chegando a uma diferença de 5,4% em dezoito meses. Nessa hipótese, o custo total de operação seria majorado em 1,3% em dezoito meses.
 - Considerando a indisponibilidade dos dois elos, a diferença de armazenamento salta para 14,7%. Neste caso, o custo total de operação seria majorado em 5,3% do custo total de operação do período.

Tendo em conta a obsolescência dos equipamentos das conversoras do sistema CCAT de Itaipu, bem como o fato de que o prazo previsto para a modernização de um bipolo pode atingir 48 meses a partir da contratação do projeto, conforme informações dos fabricantes, e, por outro lado, a contribuição que esse sistema pode proporcionar para o atendimento à demanda do SIN, conforme a seguir descrito, julga-se importante que o processo de modernização de um dos bipolos seja iniciado de imediato.

Análise energética de curto/médio prazo

A análise energética de curto/médio prazo efetuada pelo ONS para o período 2019-2023 contemplou três hipóteses para os limites de intercâmbio da UHE Itaipu 50 Hz para o subsistema SE/CO via bipolos CCAT: (i) configuração de referência, com base nas análises do Plano da Operação Energética 2019/2023 - PEN 2019, com capacidade igual à do sistema atual (2x3.150 MW); (ii) capacidade de 4.000 MW, correspondente à hipótese de construção de um novo bipolo, substituindo os atuais, com potência superior à de um deles; e (iii) capacidade de 3.150 MW, correspondente à hipótese de se modernizar apenas um dos bipolos atuais ou, caso a modernização ocorra em etapas sequenciais, a configuração da primeira etapa de revitalização.

O estudo abrangeu a análise dos custos marginais de operação, custos totais de operação em todo o horizonte até 2023 e fluxo nos intercâmbios resultantes da geração em 50 Hz através do elo CCAT e da geração 60 Hz através da soma dos intercâmbios Itaipu → Sul e Itaipu → Ivaiporã.

Contemplou, ainda, uma avaliação do atendimento à demanda máxima diária, para cada mês do horizonte de 5 anos, fornecendo o cálculo da disponibilidade de potência e o custo adicional ao despacho por ordem de mérito para os casos de referência e de sensibilidade estudados.

Em síntese:

- As avaliações no horizonte de curto/médio prazo evidenciaram que, dentro deste horizonte, não há impactos relevantes quanto aos intercâmbios de energia com a redução da capacidade do elo CCAT.
- Entretanto, a avaliação de balanço de demanda, com granularidade horária, mostrou que uma redução da capacidade de transferência para valores correspondentes à de um dos bipolos atuais (3.150 MW) tende a acarretar elevados custos de operação associados aos despachos térmicos para mitigar a redução de disponibilidade de potência que esta usina agrega ao SIN.
- À medida que se considera um valor maior de capacidade de transferência (a exemplo, do caso com 4.000 MW estudado) o impacto nos custos operacionais se reduz.

Análise energética de médio/longo prazo

Em um primeiro momento, a análise energética efetuada pela EPE para o ano de 2029 se baseou na hipótese de que os horários de ponta dos sistemas paraguaio e brasileiro são não coincidentes (PDE 2029). Essa análise demonstrou que:

- É importante se dispor da capacidade de transferência de ambos os bipolos para viabilização do atendimento à demanda de potência instantânea do SIN.
- Os resultados das simulações energéticas no horizonte decenal apontam, a rigor, a necessidade de potência com valor um pouco inferior ao nominal das instalações hoje existentes (da ordem de 5.000 MW face aos 6.300 MW atuais), caso se optasse por implantar novas instalações substituindo as existentes.
- Não obstante haver perspectiva de redução do excedente de energia média a ser exportada do Paraguai para o Brasil, há, por outro lado, um aumento dos requisitos de capacidade de potência no SIN, sendo os dois bipolos de Itaipu importantes para contribuir para esse suprimento de ponta.

Posteriormente, a EPE realizou uma análise de sensibilidade para o ano de 2029 considerando a coincidência entre os horários de ponta dos sistemas paraguaio e brasileiro. Essa análise demonstrou que:

- Apesar da redução dos fluxos nos bipolos nesse novo cenário, o que já era esperado, permanece a importância de se dispor da capacidade de transferência de pelo menos um dos bipolos para a viabilização do atendimento à demanda de potência instantânea do SIN.
- Para alguns cenários hidrológicos, observa-se a necessidade de importação de uma capacidade superior ao limite de apenas um dos bipolos. Porém, por não envolver um quantitativo expressivo de cenários, a importância do segundo bipolo não se mostra tão evidente, demandando análises mais específicas para um melhor juízo, incluindo um maior detalhamento do comportamento da carga do Paraguai.

Como observação adicional, verifica-se que, ao possibilitar a injeção de potência junto ao centro de carga do sistema, os bipolos constituem uma fonte de suprimento de custo significativamente inferior ao de outras fontes que se farão necessárias para atender o crescente requisito de capacidade de ponta indicado pelo PDE 2029. Como ordem de grandeza, com base nos valores médios apresentados por FURNAS, pode-se estimar um custo de investimento de cerca de R\$ 775/kW para a modernização dos bipolos. Por outro lado, observa-se que o PDE 2030, em elaboração, considera como referência para a expansão de oferta de capacidade de potência usinas termelétricas 100% flexíveis, com custo de investimento da ordem de R\$ 3.400/kW.

Aspectos relativos à especificação técnica das conversoras

Sob o aspecto da especificação técnica das conversoras CCAT de Foz do Iguaçu e Ibiúna, com base na análise da proposta de revitalização dos equipamentos apresentada por Furnas e nas consultas efetuada a três fabricantes (ABB, Siemens e NR Electric/NARI), potenciais candidatos a fornecer os equipamentos e serviços a serem demandados, destacam-se os seguintes pontos:

- Na modernização, o fabricante das conversoras atuais (ABB) leva uma grande vantagem na competição com outros fabricantes por conhecer os detalhes das instalações, suas especificações e características de projeto (engenharia do projeto).
- Para os demais fabricantes, no caso de modernização, é mandatório acesso aos detalhes do projeto e inspeção das instalações, com extensão de prazo para o adequado nivelamento de conhecimento e simetria de informações, com livre acesso a dados e especificações originais (*open book*).
- A modernização dos dois bipolos pode ser realizada em etapas sequenciais, iniciando-se por um deles, com intervalo de tempo entre as etapas a ser estabelecido. Essas modernizações podem ser feitas em um único contrato, ou em contratos distintos.
- Como alternativa à modernização, poderão ser implantadas conversoras completamente novas, porém, nesse caso, com custo bem mais elevado, não obstante a maior competição que se tornaria possível.
- Os transformadores conversores são elementos fundamentais no processo de modernização. A decisão de modernizar ou comprar transformadores conversores novos pode levar a diferentes alternativas, no tocante à potência dos elos ou mesmo aos modos de operação.
- Dentre as premissas consideradas por Furnas:

- i) A modernização dos transformadores conversores poderá restabelecer a vida útil desses equipamentos por mais 35 anos, mas a garantia está limitada a 5 anos, com equipamentos que vêm sendo modernizados por Furnas há 15 anos, sem problemas técnicos observados. A modernização em campo pode ser realizada, atendendo às exigências técnicas e pode representar vantagens econômicas, em função de redução no custo de transporte. No entanto, alguns testes pós modernização não podem ser realizados em campo.
 - ii) As linhas de transmissão em ± 600 kV e linhas dos eletrodos de terra, não foram incluídas na proposta de modernização apresentada por Furnas, mas apresentam desgastes compatíveis com suas idades (entre 35 e 32 anos), corrigidos nos programas de manutenção. Entretanto, para se conhecer o escopo de modernização dessas linhas para operação por mais 30 anos, de forma a torná-las compatíveis com as instalações modernizadas das conversoras é recomendado uma inspeção técnica detalhada.
 - iii) Para o estado atual dos eletrodos de terra e ações para avaliar e prorrogar sua vida útil, Furnas indicou um conjunto de ações que pretende implementar para avaliar e prorrogar a vida útil, sem explicitar o estado atual. É esperado que tenham sofrido desgastes com a operação e ações de modernização serão necessárias para recuperá-los.
 - iv) No que se refere aos equipamentos do lado CA da conversora, com exceção dos filtros, não estão incluídos na proposta de modernização, a despeito do envelhecimento. Com base nos esclarecimentos adicionais prestados por Furnas para as chaves seccionadoras CA, a previsão dessa é realizar de forma gradativa, em função da necessidade, ou em um escopo independente. A cadeia de suprimentos para equipamentos do lado CA da conversora é ampla no Brasil e muitos dos componentes podem ser adquiridos facilmente no mercado nacional.
- Das consultas aos fabricantes, os seguintes pontos se destacam:
 - Dos três fabricantes consultados quanto à experiência na modernização de sistemas CCAT, NR Electric/NARI apresenta, relativamente, menor experiência tanto em número de modernizações como em escopo.
 - Nas reuniões com EPE/ONS, a NR Electric/NARI não apresentou proposta específica para a modernização dos bipolos de CCAT.
 - Já a SIEMENS apresentou três propostas: i) com nova topologia e equipamentos totalmente novos, ii) considerando a mesma topologia dos bipolos atuais com todos equipamentos novos, inclusive os transformadores conversores (mantém a construção da casa de válvulas); e iii) considerando a topologia atual com equipamentos novos, modernizados os transformadores conversores e casa de válvula (apenas a construção). Esses fabricantes justificaram a falta de conhecimento detalhado dos projetos das instalações para a não realização de uma proposta de modernização e salientaram a necessidade de obter todas informações desse projeto.
 - O terceiro fabricante, ABB, apresentou solução em que procura aproveitar total ou parcialmente o maior número possível de equipamentos existentes, solução que tem diferenças com relação à solução proposta anteriormente para Furnas, há cerca de 2 anos. A proposta da ABB foi cirúrgica no sentido de aproveitar ao máximo tudo que fosse possível, inclusive com um plano de substituição parcial dos tiristores das válvulas existentes.
 - Essa nova proposta de modernização apresentada pela ABB, aproveitando o máximo de equipamentos, mesmo que parcialmente, tende a potencializar a redução de custos, cuja referência de partida foi a da proposta inicial de Furnas, com custos da ordem de R\$ 2 bilhões,

referido a dezembro/2018 (não incluído o custo de revitalização dos transformadores conversores, atividade que vindo sendo gradualmente executada por iniciativa de Furnas).

- Posteriormente, em atenção à solicitação do MME, Furnas apresentou dois orçamentos atualizados, referidos a março/2020, após consultas a fabricantes. Um orçamento, com o menor investimento apresentado, e outro, com a média dos orçamentos apresentados, respectivamente, iguais a US\$ 843,2 milhões e US\$ 997,3 milhões. Nesses orçamentos foram incluídos os 38 transformadores conversores ainda não modernizados do total de 56 transformadores. Excluindo-se os transformadores, que representam cerca de 27% dos orçamentos, os valores totais resultam, respectivamente em US\$ 615,5 milhões e US\$ 728,1 milhões.

Conclusões

- a) Os estudos indicaram que o fator primordial que justifica modernização das conversoras do sistema de transmissão em corrente contínua (CCAT) de Itaipu é a contribuição que esse elo pode proporcionar, a custo competitivo, para o atendimento à crescente necessidade de capacidade de ponta no SIN, a partir da geração da UHE Itaipu, ainda que haja a perspectiva de redução do excedente de energia média a ser exportada do Paraguai para o Brasil.
- b) Por outro lado, considerando: (i) a obsolescência dos equipamentos das conversoras do sistema CCAT de Itaipu pelo seu extenso período de operação; (ii) o que pode acarretar longos períodos de indisponibilidade no caso de falhas pela dificuldade de reposição de peças, com consequente impacto de redução dos níveis de armazenamento do SIN e de aumento do custo de operação particularmente em cenários hidrológicos com chuvas acima da média na região sul; (iii) bem como o fato de que o prazo previsto para a modernização de um bipolo pode atingir 48 meses a partir da contratação do projeto, conforme informações dos fabricantes, julga-se importante que o processo de modernização de um dos bipolos seja iniciado de imediato.
- c) Entende-se que a modernização inicial de apenas um dos dois bipolos de Itaipu seja a estratégia adequada, pois minimiza o arrependimento tendo em vista os cenários que serão estudados no processo de negociação dos termos financeiros do Anexo C do Tratado de Itaipu.
- d) Considera-se que a decisão quanto à modernização do segundo bipolo possa ser tomada em um segundo momento, o que possibilitará incorporar uma investigação mais detalhada sobre a projeção da carga do Paraguai e do seu comportamento quanto à coincidência das demandas máximas do Brasil e Paraguai, uma vez que essa condição é determinante dos excedentes de energia disponíveis para o sistema brasileiro. A importância do segundo bipolo não resulta evidente na hipótese de haver coincidência das citadas demandas máximas.
- e) Quanto à potência nominal das conversoras, entende-se ser mais razoável modernizar/revitalizar as conversoras atuais mantendo a configuração e a potência nominal de cada bipolo (3.150 MW) tendo em vista o maior custo para implantar novas conversoras com uma potência diferente, além da necessidade de uma investigação mais detalhada para sua especificação técnica e avaliação, dentre outros aspectos, tais como a viabilidade física quanto a espaço físico e/ou logística para uma nova instalação.

Observa-se, finalmente, que, embora cogitada como uma perspectiva futura, no sentido de proporcionar flexibilidade para a gestão da utilização da rede CA ou CC para escoar a geração da UHE Itaipu, não se chegou a investigar neste documento a viabilidade de aproveitamento das instalações do sistema em corrente contínua para escoar parte da energia gerada pelas máquinas de 60 Hz da UHE Itaipu. Essa solução se daria mediante uma adequação do arranjo e do projeto dos equipamentos, com especificações e custos a serem determinados de modo a caracterizar o seu custo/benefício.

