

PARECER TÉCNICO PARA A PRESTAÇÃO DE SERVIÇO ANCILAR

UHE MARIMBONDO

© 2023 /ONS

Todos os direitos reservados.

Qualquer alteração sem autorização é proibida.

RT-ONS DPL 0223/2023

EPE-DEE-NT-024/2023-rev0

PARECER TÉCNICO PARA A PRESTAÇÃO DE SERVIÇO ANCILAR

UHE MARIMBONDO

Parecer Técnico referente a indicação de necessidade para a prestação de serviço ancilar de autorrestabelecimento integral, suporte de potência reativa e controle secundário da frequência.

- UHE Marimbondo

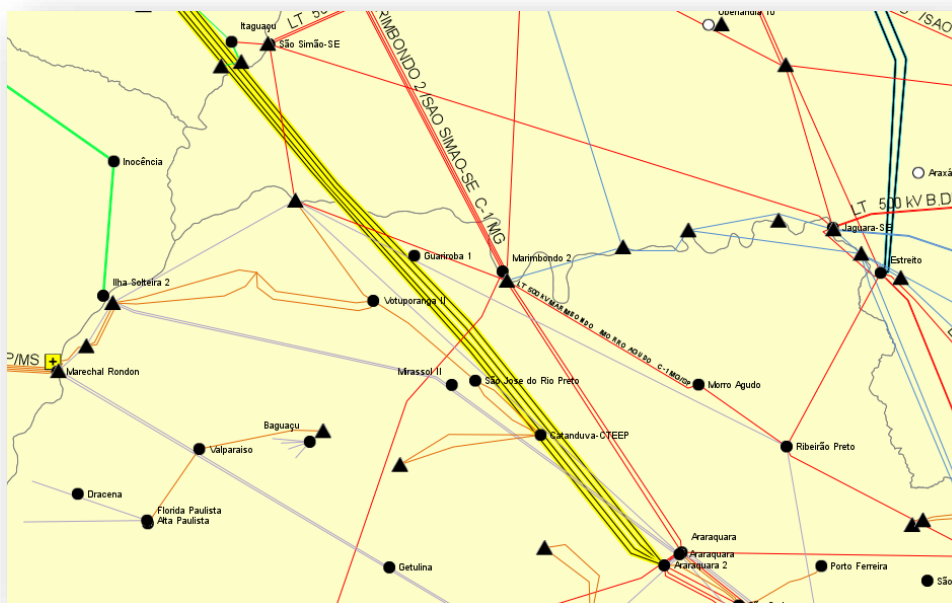
Sumário

1	Introdução	4
2	Objetivo	5
3	Conclusões	6
4	Providências	7
5	Aspectos técnicos do empreendimento	8
6	Critérios e premissas	9
7	Análise técnica	10
7.1	Autorrestabelecimento integral	10
7.2	Suporte de potência reativa	10
7.3	Controle secundário de frequência	13
8	Análise econômica	14
9	Referências	17
10	Anexos	18

1 Introdução

A UHE Marimbondo, usina hidrelétrica sob concessão de Furnas com potência instalada de 1.488 MW, é conectada à Rede Básica na SE Marimbondo 500 kV, no estado de Minas Gerais. A Figura 1-1 ilustra a localização eletrogeográfica da UHE Marimbondo e o seu ponto de conexão e região de influência.

Figura 1-1: Localização eletrogeográfica da UHE Marimbondo



O sistema