3 Obsolescência dos equipamentos e necessidade de modernização

Uma ilustração das conexões da usina de Itaipu com as redes em 50 Hz e 60 Hz é mostrado na Figura 3:1 enquanto que a Figura 3:2 mostra de forma esquemática as estações conversoras e as linhas de transmissão do sistema em corrente contínua em alta tensão (CCAT).

Sistema de transmissão de Itaipu

Conexões da usina com as redes em 50 Hz e 60 Hz

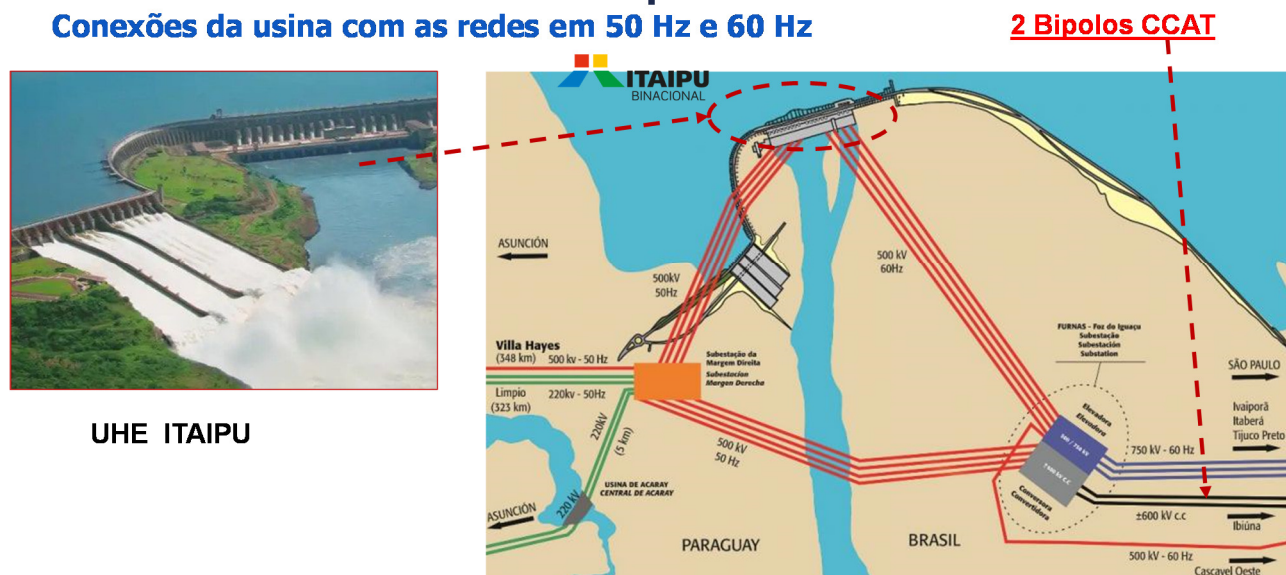


Figura 3:1: Conexões da UHE Itaipu com as redes em 50 Hz e 60 Hz

Sistema de transmissão CCAT de Itaipu

2 Bipolos CCAT: conversoras e linhas de transmissão (2 x 3.150 MW)

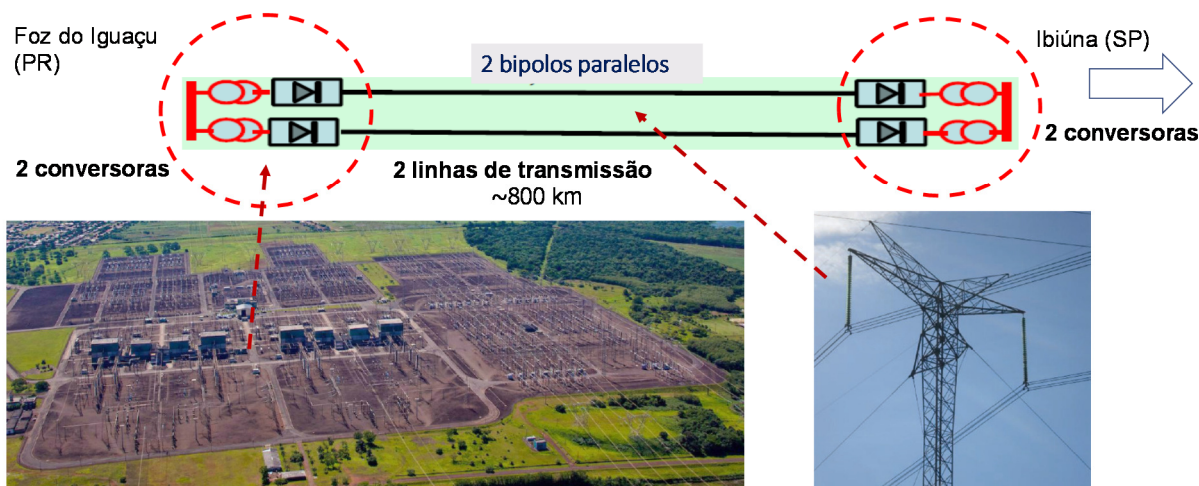


Figura 3:2 - Ilustração esquemática do sistema de transmissão em corrente contínua

Os bipolos 1 e 2 de Itaipu iniciaram sua operação em 1984 e 1987, respectivamente, atingindo, portanto, cerca de 35,5 anos (bipolo 1) e 33 anos (bipolo 2).

Tais valores são bastante superiores aos da experiência internacional quanto à idade média de bipolos CCAT até o momento de sua modernização, da ordem de 26 anos, segundo a pesquisa apresentada por Furnas em sua proposta de modernização dos bipolos de Itaipu, abrangendo todos os fabricantes tradicionais de CCAT.

À medida que se ultrapassa a vida útil dos componentes do sistema, aumenta-se o risco de as indisponibilidades por saídas não programadas se tornarem cada vez mais demoradas.

A título de exemplo, em abril de 2014 ocorreu sinistro na válvula tiristora da Conversora 1 do sistema CCAT de Itaipu, e o período necessário para reparo foi de 361 dias. Na ocasião, foi informado pelo fabricante do equipamento que, na ocorrência de novos sinistros em componentes já obsoletos, seriam necessários cerca de 500 dias para reparo, em função da necessidade de fabricação de itens atualmente fora de linha.

Com base nessa experiência foi efetuada pelo ONS, por solicitação da SPE/FMME, uma análise de sensibilidade quanto ao impacto sobre o sistema interligado nacional da indisponibilidade de um ou de ambos os bipolos de Itaipu, considerando uma interrupção de potência por 12 ou 18 meses. [XIII, março/2020].

Constatou-se que os impactos sobre o SIN da indisponibilidade de um e de dois bipolos das instalações do sistema de Itaipu variam em função dos cenários hidrológicos que venham a ocorrer, conforme resumido a seguir:

- Caso ocorram chuvas próximas da média dos últimos cinco anos (cenário base):
 - A disponibilidade de apenas um bipolo não acarretaria perdas significativas de armazenamento e, conseqüentemente, de segurança para o SIN. Ficariam os impactos restritos ao custo total de operação e ao despacho térmico, sendo que o custo de operação pode ser majorado em 0,3% em dezoito meses.
 - Caso haja a indisponibilidade dos dois bipolos, pode-se perder 6,8% de armazenamento no subsistema Sudeste, em dezoito meses, além de uma elevação dos custos totais de operação da ordem de 4% no mesmo período.
- Caso ocorram chuvas próximas da média dos últimos cinco anos no SIN e bastante abaixo da média no Sul (60% da MLT):
 - A indisponibilidade dos dois bipolos não acarreta perdas significativas de armazenamento e, conseqüentemente, de segurança para o SIN. O custo total de operação também fica bastante próximo em todos os casos, dentro do intervalo de confiança dos modelos energéticos. Na ocorrência de vazões desta ordem, não haveria perdas relevantes do ponto de vista energético.
 - Entretanto, poderão ocorrer problemas de disponibilidade de potência vinculados à indisponibilidade dos elos de corrente contínua.
- Caso ocorram chuvas próximas da média dos últimos cinco anos no SIN e bastante acima da média no Sul (180% da MLT):

- A disponibilidade de apenas um bipolo já acarreta perdas significativas de armazenamento no subsistema Sudeste, chegando a uma diferença de 5,4% em dezoito meses. Nessa hipótese, o custo total de operação seria majorado em 1,3% em dezoito meses.
- Considerando a indisponibilidade dos dois elos, a diferença de armazenamento salta para 14,7%. Neste caso, o custo total de operação seria majorado em 5,3% do custo total de operação do período.

A experiência internacional mostra que não vale a pena esperar que os equipamentos se danifiquem, por final de vida útil, para se decidir o momento de se fazer uma modernização. Essas questões estão evidenciadas em publicações de relevância internacional dentre as quais são destacadas as referências [XIV] e [XV].

Considerando a obsolescência dos equipamentos das conversoras do sistema em corrente contínua de Itaipu pelo seu extenso período de operação, bem como o fato de que o prazo previsto para a modernização de um bipolo pode atingir 48 meses a partir da contratação do projeto, conforme informações dos fabricantes, e, por outro lado, a contribuição que os elos em corrente contínua de Itaipu podem proporcionar, a custos competitivos, para o atendimento à demanda do SIN, conforme é demonstrado no capítulo que se segue, julga-se importante que o processo de modernização de um dos bipolos seja iniciado de imediato.

4 Contextualização eletroenergética

A exportação de energia produzida pela UHE Itaipu através do sistema composto por dois bipolos ± 600 kVcc, com capacidade nominal de 6.300 MW (2×3.150 MW), apresenta uma perspectiva de redução gradual no futuro. Essa situação pode se dar tendo em vista o crescimento econômico do Paraguai que redundaria em um aumento de sua demanda energética, tendo como consequência a redução do excedente que pode ser exportado para o Brasil, ou mesmo, por eventuais outros cenários estratégicos do Paraguai quanto à destinação da energia gerada pelas máquinas a 50 Hz da usina. Nessas condições, resultariam valores decrescentes de fluxos de potência nesses elos de corrente contínua.

Por outro lado, existe a proposta de realização de investimentos associados à modernização das conversoras dos elos CCAT de Itaipu, podendo inclusive surgir a oportunidade para uma nova configuração e potência nominal do sistema a ser modernizado. Frente a essa possibilidade torna-se necessária a análise eletroenergética da importância dessa estrutura de escoamento para a SIN no horizonte de médio/longo prazo.

Para as simulações da operação, foi tomada como referência a seguinte configuração da interconexão entre a UHE Itaipu e os subsistemas Sul/SE-CO do Brasil:

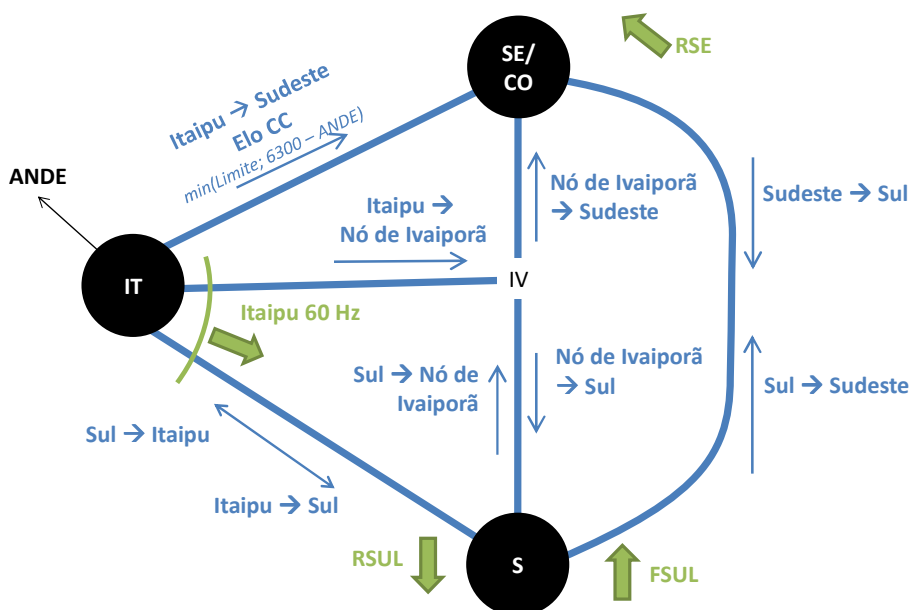


Figura 4.1: Representação das interconexões entre Itaipu e os subsistemas Sul e Sudeste

4.1 Horizonte de curto/médio prazo (ONS)

Realizou-se uma avaliação energética, adotando-se o modelo NEWAVE, em sua versão 25, dentro do horizonte de curto/médio prazo (2019 a 2023), das possíveis configurações que podem ser indicadas para a modernização do elo de corrente contínua que escoar a energia da UHE Itaipu. Foram utilizadas, como base, todas as premissas presentes no Plano da Operação Energética 2019/2023 - PEN 2019, que tem seu detalhamento registrado no relatório “DPL-REL-0183-2019_PEN 2019 - Vol II- Relatório Complementar”, disponível no site eletrônico do ONS.

As avaliações foram baseadas em simulações energéticas, divididas em três casos, sendo um de referência e dois de sensibilidade, conforme descrito a seguir:

- Caso de Referência do PEN (CR): tem o intercâmbio da UHE Itaipu para o subsistema Sudeste/Centro-Oeste modelado de forma a representar o escoamento de 2 bipolos com capacidade total de 2×3.150 MW = 6.300 MW;
- Caso 1: tem o intercâmbio da UHE Itaipu para o subsistema Sudeste/Centro-Oeste modelado de forma a representar o escoamento de 1 bipolo com capacidade de 4.000 MW. Corresponde à hipótese de construção de um novo bipolo, substituindo os atuais, com potência superior à de um deles;
- Caso 2: tem o intercâmbio da UHE Itaipu para o subsistema Sudeste/Centro-Oeste modelado de forma a representar o escoamento de 1 bipolo com capacidade de 3.150 MW. Corresponde à hipótese de se modernizar apenas um dos bipolos atuais ou, caso a modernização ocorra em etapas sequenciais, a configuração da primeira etapa de revitalização.

As simulações realizadas com o uso do modelo NEWAVE consideraram 2000 séries hidrológicas sintéticas. A avaliação consistiu na análise dos custos marginais de operação, custos totais de operação em todo o horizonte de estudo e fluxo nos intercâmbios resultantes da geração em 50 Hz através do Elo CC e da geração 60 Hz através da soma dos intercâmbios Itaipu → Sul e Itaipu → Ivaiporã (conforme Figura 4:1).

Os resultados obtidos para o custo marginal de operação (CMO) médio do subsistema SE/CO para os três casos avaliados em todo o horizonte de estudo e a diferença de CMO com relação ao Caso de Referência encontram-se na Figura 4:2. A maior diferença observada entre o CMO médio do CR e o Caso com 1 bipolo de 4.000 MW é de aproximadamente 15,00 R\$/MWh e o Caso com 1 bipolo de 3.150 MW é de 14,00 R\$/MWh.

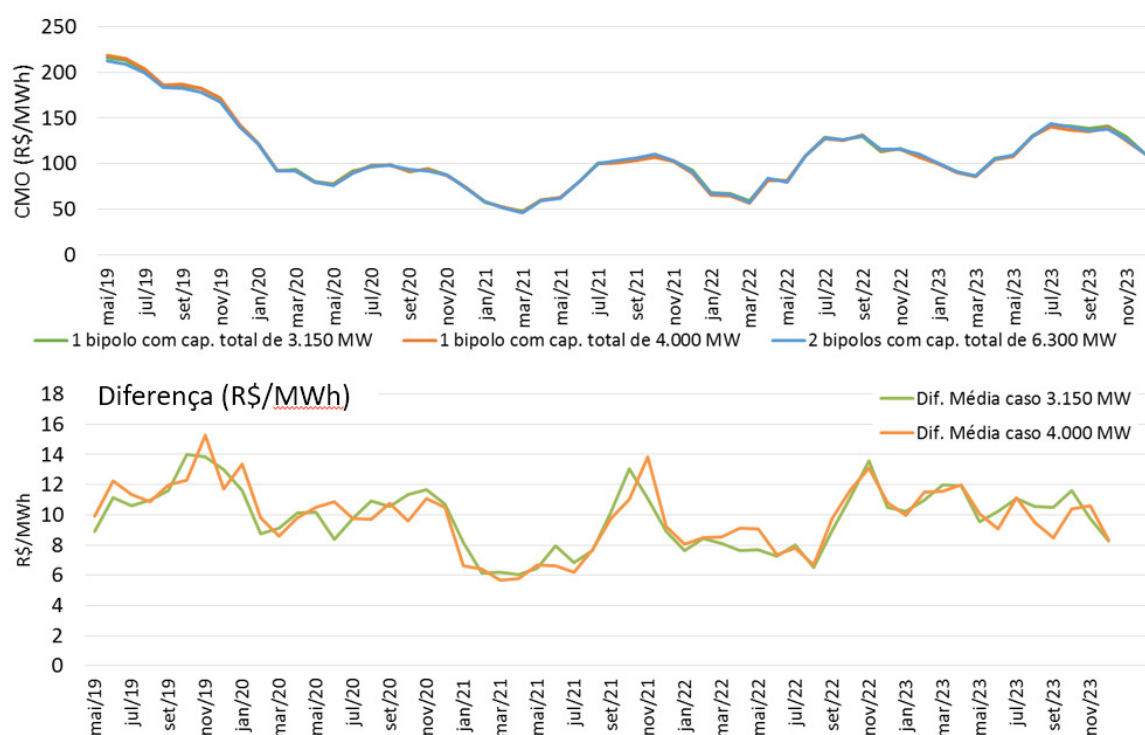


Figura 4:2: Custo Marginal de Operação Médio - Sudeste/Centro-Oeste

A comparação do custo total de operação, referente ao valor esperado do custo de geração térmica em todo o horizonte de 5 anos, encontra-se na Figura 4:3.

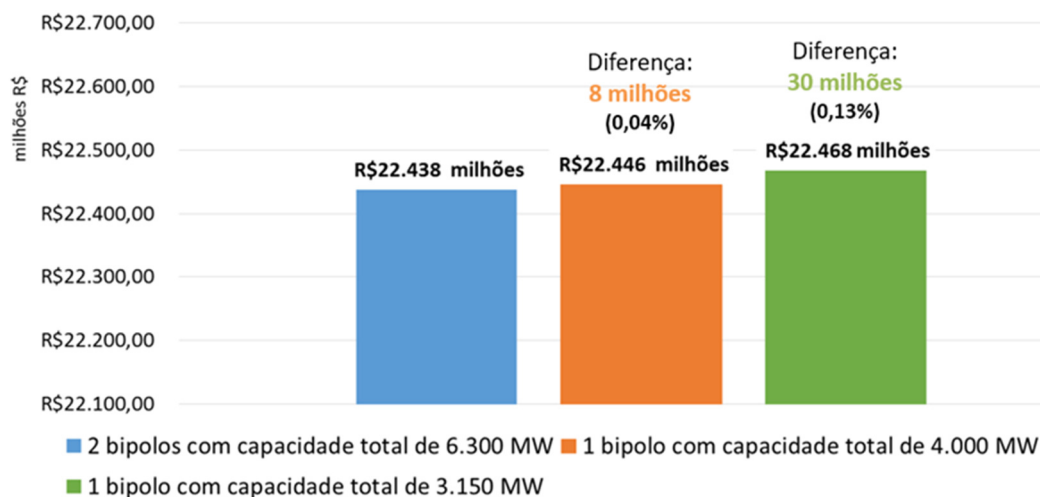


Figura 4:3: Custo Total de Operação – 2019 a 2023

Pela avaliação energética realizada, a elevação média esperada dos custos de operação foi de R\$ 8 milhões (0,04%) considerando 1 bipolo com capacidade de 4.000 MW, em relação ao caso base, e de R\$ 30 milhões, considerando a simulação de 1 bipolo com capacidade de 3.150 MW.

Os resultados apresentados na Figura 4:4 apresentam os fluxos de intercâmbio no elo CC, correspondentes à condição de carga de patamar pesado no último ano do horizonte de estudo (2023), que foi o ano com os montantes de fluxos de intercâmbio mais elevados.

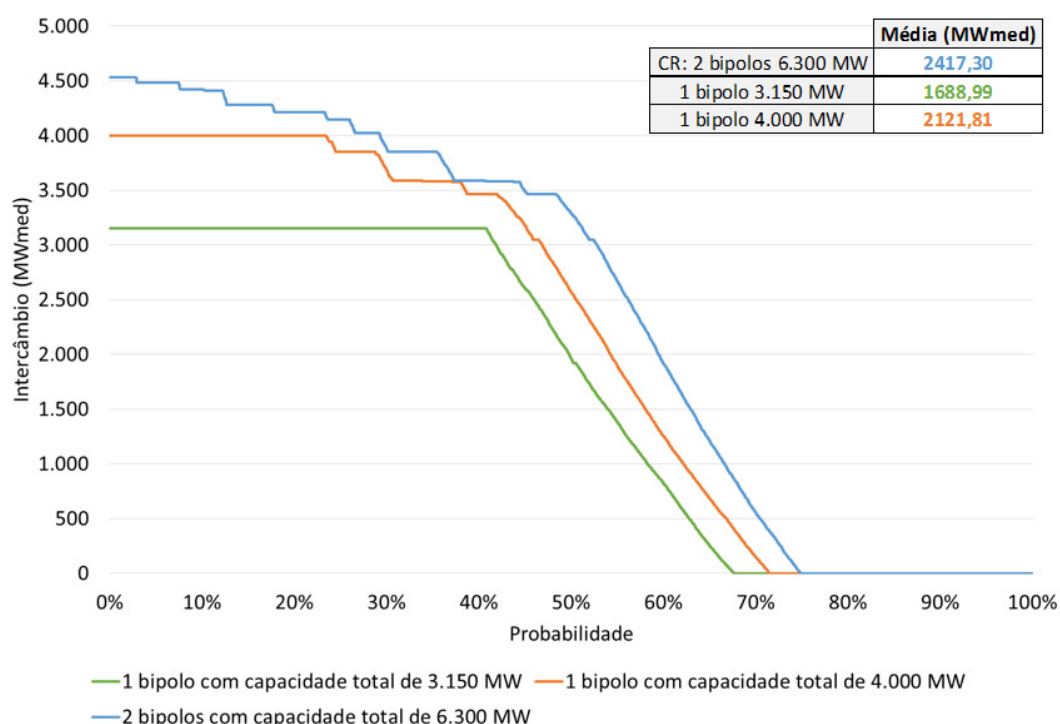


Figura 4:4: Curva de Permanência do Fluxo no Intercâmbio no Elo CC: Patamar Pesado – 2023

Os resultados apresentados na Figura 4:5, a seguir, apresentam os fluxos de intercâmbio no trecho Itaipu 60Hz, conforme representado na Figura 4:1, correspondentes à condição de carga de patamar pesado no último ano do horizonte de estudo (2023).

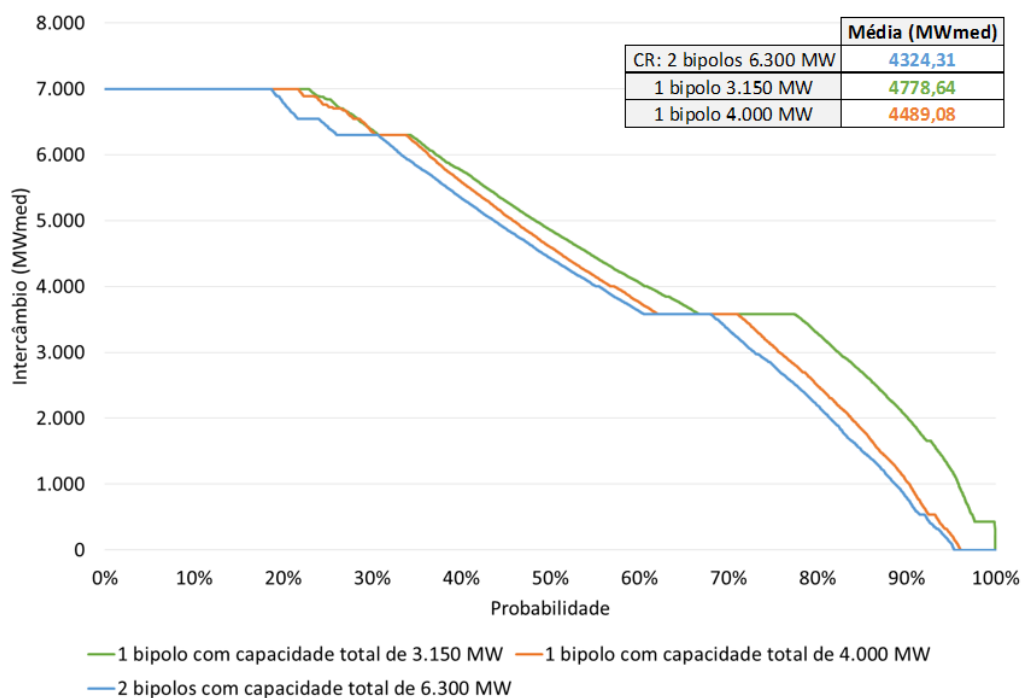


Figura 4:5: Curva de Permanência do Fluxo no Intercâmbio Itaipu 60 Hz: Patamar Pesado - 2023

Adicionalmente, realizou-se uma avaliação do atendimento à demanda ao longo de um dia, para cada mês do horizonte de 5 anos, fornecendo ainda o cálculo da disponibilidade de potência e o custo adicional ao despacho por ordem de mérito (sob a forma de encargos), identificando-se possíveis congestionamentos nos intercâmbios entre os subsistemas. Os dados utilizados, bem como a descrição da metodologia empregada, encontram-se no Plano da Operação Energética 2019/2023 - PEN 2019, que tem seu detalhamento registrado no relatório “DPL-REL-0183-2019_PEN 2019 - Vol II- Relatório Complementar”, disponível no sítio eletrônico do ONS.

Buscando uma avaliação mais conservadora das condições de atendimento à demanda máxima do SIN, considerou-se um cenário crítico de potência disponível para as usinas hidroelétricas do SIN, correspondente à repetição das afluências do ano de 2016 em cada ano do horizonte 2019-2023. A série histórica de 2016 é caracterizada como uma série crítica, especialmente para as usinas a fio d’água, como a UHE Belo Monte.

Destaca-se que, com relação ao subsistema Nordeste, foi considerada, como disponibilidade hidroelétrica, um montante de potência equivalente à operação das usinas hidroelétricas do rio São Francisco em uma defluência fixa de 800m³/s, podendo essas usinas operar em uma vazão maior apenas como o último recurso para o atendimento da demanda horária.

Na avaliação realizada, a contribuição das usinas termoeletricas para o atendimento aos requisitos de demanda é compatível com a inflexibilidade, despacho por ordem de mérito e disponibilidade resultantes das simulações dos cenários de disponibilidade hidráulica com o modelo SUISHI.

Dessa maneira, durante a avaliação do atendimento à demanda, pode ser necessário fazer uso de montantes de geração termoeletrica acima daqueles definidos por mérito, ou seja, que não foram despachados na simulação energética do modelo SUISHI.

Nesta simulação, foi considerada a Reserva de Potência Operativa – RPO, que é a quantidade de geração que deve estar disponível, sincronizada de forma a assegurar o controle adequado da frequência do sistema elétrico e dos intercâmbios, insumo fundamental para a manutenção da segurança operacional elétrica, pois mitiga os riscos de não atendimento e garante margem para atuação eficaz do controle automático de geração. Com relação ao subsistema Nordeste, considerou-se uma reserva operativa para absorver, além dos desvios na previsão de carga e perdas em unidades geradoras, os desvios da geração eólica prevista. Essa reserva é feita através dos limites de recebimento de potência pela região Nordeste (RNE), em montante igual a 5% da demanda do subsistema Nordeste mais 6% da previsão da geração eólica, conforme política operativa adotada na programação diária da operação.

A UHE Itaipu foi representada individualmente para possibilitar maior detalhamento das restrições dos fluxos de intercâmbios entre as regiões SE/CO e Sul.

Para cada mês do horizonte de estudo, foram realizadas simulações com cenários diários de geração, construídos a partir da combinação das séries coincidentes de geração eólica e fotovoltaica de diferentes subsistemas. Dessa forma, considera-se em torno de 30 cenários mensais de geração eólica e solar horária, variando de acordo com a quantidade de dias de cada mês.

Nesta avaliação, foram consideradas as perdas de potência das usinas hidroelétricas em função da alteração na altura de queda e da disponibilidade hídrica (para usinas em rios sem capacidade de regularização), e o despacho das usinas termoeletricas para atendimento energético com os respectivos custos marginais de operação, através de simulações de cada cenário hidrológico com o programa SUISHI. Dessa forma, além da avaliação da viabilidade de atendimento à demanda horária, também é possível fazer uma estimativa do custo de operação adicional para esse atendimento, mensurando os encargos decorrentes do despacho termoeletrico acima do mérito econômico.

A Tabela 4-1 apresenta os resultados para um dia do mês de outubro de 2023, que é o mais crítico do horizonte deste estudo (2019 a 2023). Nestes resultados podemos identificar que existe uma pequena diferença, da ordem de 2% na avaliação do SIN, entre o cenário de referência, com a disponibilidade atual de 6.300 MW de capacidade de transmissão, e o cenário com apenas um bipolo de 4000 MW.

Tabela 4-1: Custo com Geração Térmica, despacho por mérito e fora da ordem de mérito - Cenário mais crítico – Sensibilidade com um bipolo de 4000 MW

Subsistema	Mês	Caso de Referência PEN	1 bipolo com capacidade de 4.000 MW	Diferença Absoluta	Diferença Relativa
SE/CO	out/2023	R\$ 30.675.657,37	R\$ 31.302.057,45	R\$ 626.400,08	2,04%
SUL	out/2023	R\$ 4.255.221,26	R\$ 4.255.221,26	R\$ -	0,00%
NORDESTE	out/2023	R\$ 17.273.186,94	R\$ 17.788.408,37	R\$ 515.221,43	2,98%
NORTE	out/2023	R\$ 6.929.896,77	R\$ 6.967.915,31	R\$ 38.018,54	0,55%
SIN	out/2023	R\$ 59.133.962,33	R\$ 60.313.602,40	R\$ 1.179.640,07	1,99%

Nos resultados que comparam o cenário de referência, com a disponibilidade atual de 6.300 MW de capacidade de transmissão, e o cenário com apenas um bipolo de 3.150 MW, conforme apresentado na Tabela 4-2, a seguir, identifica-se que existe uma grande diferença nos custos totais de operação para o dia estudado, da ordem de 12% na avaliação do SIN.

Tabela 4-2: Custo com Geração Térmica, despacho por mérito e fora da ordem de mérito - Cenário mais crítico – Sensibilidade com um bipolo de 3.150 MW

Subsistema	Mês	Caso de Referência PEN	1 bipolo com capacidade de 3.150 MW	Diferença Absoluta	Diferença Relativa
SE/CO	out/2023	R\$ 30.675.657,37	R\$ 33.911.249,53	R\$ 3.235.592,16	10,55%
SUL	out/2023	R\$ 4.255.221,26	R\$ 4.296.969,14	R\$ 41.747,88	0,98%
NORDESTE	out/2023	R\$ 17.273.186,94	R\$ 20.886.314,07	R\$ 3.613.127,13	20,92%
NORTE	out/2023	R\$ 6.929.896,77	R\$ 7.139.289,67	R\$ 209.392,90	3,02%
SIN	out/2023	R\$ 59.133.962,33	R\$ 66.233.822,40	R\$ 7.099.860,07	12,01%

Os resultados da avaliação do atendimento à demanda máxima mostram que, nos cenários simulados, existe a necessidade de despachos termoeletrônicos adicionais aos estabelecidos pelo modelo de otimização energética, que incluem usinas a óleo/diesel. Mesmo havendo disponibilidade de potência na UHE Itaipu nas horas de ponta, que seria uma alternativa de menor custo de geração, devido a menor disponibilidade de transmissão no caso de sensibilidade com o bipolo restrito em 3.150 MW (metade da capacidade atual), haveria a ocorrência de custos de geração elevados nestes cenários simulados.

Por fim, tendo em vista as avaliações no horizonte de curto/médio prazo, fica evidenciado que, dentro deste horizonte, não há impactos energéticos relevantes com a redução da capacidade do bipolo de corrente contínua que transmite energia da UHE Itaipu. Entretanto, numa avaliação de balanço de demanda, com granularidade horária, uma redução severa, para valores próximos a metade do que atualmente está disponível, pode acarretar elevados custos associados a despachos térmicos para mitigar a redução de disponibilidade de potência que esta usina agrega ao SIN.

4.2 Horizonte de médio/longo prazo (EPE)

Para capturar os efeitos da redução do excedente de energia do Paraguai a ser enviado para o Brasil, o estudo foi desenvolvido considerando o horizonte de 10 anos do PDE 2029.

Ao longo das análises, o modelo NEWAVE foi utilizado para realizar simulações da operação do SIN considerando 2000 séries hidrológicas, tendo por base a projeção de demanda para 4 patamares de carga (pesada, média, leve e ponta) e a expansão da configuração do sistema conforme planejado no cenário de referência do PDE. Dessa forma, foi possível abordar a incerteza associada à hidrologia e elaborar cenários de fluxos de intercâmbio via elos de Itaipu.

Dentro desse contexto, com o foco no ano horizonte de 2029, foi analisada a permanência dos fluxos de intercâmbio nos elos que conectam a usina ao subsistema Sudeste/Centro-Oeste considerando as duas configurações a seguir:

- (i) Caso de Referência, considerando o uso dos dois bipolos, e
- (ii) Caso alternativo, analisado a título de sensibilidade, com a limitação de capacidade de intercâmbio de 3.150 MW, representando a utilização de um único bipolo entre os subsistemas.

Para ambas as configurações, a análise contemplou duas avaliações, sendo uma focada na avaliação da média dos fluxos energéticos para os 4 patamares de carga referidos anteriormente, e outra focada especificamente nos fluxos no patamar de ponta. Esta última avaliação foi motivada pela perspectiva da expressiva expansão de fontes com elevada variabilidade, como solar e eólica, indicada no horizonte do PDE 2029, com consequente necessidade de uma crescente expansão da capacidade de suprimento de ponta do sistema, também evidenciada naquele Plano.

Como referência inicial para as análises, considerou-se que a demanda máxima do Paraguai não ocorre no período de ponta do sistema brasileiro, premissa também adotada no PDE 2029. Supõem-se que as características do consumo de eletricidade e do fuso-horário dos países contribuam para validar essa hipótese dentro do horizonte 2029. Outra forma de interpretar essa premissa seria considerar que os períodos de ponta dos países são coincidentes, porém, admitindo-se uma maior participação de outras usinas paraguaias no atendimento à demanda máxima local.

Na sequência das análises, conforme a seguir descrito, foi também efetuada uma avaliação de sensibilidade dos resultados para a hipótese de haver coincidência dos horários das demandas máximas dos dois países.

A Tabela 4-3 apresenta os valores médios projetados no âmbito do PDE 2029, e considerados nesse estudo, para o suprimento de energia do mercado paraguaio via UHE Itaipu. De uma forma geral, estima-se que esse suprimento cresça cerca de 5,4% a.a.

Tabela 4-3: Suprimento de Itaipu para o mercado paraguaio

Ano	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Mercado (MWmédios)	1.591	1.673	1.759	1.850	1.948	2.053	2.164	2.282	2.408	2.542	2.685

Os resultados obtidos para a média dos fluxos escoados para o sistema brasileiro a partir dos bipolos de Itaipu nos 4 patamares são ilustrados na Figura 4:6, cuja observação permite as seguintes constatações:

- Caso de Referência:
 - Ainda que a utilização dos elos não chegue ao seu limite máximo de escoamento (6.300 MW), verifica-se que em cerca de 30% dos cenários hidrológicos a utilização dessa interligação é superior a 3.150 MW, que corresponde ao limite de apenas um elo.
 - Dessa forma, conclui-se que não seria possível escoar todo o excedente do Paraguai para o Brasil sem as duas linhas.
- Caso alternativo:
 - Com o sistema é composto por apenas 1 bipo, o modelo de otimização da operação dos reservatórios busca um novo ponto de operação, no qual, em cerca de 15% dos cenários, esta interligação é utilizada em seu limite máximo, mostrando que existe uma limitação para o escoamento da usina de Itaipu.
 - Embora não ilustrado, pode-se depreender que com um único bipo, com capacidade intermediária entre 3.150 e 6.300 MW (ou dois bipolos com potência individual menor que 3.150 MW) seria possível a utilização desse elo com reduzido % de cenários com limitação dos intercâmbios médios. Contudo, para a definição dessa nova capacidade nominal, a análise deve contemplar também o atendimento à ponta do sistema, o que é feito a seguir.

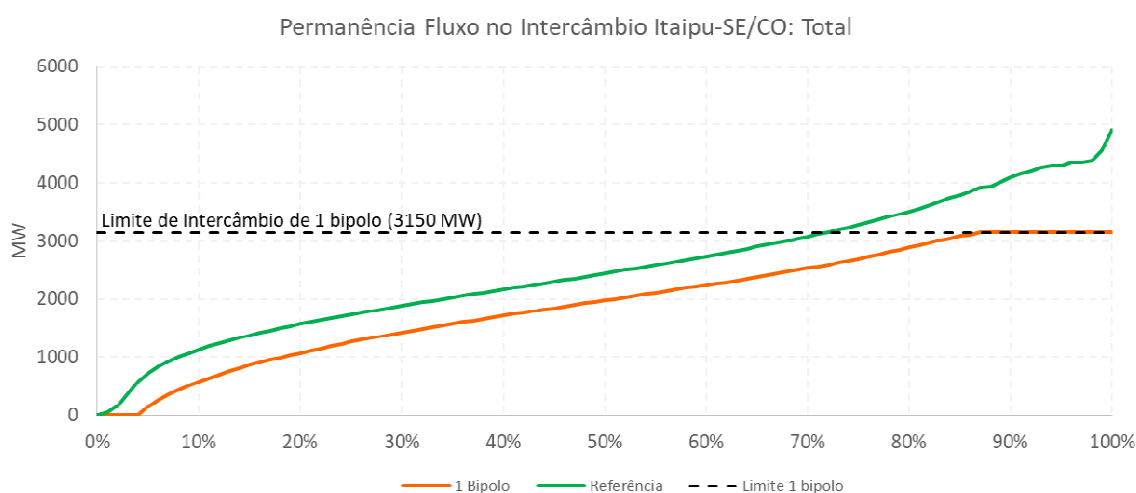


Figura 4:6: Permanência do fluxo de intercâmbio em 2029 para a média dos 4 patamares

Os resultados obtidos para os fluxos nos bipolos de Itaipu para o patamar de ponta são ilustrados na Figura 4:7. A partir desses resultados, observam-se os seguintes pontos:

- Para cerca de 90% dos cenários hidrológicos existe a necessidade de importação de uma capacidade superior a 3.150 MW, correspondente ao limite de apenas um dos bipolos.

- Por outro lado, para cerca de 35% dos cenários hidrológicos registra-se a necessidade de importação de uma capacidade máxima da ordem de 5.000 MW, correspondente ao limite dos excedentes da UHE Itaipu nas condições e premissas consideradas. Antecipa-se que esse valor de potência nominal poderia ser a referência para o estudo de uma nova configuração de conversoras (com um ou dois bipolos), caso se venha a cogitar de construir uma nova instalação, ao invés de modernizar/revitalizar a existente.
- Evidencia-se, pela análise do patamar de ponta, com a premissa da não coincidência dos horários em que ocorrem as demandas máximas dos sistemas brasileiro e paraguaio, a importância de ambos os bipolos para viabilização do atendimento à demanda de potência instantânea do SIN. Ou seja, caso se disponha da capacidade de apenas um bipolo, resulta que em cerca de 90% dos cenários hidrológicos não seria possível efetivar o escoamento de todo o excedente da usina de Itaipu no patamar de ponta para atendimento à demanda do SIN.

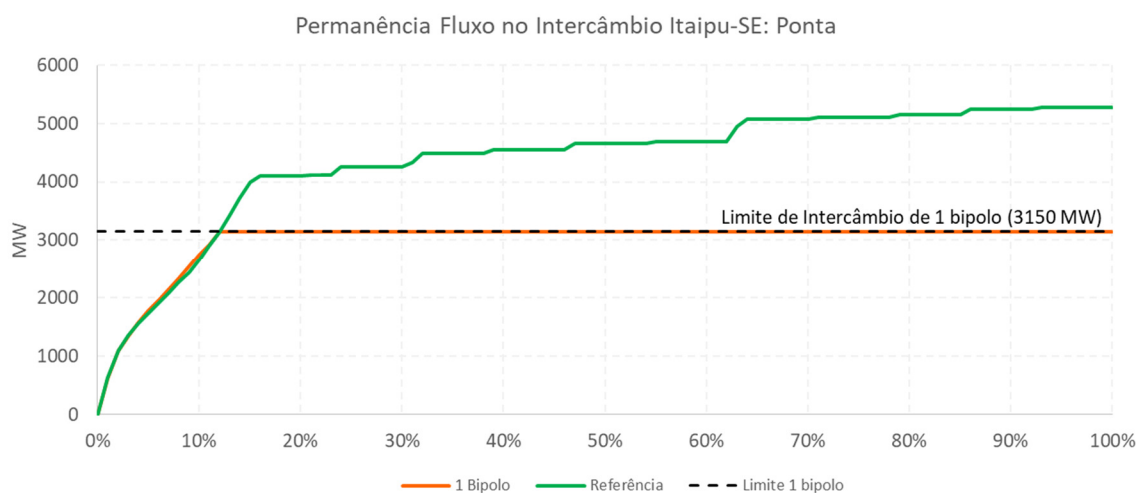


Figura 4.7: Permanência do fluxo de intercâmbio em 2029 para o patamar de ponta

Análise de Sensibilidade

Os resultados anteriores evidenciam a importância do uso dos bipolos para a injeção de potência no SIN baseando-se na premissa de que as demandas máximas dos sistemas brasileiro e paraguaio ocorrem em momentos não simultâneos, como adotado no PDE 2029.

Considerando as incertezas quanto ao perfil da carga do Paraguai (situação atual e evolução), julgou-se importante realizar uma análise de sensibilidade a fim de verificar se as conclusões anteriores permanecem válidas para outras hipóteses mais restritivas, considerando que as demandas máximas dos países sejam coincidentes, o que reduz os excedentes de Itaipu para o escoamento ao Brasil.

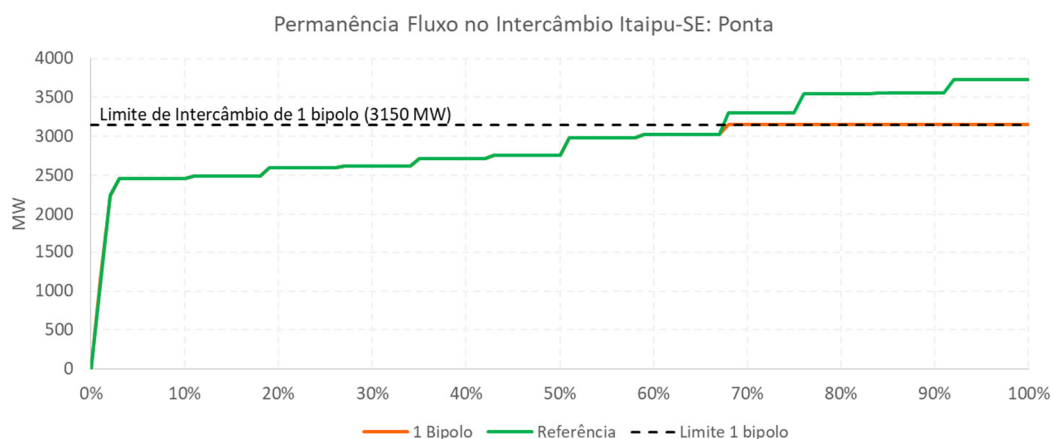
Dentro desse contexto, a Tabela 4-4 apresenta uma estimativa para a demanda mensal do Paraguai a ser atendida por Itaipu, no horário de ponta do Brasil, no ano de 2029. Dois valores são apresentados para cada mês desse ano, cada qual considerando ou não a coincidência dos horários de ponta dos sistemas paraguaio e brasileiro.

Tabela 4-4: Demanda máxima do Paraguai (MW) no horário de ponta do Brasil, simultânea ou não à demanda máxima do Brasil, ano 2029

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Não simultânea	2371	2399	2009	1841	1394	1227	1255	1339	1422	1813	1952	2231
Simultânea	4406	4510	4291	4016	3451	3277	3444	3697	3979	4380	4245	4547
(Simultânea - Não Simultânea)	2035	2111	2282	2175	2057	2050	2189	2358	2557	2567	2293	2316

Observa-se que ao se considerar a simultaneidade das demandas, no momento de demanda máxima do SIN o sistema paraguaio também apresenta uma elevada demanda, implicando em uma redução do excedente do Paraguai a ser exportado para o Brasil que pode chegar a cerca de 2.500 MW.

Os resultados obtidos para os fluxos nos bipolos de Itaipu para o patamar de ponta, considerando essa hipótese mais restritiva de excedentes do Paraguai, são ilustrados na Figura 4:8.

**Figura 4:8: Permanência do fluxo de intercâmbio entre Itaipu e SE/CO: Ponta (2029)**

Podem ser observados os seguintes pontos:

- Apesar da redução dos fluxos nos bipolos nesse novo cenário, o que já era esperado, permanece a importância de se dispor da capacidade de transferência de pelo menos um dos bipolos para a viabilização do atendimento à demanda de potência instantânea do SIN.
- Para cerca de 30% dos cenários hidrológicos, observa-se a necessidade de importação de uma capacidade superior ao limite de apenas um dos bipolos. Porém, por não se tratar de um quantitativo expressivo de cenários, a importância do segundo bipolo não se mostra tão evidente, demandando análises mais específicas para um melhor juízo, incluindo um maior detalhamento do comportamento da carga do Paraguai.

Ponderando-se estes últimos resultados com aqueles obtidos anteriormente, considerando a não coincidência das cargas máximas do Paraguai e do Brasil, podem ser deduzidas as seguintes conclusões em relação à oportunidade de modernização dos bipolos de Itaipu:

- Não há dúvidas quanto à importância de um dos bipolos de Itaipu para o atendimento à ponta do sistema brasileiro nos próximos anos. Assim, não há arrependimento em se realizar a modernização de um dos bipolos.

- Entende-se que a decisão quanto à modernização do segundo bipolo pode ficar mais para frente e depende de uma investigação mais profunda do comportamento da carga do Paraguai, uma vez que esse parâmetro impacta bastante os excedentes de energia disponíveis para o sistema brasileiro.

Comentários adicionais:

De forma geral, a análise efetuada para o horizonte de 2029 mostra que, não obstante a perspectiva de redução do excedente de energia média a ser exportada do Paraguai para o Brasil, há, por outro lado, um aumento dos requisitos de capacidade de potência no SIN, decorrente da participação de fontes renováveis com expressiva variabilidade, sendo o sistema CCAT de Itaipu importante para contribuir para esse suprimento de ponta.

Ao possibilitar a injeção de potência junto ao centro de carga do sistema, os bipolos constituem uma fonte de suprimento de custo significativamente inferior ao de outras fontes. A título de ilustração, o PDE 2030, em elaboração, considera como referência para a expansão de oferta de capacidade de potência usinas termelétricas 100% flexíveis, com custo de investimento da ordem de R\$ 3.400/kW.

Ou seja, para que seja garantido o atendimento à demanda do SIN, a capacidade que não possa ser escoada ao sistema brasileiro através dos bipolos deverá ser compensada com outras alternativas de atendimento, como, por exemplo, a instalação de termelétricas a gás natural, acarretando em um aumento do custo de geração para o sistema.

Já a modernização dos bipolos de Itaipu, de acordo com dados apresentados por FURNAS, sintetizados no item 5.3, corresponde a um valor de investimento da ordem de R\$ 655/kW a R\$ 755/kW.

5 Contextualização técnica

5.1 Síntese

Com base nos documentos e informações coletadas, na reunião com Furnas e em reuniões com três fabricantes com experiência em modernização de sistemas CCAT (NR Electric/NARI, Siemens e ABB), além de esclarecimentos adicionais prestados por Furnas (solicitados através do ofício nº 12/2020/DPE/SPE-MME), as principais constatações levantadas, relativas às possibilidades e alternativas de modernização dos elos CCAT de Itaipu (modernização significando *refurbishment* ou revitalização), foram as seguintes:

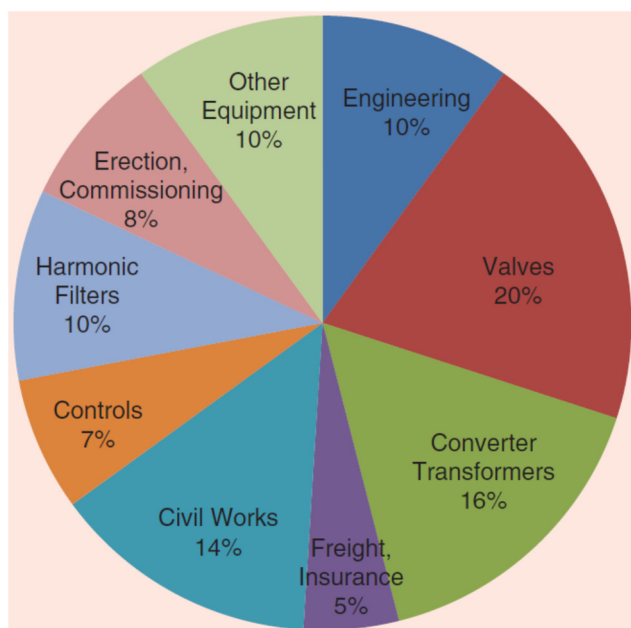
- Na modernização, o fabricante das conversoras atuais leva uma grande vantagem na competição com outros fabricantes por conhecer os detalhes das instalações, suas especificações e características de projeto (engenharia do projeto).
- Para os demais fabricantes, no caso de modernização, é mandatório acesso aos detalhes do projeto e inspeção das instalações, com extensão de prazo para o adequado nivelamento de conhecimento e simetria de informações, com livre acesso a dados e especificações originais (*open book*).
- A modernização dos dois bipolos pode ser realizada em etapas, iniciando-se por um deles, com intervalo de tempo entre as etapas a ser estabelecido. Essas modernizações podem ser feitas em um único contrato, ou em contratos distintos.
- Como alternativa à modernização, poderão ser implantadas conversoras completamente novas e nesse caso o custo deverá ser bem mais elevado.
- A alternativa com conversoras completamente novas propiciará mais competição entre fabricantes, mas com uma estimativa de preço bem maior que a sua modernização.
- A decisão de modernizar ou comprar transformadores conversores novos pode levar a diferentes alternativas, no tocante à potência dos elos ou mesmo aos modos de operação.
- Dentre as premissas consideradas por Furnas:
 - i) A modernização dos transformadores conversores poderá restabelecer a vida útil desses equipamentos por mais 35 anos, mas a garantia está limitada a 5 anos, com equipamentos que vêm sendo modernizados por Furnas há 15 anos, sem problemas técnicos observados. A modernização em campo pode ser realizada, atendendo às exigências técnicas e pode representar vantagens econômicas, em função de redução no custo de transporte. No entanto, alguns testes pós modernização não podem ser realizados em campo.
 - ii) As linhas de transmissão em ± 600 kV e linhas dos eletrodos de terra, não foram incluídas na proposta de modernização apresentada por Furnas, mas apresentam desgastes compatíveis com suas idades (entre 35 e 32 anos), corrigidos nos programas de manutenção. Entretanto, para se conhecer o escopo de modernização dessas linhas para operação por mais 30 anos, de forma a torná-las compatíveis com as instalações modernizadas das conversoras é recomendado uma inspeção técnica detalhada.
 - iii) Para o estado atual dos eletrodos de terra e ações para avaliar e prorrogar sua vida útil, Furnas indicou um conjunto de ações que pretende implementar para avaliar e prorrogar a vida útil, sem explicitar o estado atual. É esperado que tenham sofrido desgastes com a operação e ações de modernização serão necessárias para recuperá-los.

- iv) No que se refere aos equipamentos do lado CA da conversora, com exceção dos filtros, não estão incluídos na proposta de modernização, a despeito do envelhecimento. Com base nos esclarecimentos adicionais prestados por Furnas para as chaves seccionadoras CA, a previsão dessa é realizar de forma gradativa, em função da necessidade, ou em um escopo independente. A cadeia de suprimentos para equipamentos do lado CA da conversora é ampla no Brasil e muitos dos componentes podem ser adquiridos facilmente no mercado nacional.
- Dos três fabricantes consultados quanto à experiência na modernização de sistemas CCAT, NR Electric/NARI apresenta, relativamente, menor experiência tanto em número de modernizações como em escopo.
 - Nas reuniões com EPE/ONS, a NR Electric/NARI não apresentou proposta específica para a modernização dos bipolos de CCAT.
 - Já a SIEMENS apresentou três propostas: i) com nova topologia e equipamentos totalmente novos, ii) considerando a mesma topologia dos bipolos atuais com todos equipamentos novos, inclusive os transformadores conversores (mantém a construção da casa de válvulas); e iii) considerando a topologia atual com equipamentos novos, modernizados os transformadores conversores e casa de válvula (apenas a construção). Esses fabricantes justificaram a falta de conhecimento detalhado dos projetos das instalações para a não realização de uma proposta de modernização e salientaram a necessidade de obter todas informações desse projeto.
 - O terceiro fabricante, ABB, apresentou solução em que procura aproveitar total ou parcialmente o maior número possível de equipamentos existentes, solução que tem diferenças com relação à solução proposta anteriormente para Furnas há cerca de 2 anos. A proposta da ABB foi cirúrgica no sentido de aproveitar ao máximo tudo que fosse possível, inclusive com um plano de substituição parcial dos tiristores das válvulas existentes.
 - Essa nova proposta de modernização apresentada pela ABB, aproveitando o máximo de equipamentos, mesmo que parcialmente, tende a potencializar a redução de custos, em relação a proposta inicial desse fabricante, encaminhada inicialmente a Furnas.

5.2 Ponderações quanto aos transformadores conversores

Uma questão inicial e fundamental na escolha das alternativas de modernização das conversoras é a consideração dos transformadores conversores serem modernizados ou adquiridos novos. Observa-se que a escolha dos transformadores conversores define uma grande parte dos requisitos de projeto de uma conversora CCAT, e caso este venha a ser substituído por unidades novas, há uma necessidade de se repensar todos os equipamentos da conversora. Ou seja, com a aquisição de novos transformadores conversores, tem-se um grau de liberdade de uma conversora CCAT nova e, obviamente, os mais altos custos associados a esta alternativa.

Do total de 56 unidades monofásicas existentes (48 em operação e 8 reservas) para os dois elos CCAT, 17 unidades (12 em Foz do Iguaçu e 5 em Ibiúna) já foram modernizadas, sendo que esses equipamentos têm participação relevante no custo de uma conversora CCAT. Em função das particularidades do projeto, estima-se uma faixa que vai de cerca de 16% como ilustrado a seguir, até a 35% de acordo com o que foi levantado nos estudos dos elos de Belo Monte.



Fonte: IEEE Power & Energy Magazine, março/abril 2016

Figura 5.1: Custos associados à implantação de uma nova conversora CCAT.

A decisão de modernizar ou comprar transformadores conversores novos pode levar às seguintes alternativas:

- a) Com os transformadores existentes modernizados será mantida a topologia da conversora, a potência nominal e os modos de operação.
- b) Com transformadores novos, quando praticamente todos os demais equipamentos poderão ser novos, diferentes possibilidades se apresentam, dentre as quais:
 - ✓ repetir conceitualmente o projeto;
 - ✓ alterar potência nominal;
 - ✓ alterar topologia com menor número de conversoras por polo;
 - ✓ considerar operação monopolar com retorno metálico.

5.3 Análise da proposta de Furnas

A proposta de Furnas tem como base a Nota Técnica ET.E.001.2019 intitulada “Revitalização das Estações Conversoras de Corrente Contínua”, de outubro/2017 e a apresentação de Furnas, “Revitalização do elo HVDC de Itaipu – Obsolescência (GT - MME)”.

Em adição, o grupo EPE/ONS teve reunião de esclarecimentos com equipe de Furnas em 06/08/2019, conforme notas anexas.

Posteriormente, após análise desse material, o MME solicitou esclarecimentos a Furnas (ofício nº 12/2020/DPE/SPE-MME), os quais foram apresentados em duas etapas. A primeira [XI], através da Nota Técnica nº GPL.E.006.2020 de março 2020, e a segunda [XII], através da “Solicitação de Autorização de

Empreendimento - Revitalização do Sistema CCAT de Itaipu”, que complementam esta análise.

Quanto às Premissas

Mantém as mesmas especificações técnicas do projeto original e os componentes existentes já mostram sinais de degradação, final de vida útil e conseqüentemente carecem de ser substituídos e/ou revitalizados.

Ressalta ainda, que o escopo da modernização foi concebido para que o sistema CCAT “como um todo, deva operar de maneira adequada por mais 30 anos (prazo de concessão), e que todos os fabricantes interessados e capacitados possam participar da licitação”.

A proposta aborda apenas as conversoras CCAT e seus equipamentos, não fazendo menção às duas linhas de transmissão CC em ± 600 kV, levando-se à dedução que se poderia considerar que essas estão em condições de continuar operando por mais 30 anos, sem necessidade de modernização. Entretanto, dado que linhas de transmissão também estão sujeitas aos efeitos do envelhecimento, foi recomendado pela EPE/ONS uma avaliação do estado atual dessas linhas e a previsão de sua vida útil.

Nos esclarecimentos adicionais, Furnas justifica que as duas linhas, embora tenham operado nos últimos anos com altos índices de disponibilidade, apresentam desgastes compatíveis com suas idades (35 e 32 anos), mas que ações de correção têm sido realizadas e que os programas de manutenção futuros poderão sanar esses desgastes.

Entretanto, na visão da EPE/ONS, para se conhecer o real escopo de modernização dessas linhas, de forma a torná-las compatíveis com as instalações modernizadas das conversoras é recomendado uma inspeção técnica detalhada. Justifica-se antever ações de modernizações diferenciadas em função do envelhecimento e de condicionamentos locais, eventualmente alterados desde o projeto das linhas, tais como poluição e a ação de ventos. O programa de manutenção previsto pode não ser suficiente para manter essas linhas com a confiabilidade necessária para continuar operando por mais 30 anos.

Os transformadores conversores não estão incluídos no escopo da modernização. Já foram modernizadas 17 unidades monofásicas do total de 56 transformadores conversores dos dois elos CCAT, tendo Furnas indicado que planeja modernizar os demais transformadores e adquirir uma nova unidade. Sendo assim, foi recomendado solicitar informações a Furnas quanto à vida útil dos transformadores após a modernização.

Nesses esclarecimentos adicionais (Nota Técnica nº GPL.E.006.2020), Furnas apresentou um roteiro do processo de modernização em campo, com evidências de adequação, ilustrações e justificativas técnicas, apresentando, ainda, a vantagem da economia que consegue obter por não necessitar de transportar o transformador até a fábrica distante e de volta à subestação.

A garantia pós modernização é de 5 anos e Furnas considera que a vida útil será de 35 anos após a modernização, informando que transformadores modernizados há 15 anos operam sem problemas. Essa previsão de 35 anos está em consonância com as práticas do setor elétrico brasileiro.

Outros elementos que foram considerados mantidos são os eletrodos de terra e as linhas dos eletrodos. Entretanto, tendo em conta o desgaste que estão sujeitos na operação foi recomendado esclarecimentos.

No que se refere às linhas dos eletrodos os esclarecimentos adicionais de Furnas são similares às das linhas em 600 kV, ou seja, que apresentam desgastes naturais em função da idade, que operam adequadamente e que ações de manutenção corrigiriam esses desgastes.

Mais uma vez, na visão da EPE/ONS, para se conhecer o real escopo de modernização dessas linhas, de forma a torná-las compatíveis com as instalações modernizadas das conversoras é recomendado uma inspeção técnica detalhada.

Para os eletrodos de terra foi indicado um conjunto de ações que pretende implementar para avaliar e prorrogar a vida útil, sem mostrar o estado atual.

No que se refere aos equipamentos do lado CA da conversora, com exceção dos filtros, não estão incluídos na proposta de modernização. Com base nos esclarecimentos adicionais prestados por Furnas para as chaves seccionadoras CA, a previsão dessa, é realizar de forma gradativa em função da necessidade, ou em um escopo independente.

Escopo básico da proposta

A referida Nota Técnica destaca que a despeito do excelente desempenho operacional dos bipolos registrado nos últimos anos, a vida útil dos equipamentos está chegando ao fim, com evidências sinalizadas por eventos ocorridos em 2014, como incêndio em capacitores (isolados a óleo) do circuito de amortecimento (*snubber*) de uma das válvulas conversoras e a explosão de um transformador de corrente de filtro CC.

Também é citado que a vida média das instalações de conversoras CCAT é de cerca de 26 anos, ilustrando com a tabela abaixo (sem referência).

Tabela 5-1: Vida média das instalações de conversoras CCAT - 1

Nome da Instalação	Potência (MW)	Entrada em operação	Modernização/Substituição	Anos em Operação quando Modernizado
SACOI (4)	300/300/50	1965	1986	21
New Zeland 2	560/700	1965	1991	26
Sakuma	300	1965	1993	28
Konti Skan 1	250	1965	2006	41
Pacific Intertie	3100	1970	2004/2016	34
Eel River B2B	350	1972	2014	42
Nelson River BP1	1855	1973	2004	31
Skagerrak 1 & 2	500	1976/1977	1991/2007	15
Square Butte	500	1977	2004	27
Hokkaido-Honshu	600	1979	1993	14
CU	1000	1979	2001/2002/2004	22
Cahora – Bassa	1920	1979	2008/2014	29
Ingá – Shaba (Congo)	560	1982	2013	31
Chateauguay B2B	1000	1984	2009	25
Blackwater	200	1985	2008	23
Highgate	200	1985	2012	27
Path 27 (Intermountain-Adelanto)	2400	1986	2010	24
Fennoskan 1	500	1989	2013	24
Québec – New England	2250	1992	2016	24
Skagerrak 3	440	1993	2014	21
				26

Observa-se, ainda, pela tabela que se segue, extraída da publicação IEEE Power & Energy Magazine de março/abril de 2016, “*Refurbish Rather Than Replace*”, que alguns componentes têm vida útil inferior a 26

anos, mas Transformadores Conversores e Eletrodos de terra têm vida superior, com cerca de 40 anos. Entretanto, cabe salientar que a vida útil de um equipamento ou instalação está diretamente ligada à manutenção e política de reparos adotadas.

Tabela 5-2: Vida média das instalações de conversoras CCAT - 2

table 1. Major components and their typical lifetimes.	
Component	Expected Lifetime (Years)
Converter and SVC transformers	40
Thyristor valves	30
HVdc controls and protection (analog)	25
HVdc controls and protection (digital)	15
Valve hall cooling	20
Thyristor valve cooling systems (wet surface cooling tower)	15
Thyristor valve cooling systems (dry surface cooling tower)	20
dc smoothing reactors (air core)	25
dc smoothing reactors (oil filled)	35
dc filters	20
Ground electrode	40

Nessa mesma publicação, em outro artigo (*“When it’s time to upgrade”*), conclui que não existe consenso com relação à vida útil de alguns equipamentos, em destaque para as válvulas.

A observação de FURNAS para a possibilidade de modernizar inicialmente o bipolo 1, para depois modernizar o bipolo 2, dentre outros argumentos, pode ser reforçada pelo fato desses terem entrado em operação com diferença de cerca de 2 anos.

A Figura 5:2 a seguir, reproduzida da Nota Técnica ET.E.001.2019, apresenta o escopo básico da proposta de modernização, quanto aos componentes de cada um dos bipolos CCAT.

Na sequência, a Figura 5:3 apresenta o escopo adicional da proposta de FURNAS, indicando como **sistemas e equipamentos mantidos**, a infraestrutura existente e demais equipamentos CA (disjuntores, seccionadoras e barramentos).

Escopo proposto para substituição

- Quadriúlvulas + Sistema de Resfriamento
- Para-raios
- Serviço Auxiliar
- Disjuntores e Seccionadores Lado CC
- Transformadores de Instrumento
- Sistemas de Telecomunicação
- Reatores de Alisamento
- Filtros
- Buchas de Parede
- Sistemas de Controle, Proteção e Supervisão

Revitalização Escalonada

- Transformadores Conversores: 12 em Foz e 5 em Ibiúna já concluídos, Faltam 39, sendo 38 a revitalizar e 01 a ser adquirido.

Sistemas e equipamentos mantidos

- Linha CC
- Eletrodo de Terra

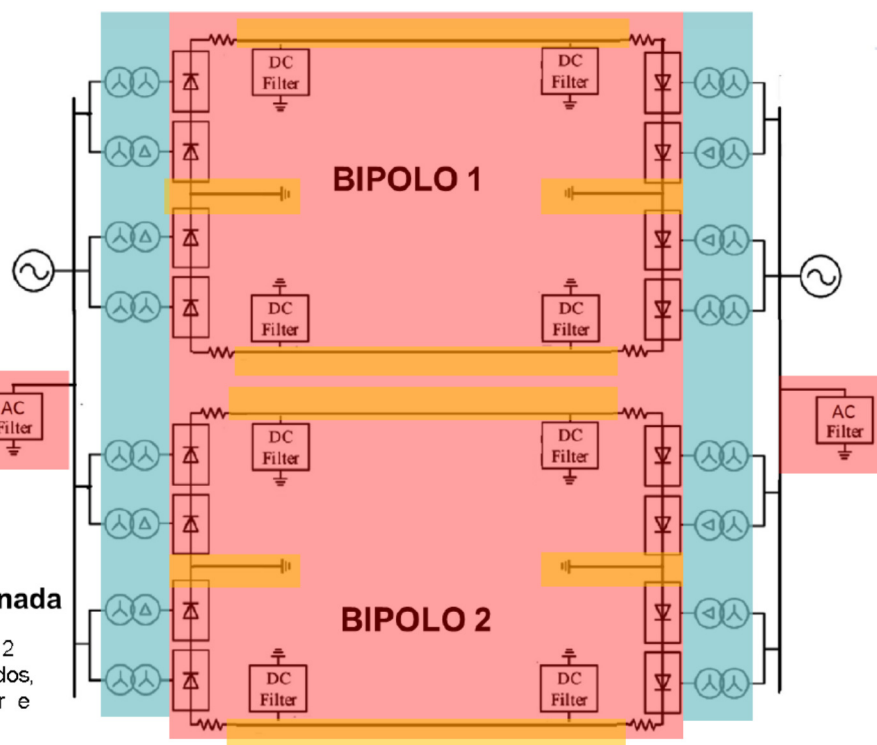


Figura 5:2: Escopo básico da proposta de modernização apresentada por Furnas.

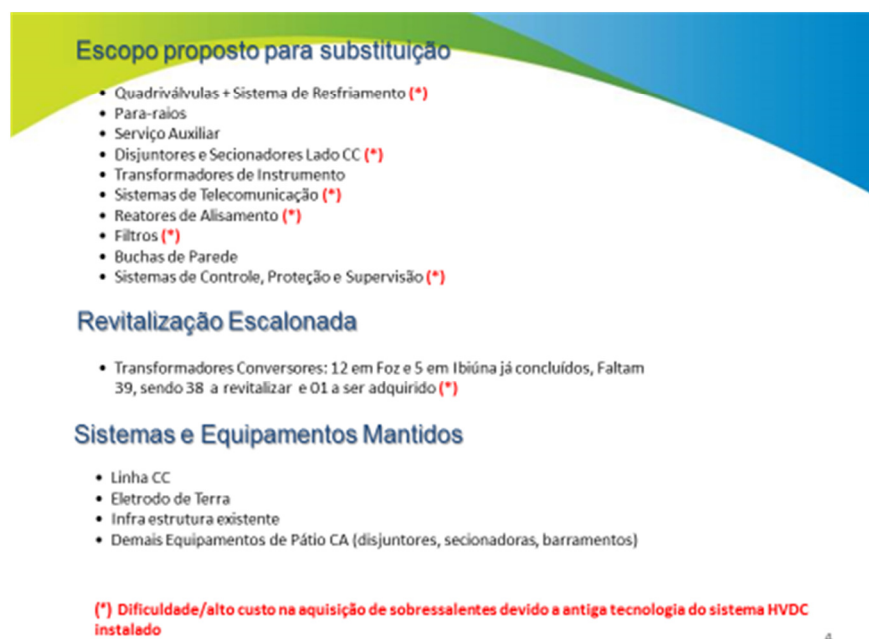


Figura 5:3: Escopo adicional da proposta de modernização apresentada por Furnas.

Na visão de Furnas, seriam modernizados “apenas os sistemas mais críticos apontados nas análises, mantendo-se a confiabilidade operativa requerida para o sistema de corrente contínua de Furnas, com extensão de vida útil de trinta (30) anos para os componentes substituídos e/ou modernizados.”

Vale observar que na modernização o fabricante original detém mais informações que os concorrentes, que assim, necessitam de mais informações detalhadas e maior tempo de inspeção e análise para realização do trabalho.

O cronograma para modernização dos dois bipolos, feito por Furnas, é reproduzido a seguir.

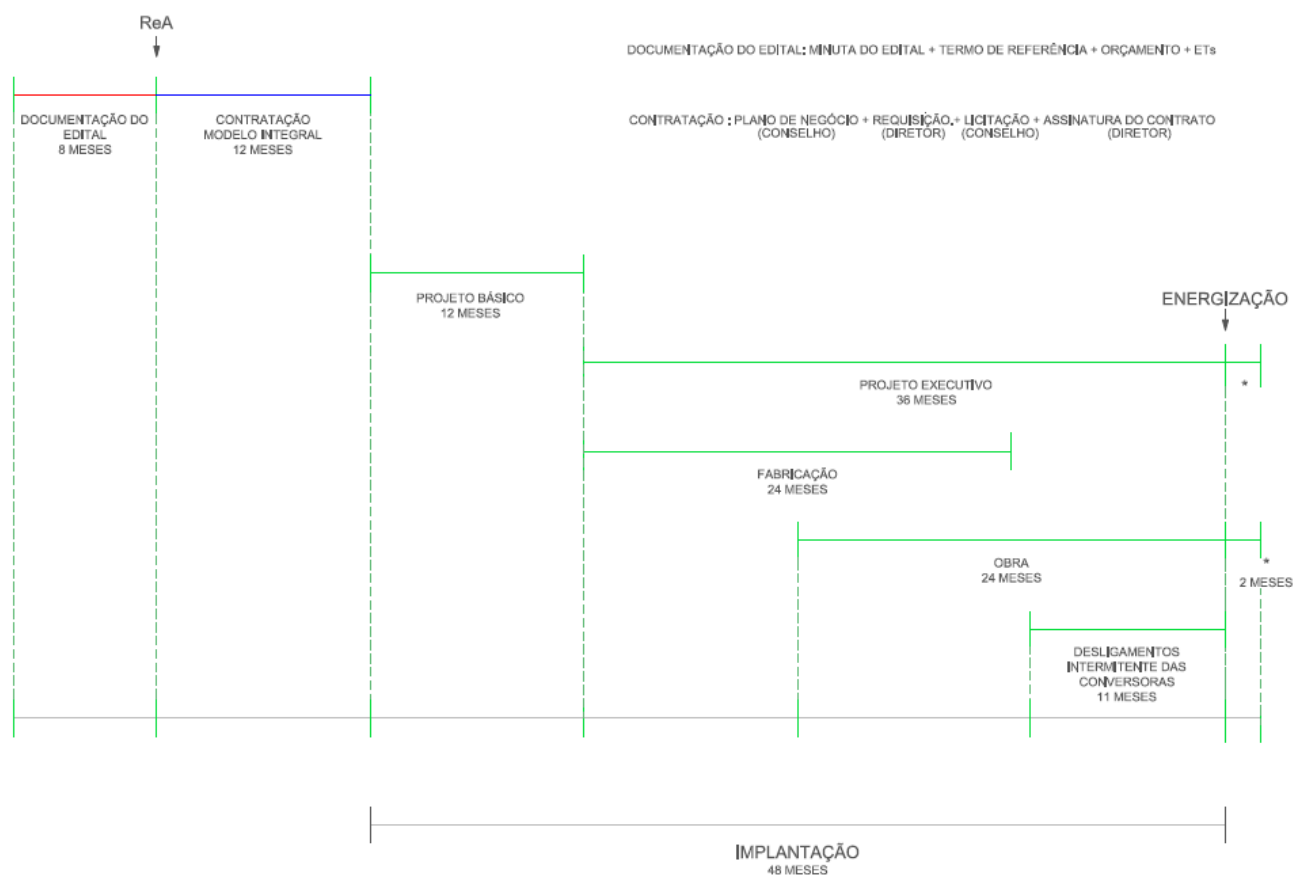


Figura 5:4: Cronograma para modernização dos dois bipolos apresentado por Furnas.

Observa-se que o prazo total de implantação, incluindo o projeto básico e executivo é de 48 meses, dos quais 36 meses é o prazo correspondente ao projeto executivo.

Previsão de orçamento

A previsão inicial de despesas para modernização dos dois bipolos, a valores de dez/2018, foi de cerca de R\$ 2 bilhões como indicado na tabela abaixo extraída da Apresentação [II] realizada por Furnas, a qual fundamenta a solicitação inicial do processo autorizativo. Não consta desse valor as despesas com a modernização dos transformadores conversores que já vem sendo gradativamente realizada por iniciativa de Furnas.

Tabela 5-3: Previsão inicial de orçamento apresentada por Furnas, em R\$ [II].

REVITALIZAÇÃO HVDC	INVESTIMENTO (DEZ/2017)				TOTAL
	2021	2022	2023	2024	
PROJETO BÁSICO	R\$ 8.970.000,00	-	-	-	R\$ 8.970.000,00
PROJETO EXECUTIVO	-	R\$ 5.400.000,00	R\$ 4.320.000,00	R\$ 1.080.000,00	R\$ 10.800.000,00
FABRICAÇÃO (MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E SISTEMAS)	-	R\$ 430.725.415,03	R\$ 1.119.886.079,08	R\$ 172.290.166,01	R\$ 1.722.901.660,13
OBRAS CIVIS, DESMONTAGEM, MONTAGEM ELETROMECÂNICA, ELETROELETRÔNICA E COMISSIONAMENTO	-	-	R\$ 75.228.582,48	R\$ 175.533.359,13	R\$ 250.761.941,62
TOTAL	R\$ 8.970.000,00	R\$ 436.125.415,03	R\$ 1.199.434.661,57	R\$ 348.903.525,14	R\$ 1.993.433.601,74
PERCENTUAL	0,45%	21,88%	60,17%	17,50%	100,00%

Posteriormente, atendendo à solicitação do MME [X], Furnas indicou dois orçamentos atualizados, após consultas a quatro fabricantes [XII], tendo como referência março/2020[XII], sendo um orçamento com o menor investimento apresentado, e outro, com a média dos orçamentos apresentados, conforme mostrado nas tabelas que se seguem.

Tabela 5-4: Orçamento pelo menor investimento apresentado, em US\$ [XII].

ORÇAMENTO DE SUBESTAÇÃO		Data de Referência: Março/2020
Subestações: Foz do Iguaçu e Ibiúna		
Obra: Substituição e Modernização de equipamentos e sistemas CCAT do Elo Itaipu		
Descrição	Preço Unit. (US\$)	Total (US\$)
Equipamentos de CC (Conversores CA/CC, Filtros CA e CC, pátio CC, reatores de alisamento, buchas de parede, sistema de resfriamento, serviços auxiliares, sistemas de proteção e controle, etc.)	421.584.250,00	421.584.250,00
Transformadores Conversores Monofásicos (Aquisição de 38 unidades)	227.655.495,00	227.655.495,00
Serviços (Construção civil, instalação, montagem Eletromecânica, desmontagem, comissionamento, testes operacionais, ensaios de tipo, projetos básico e executivo, supervisão técnica, operação assistida, etc.)	193.928.755,00	193.928.755,00
Total		\$843.168.500,00

Tabela 5-5: Orçamento pela média dos investimentos apresentados, em US\$ [XII].

ORÇAMENTO DE SUBESTAÇÃO		Data de Referência: Março/2020
Subestações: Foz do Iguaçu e Ibiúna		
Obra: Substituição e Modernização de equipamentos e sistemas CCAT do Elo Itaipu		
Descrição	Preço Unit. (US\$)	Total (US\$)
Equipamentos de CC (Conversores CA/CC, Filtros CA e CC, pátio CC, reatores de alisamento, buchas de parede, sistema de resfriamento, serviços auxiliares, sistemas de proteção e controle, etc.)	498.673.754,69	498.673.754,69
Transformadores Conversores Monofásicos (Aquisição de 38 unidades)	269.283.827,53	269.283.827,53
Serviços (Construção civil, instalação, montagem Eletromecânica, desmontagem, comissionamento, testes operacionais, ensaios de tipo, projetos básico e executivo, supervisão técnica, operação assistida, etc.)	229.389.927,16	229.389.927,16
Total		\$997.347.509,39

Observe-se que, diferente do orçamento inicialmente apresentado na proposta de Furnas (dez/2018), esses orçamentos de março/2020 acrescentam a aquisição de 38 transformadores conversores novos. Do total de 56 unidades monofásicas existentes nos dois elos CCAT, 17 já foram modernizadas, uma sinistrada, que está em fase de aquisição, restando, portanto, 38 unidades a serem modernizadas ou compradas. Esses 38 transformadores novos representam cerca de 27% do orçamento total da modernização. Excluindo-se os transformadores, os valores totais resultam, respectivamente em US\$ 615,5 milhões e US\$ 728,1 milhões.

Considerando o menor valor e a média dos orçamentos, os novos valores apresentados por Furnas resultam da ordem de R\$ 4,1 bilhões e R\$ 4,9 bilhões, respectivamente (admitindo para efeito desta estimativa uma taxa de câmbio referencial de R\$ 4,90 /US\$. Com base na potência nominal de 6.300 MW, estes valores correspondem a aproximadamente R\$ 655/kW e R\$ 775/kW (US\$ 134/kW e US\$ 158/kW) respectivamente.

ESCLARECIMENTOS ADICIONAIS DE FURNAS

Os resultados das análises da EPE/ONS dos primeiros documentos apresentados por Furnas, indicados nesta nota técnica, levaram o MME a solicitar esclarecimentos a Furnas (ofício nº 12/2020/DPE/SPE-MME), prestados em duas etapas, com a primeira parte desses esclarecimentos, através de nota técnica (Furnas nº GPL.E.006.2020) anexa. Nesses esclarecimentos, a seguir sumarizados, não constam documentação comprobatória, mas são apoiados em relatos, evidências, ilustrações fotográficas, dados e estatísticas de Furnas.

i) Informações detalhadas quanto ao processo e locais de modernização dos transformadores conversores (incluído as partes substituídas) e à vida útil desses equipamentos após modernização. Explicar qual tipo de garantia esses transformadores modernizados têm.

Os serviços de modernização das unidades transformadoras têm sido realizados desde 2005, em campo, em galpões construídos nas subestações de Foz do Iguaçu e Ibiúna especificamente com esse objetivo. O processo é composto das seguintes etapas, descritas e ilustradas através de fotografias:

- Desmontagem do tanque.
- Retirada da parte ativa.
- Serviços de caldeiraria
- Desmontagem da parte ativa
- Fabricação das novas bobinas
- Montagem da parte ativa
- Execução dos ensaios

Em destaque que as bobinas são fabricadas nas instalações do fabricante e transportadas para o campo onde são montadas, compondo a parte ativa do transformador. Isto representa uma redução de custo, quando comparado com o custo do transporte total do transformador do campo para a fábrica e retorno ao campo. Quanto aos ensaios, um dos desafios alegados, em campo não é possível realizar todos os previstos em norma para esse tipo de transformador, sobretudo os ensaios de suportabilidade dielétrica. Por essa razão, faz-se necessário que o projeto do transformador tenha sido aprovado na totalidade dos ensaios previstos em norma. Reproduzindo a justificativa colocada na nota técnica:

“Assim, sendo testado em fábrica e aprovado o projeto do transformador, sendo entendidas e aceitas as adaptações de processos necessárias, o projeto pode ser replicado na execução dos serviços de revitalização em campo.”

De acordo com Furnas, a garantia técnica contratual do transformador modernizado é de 5 anos, a partir da data de entrega. Quanto à vida útil, Furnas indica 35 anos, ressaltando que transformadores modernizados em 2005, portanto há 15 anos, não apresentaram falhas até o momento.

ii) Comprovação da vida útil das linhas de transmissão em ± 600 kV, estado atual das mesmas

As linhas de transmissão do bipolo 1 e do bipolo 2 encontram-se em operação há, respectivamente, 35 e 32 anos. Furnas ressalta que essas linhas apresentam estado geral compatível com o tempo em que se encontram em operação, com indicadores de disponibilidade altos nos últimos 6 anos.

Entretanto, não apresentou laudo técnico comprobatório, mas dados e indicações do estado de alguns dos principais componentes das linhas e ações de manutenção em andamento, como sumarizado a seguir.

Tabela 5-6: Estado atual das linhas ± 600 kV

COMPONENTE	DESCRIÇÃO	VALOR ESTIMADO (R\$)
Fundações	Prevista a recuperação de fundações, atividade de manutenção contínua, a ser executada entre 2020 e 2022	6.300.000
Sistema de aterramento	Realizada a substituição de cerca de 15% dos sistemas de aterramento das estruturas do bipolo 1	2.795.000
	Demais estruturas do bipolo 1 ao longo dos próximos 3 anos	14.000.000
Esferas de sinalização	Desde 2010 vem sendo substituídas, com previsão para conclusão em 2023	Não informado
Estruturas metálicas	Poucas estruturas com início de corrosão vermelha, sem comprometimento. Em função da necessidade são realizadas correções	Não informado
Espaçadores amortecedores	Peças que apresentam desgaste estão sendo substituídas função de inspeções periódicas	Não informado
Isoladores	Identificados isoladores quebrados e poluídos e outros com início de processo de corrosão nas câmpulas, nos pinos e acessórios. Peças substituídas em função de inspeções periódicas.	Não informado

iii) Comprovação da vida útil das linhas do eletrodo de terra, estado atual das mesmas

As linhas dos eletrodos de terra correspondentes ao bipolo 1 e ao bipolo 2 encontram-se em operação há, respectivamente, 35 e 32 anos. Furnas ressalta que essas linhas apresentam estado geral compatível com o tempo em que se encontram em operação, demandando ações pontuais de manutenção corretiva, cuja necessidade é verificada através de inspeções anuais. Entretanto, não apresentou laudo técnico comprobatório.

iv) Indicação do estado atual dos eletrodos de terra e ações para avaliar e prorrogar sua vida útil.

Foi indicado um conjunto de ações que pretende implementar para avaliar e prorrogar a vida útil, sem indicar o estado atual.

v) Justificativa para manutenção das atuais chaves seccionadoras.

Para as chaves correspondentes às instalações do lado em corrente contínua das conversoras é reiterada a necessidade de substituição no processo de modernização. Entretanto, para as chaves seccionadoras do lado em corrente alternada, a substituição está prevista para ser realizada gradativamente em função da necessidade e sem impacto relevante na operação das conversoras. Esse argumento indica uma previsão de substituição de outros equipamentos do lado CA das conversoras, além das chaves seccionadoras, como salientado por Furnas em sua justificativa, reproduzida a seguir.

...“ainda que a vida útil regulatória e técnica dos equipamentos CA também estejam reduzidos ou mesmo extintas, sua substituição poderá ser feita com impactos mínimos em um escopo independente da Empreitada Integral de revitalização do sistema de transmissão CCAT Foz-Ibiúna”.

5.4 Consultas a fabricantes

Objetivo

Com o objetivo de se obter informações diretamente dos fabricantes de sistema CCAT, foram contatados os principais fabricantes atuantes no país com experiência em modernização.

Com escopo encaminhado previamente, foi realizada uma reunião entre EPE/ONS com cada um dos seguintes fabricantes:

- NR Electric/Nari, dia 03/9/2019 (período da tarde).
- Siemens, dia 04/9/2019 (período da tarde).
- ABB, dia 11/9/2019 (período da manhã).

Experiência dos fabricantes

Das informações recebidas dois desses fabricantes se destacam com relação a experiência em projetos de modernização, quanto à quantidade de projetos realizados e a amplitude do escopo de trabalho, como sumariamente ilustrado a seguir.

Tabela 5-7: Síntese de projetos realizados pelos fabricantes consultados.

Fabricante	Qualificação quanto a:		Observações
	quantidade de projetos	escopo do trabalho	
NARI	pequena	limitado	2 projetos CCAT na China (1200 MW, 2005) (1800 MW, 2010) 1 projeto nas Filipinas (440 MW, 2014)
SIEMENS	grande	amplo	Destaque para projetos ABB, Vindhyachal, Índia (2x250MW) atualmente e Iner Island Bipolo 3, 1400 MW, Nova Zelândia, 2014
ABB	elevada	muito amplo	35 projetos modernizados, desde 1985, com diferentes características e potências, em vários países

Estratégias propostas pelo fabricante NR Electric/NARI

Dos tópicos discutidos e apresentados pela NARI na reunião com EPE/ONS, destacam-se:

- a) Na ausência de informações detalhadas sobre o estado dos equipamentos existentes a modernização deveria contemplar a substituição total das instalações.
- b) Pelo menos todos os equipamentos de chaveamento e medição, assim como os para-raios de óxido de zinco precisam ser substituídos.
- c) Com os transformadores atuais, caso se deseje adicionar o modo de transmissão monopolar com retorno metálico, será necessário a avaliação do isolamento desses transformadores conversores, dada à elevação de tensão imposta ao neutro. Essa alternativa poderá não ser viável, caso os transformadores sejam mantidos e modernizados.

- d) Para apresentar sua concepção de modernização a NARI salientou que necessita receber informações detalhadas e visitar as instalações.
- e) Com relação à vida útil do sistema modernizado, não é possível definir sem uma avaliação do estado dos equipamentos remanescentes.
- f) Diversas questões inicialmente colocadas por EPE/ONS não puderam ser respondidas sem informações detalhadas das instalações, em particular sobre o espaço físico disponível.

Com essas ponderações, considerando as premissas para modernização indicadas por Furnas, a NR Electric/NARI não apresentou uma proposta específica sobre a revitalização dos bipolos CCAT de Furnas.

O anexo I reproduz as notas da reunião realizada entre EPE/ONS e NR Electric/NARI, em 02 de setembro de 2019 e o anexo II a apresentação feita pela NR Eletric/NARI.

Estratégias propostas pelo fabricante SIEMENS

A Siemens apresentou três alternativas (*Scenarios*) para modernização, mantendo a potência nominal dos elos, como reproduzido na tabela abaixo.

Tabela 5-8: Alternativas apresentadas pela Siemens.

HVDC Itaipu

Project Scope: Siemens Technical Proposal - New Project
Possible Scope Scenarios



Scenarios	Description	Maintained	Replaced
1	2 New Bipoles	Site	ALL
2	2 Identical Refurbished Bipoles	Valve Hall	Xfm, C&P, Valve, Cooling, AC/DC Filters, SMR, AC/DC Switchgear, Bushing, Aux.
3	2 Identical Refurbished Bipoles	Valve Hall, Xfm	C&P, Valve, Cooling, AC/DC Filters, SMR, AC/DC Switchgear, Bushing, Aux.

A alternativa 1, com um conversor por polo (topologia atual tem dois conversores por polo), diminui o número de transformadores, porém com aumento da potência e correspondente redução de unidades transformadoras, reduzindo consideravelmente o espaço necessário para a instalação.

A alternativa 2 considera a topologia atual, com dois conversores por polo, substituindo todos equipamentos, inclusive transformadores conversores, e mantém apenas os edifícios da casa de válvulas.

A alternativa 3, por sua vez, é similar à alternativa 2, exceto no que se refere aos transformadores conversores, os quais são modernizados (revitalizados como indicado por Furnas) e não substituídos por novos.

Sendo assim, essas propostas realizam a modernização com um escopo diferente daquele solicitado por Furnas.

Sobre as alternativas analisadas, destaca-se a maior confiabilidade da alternativa 1, em função do menor número de conversores em série e da utilização de transformadores conversores novos, isto é, com projeto de um conversor por polo. Também está destacado, na alternativa 3, na qual se considera a revitalização dos transformadores, que a vida útil dos equipamentos revitalizados será inferior à dos equipamentos novos.

Finalmente, a Siemens justificou a não apresentação de uma proposta técnica de modernização mais específica por não dispor de informações detalhadas, imprescindíveis para um melhor entendimento do projeto. O quadro abaixo, reproduzido da apresentação desse fabricante, apresenta essa consideração.

Tabela 5-9: Informações necessárias apresentadas pela Siemens.

✓	Converter Halls detailed dimensions (incl. the position of the Bushings)
□	Site Layout (with the main dimensions detailed)
□	Detailed SLD and C&P Block Diagrams
□	Main Data Parameters
□	Overload requirements
□	AC Data (main & relevant data)
□	Data for the design studies of the Filters and Capacitor Banks
□	Environmental Data (temperature, noise limits, etc.)
□	Logistical restrictions and available areas to work during the construction: physical space for temporary storage/preparation works/laydown areas, existing facilities and local resources
□	Complete and latest "as Built" drawings
□	Test Reports (Operation) ?
□	"Open Book" police regarding technical information during the bid & execution phase:
□	While detailed drawings will be required to support the bid preparation some additional drawings of the existing installations will be requested during the evolution of the project

É importante destacar que a Siemens indicou seu forte interesse em participar do processo de modernização desses elos CCAT, informando que havia sido contatada por Furnas há cerca de 2 anos atrás, tendo inclusive desenvolvido com essa finalidade, uma concepção de válvula em pedestal, como existente e solicitado por Furnas, diferentes das válvulas atualmente utilizadas em novos projetos, que são em suspensão.

A figura a seguir apresenta o cronograma concebido para a modernização, reproduzido da apresentação da SIEMENS.



Figura 5-5: Cronograma simplificado de implantação apresentado pela Siemens.

O anexo V apresenta as notas da reunião realizada entre EPE/ONS e SIEMENS, em 04 de setembro de 2019, e o anexo VI, a apresentação feita pela SIEMENS.

Estratégias propostas pelo fabricante ABB

A ABB fez uma apresentação detalhada da solução que atualmente sugere para modernização das conversoras, com diferenças com relação à solução proposta anteriormente para Furnas, há cerca de 2 anos. Essa nova solução, a despeito de manter a topologia atual, com duas conversoras por polo, procura aproveitar total ou parcialmente o maior número de equipamentos existentes. Na sua apresentação a ABB ressaltou a maximização do tempo de uso dos equipamentos em operação, com substituição de certos componentes de equipamentos à medida da necessidade, como os capacitores dos filtros CC.

Em destaque, deverão ser mantidos total ou parcialmente os seguintes equipamentos, além dos transformadores conversores (com modernização escalonada):

- As válvulas podem ser mantidas desde que sejam feitas as seguintes alterações: i) substituição dos seus capacitores isolados a óleo (circuitos de amortecimento), por capacitores de tecnologia mais moderna, a seco; ii) alteração do sistema de refrigeração com manutenção de partes deste; iii) remoção de parte dos tiristores em operação para compor reserva técnica. Esses tiristores removidos serão substituídos por novas unidades de forma a possibilitar a extensão da vida útil da válvula dos tiristores tanto em Ibiúna como em Foz do Iguaçu.
- Filtros CC poderão ser mantidos, considerando a aquisição de capacitores de reserva para substituição dos atuais, com o sistema em operação e quando necessário.
- Filtros CA deverão ser revisados em função das condições atuais da rede CA. Observa-se que há uma tendência de se remover os filtros de 3º e 5º harmônicos localizados em Ibiúna.
- Será necessária a paralização do equivalente a um conversor por polo. Isto equivale a potência de 25% de um bipolo, dadas as características do polo que dispõe de dois conversores em série. Nesse caso a interrupção nominal será de 1/8 da potência total dos dois polos somados, por vez.

O sistema de refrigeração será alterado, mantendo-se a concepção atual com acréscimos, inclusive com o uso de spray de água durante os dias mais quentes. Está previsto que o uso deste spray de água será feito um ou dois meses por ano.

Como previsto, por ter fornecido os equipamentos originais e pelo envolvimento com essas instalações ao longo dos anos em operação, fica evidenciado o conhecimento que a ABB detém das instalações atuais.

Essa nova proposta de modernização, aproveitando o máximo de equipamentos, mesmo que parcialmente, tende a potencializar a redução de custos no processo de revitalização dos bipolos CCAT de Furnas.

A seguir encontra-se um sumário extraído da apresentação da ABB com os principais itens a serem modernizados.

Itaipu HVDC Refurbishment

One bipole, recommended equipment and services

- Thyristor Valves
 - Refurbishment of Thyristor valve components (Capacitors and Light Guides)
 - Climate System, Fire Detection, Cooling Systems
- DC Equipment
 - Wall Bushings including AC current measurement,
 - DC Surge Arresters, By-Pass Breakers,
- AC Filters
 - Only Capacitor spares
- Control & Protection – HMI, bipole, pole, converter and valve level
- Telecom
- Auxiliary System, extensions for new valve cooling systems
- Installation and commissioning
- Maintenance support, 3 persons at each site for 5 years

Figura 5:6: Escopo da modernização apresentado pela ABB.

Outro aspecto relevante dessa proposta é o suporte de manutenção disponibilizada durante 5 anos, com 3 pessoas em cada instalação.

O anexo VII apresenta as notas da reunião realizada entre EPE/ONS e ABB, em 11 de setembro de 2019, e o anexo VIII, a apresentação feita pela ABB.

6 EQUIPE

EPE: José Marcos Bressane – Coordenação
Bernardo Folly de Aguiar
Daniel Tavares de Souza
Dourival de Souza Carvalho Junior
Jorge Trinkenreich
Marcos Vinicius Farinha
Maria de Fátima de Carvalho Gama
Renata de Azevedo Moreira da Silva
Renato Haddad Simões Machado
Simone Quaresma Brandão
Thiago de Faria Rocha Dourado Martins

ONS: Antonio Ricardo de Mattos Tenorio
Erick Facure Giaretta
Maria Aparecida Martinez
Mariana Simoes Noel Da Silva
Mario Jorge Daher
Mauro Muniz
Nestor Bragagnolo Filho
Sumara Duarte Ticom
Vitor Silva Duarte

7 REFERÊNCIAS

- I. Revitalização das Estações Conversoras de Corrente Contínua, Nota Técnica ET.E.001.2019, Furnas. outubro/2017
- II. Apresentação de Furnas, “Revitalização do elo HVDC de Itaipu – Obsolescência (GT - MME)”
- III. Notas de reunião com a NARI
- IV. NR HVDC Capabilities – Introduction for EPE/ONS - apresentação da NARI.
- V. Notas de reunião com a SIEMENS
- VI. HVDC Itaipu – Technical workshop EPE + ONS - apresentação da SIEMENS.
- VII. Notas de reunião com a ABB.
- VIII. Itaipu refurbishment, presentation 2019-09 – apresentação da ABB
- IX. Ofício 0074/2019/PR/EPE, de 18.02.2019
- X. Ofício 12/2020/DPE/SPE-MME, de 23.01.2020.
- XI. Esclarecimentos complementares de Furnas (1ª parte – preliminar) ao ofício 12/2020/DPE/SPE-MME, de 23.01.2020, “Revitalização do Sistema CCAT de Itaipu”, Nota Técnica GPL.E.006.2020, Furnas, março/2020, anexo à carta Furnas S/N, de 23.03.2020.
- XII. Esclarecimentos complementares de Furnas (2ª parte – final) ao ofício 12/2020/DPE/SPE-MME, de 23.01.2020, “Solicitação de Autorização de Empreendimento - Revitalização do Sistema CCAT de Itaipu”, Diretoria de Engenharia – DE, Furnas, abril/2020, anexo à carta Furnas nº ET.E.010.2020, de 20.04.2020.
- XIII. Carta ONS-0099-DGL-2020, de 03.04.2020 e Anexo (NT ONS-0027/2020 “Avaliação da indisponibilidade dos elos de corrente contínua da UHE Itaipu”, março de 2020).
- XIV. Refurbish Rather Than Replace, IEEE Power & Energy Magazine, de março/abril de 2016, <https://www.ieee.org>
- XV. Guidelines for life extensions of existing HVDC systems, Cigre Brochure n. 649, fevereiro 2016, <https://e-cigre.org/>

ANEXOS

Cópias das referências supracitadas.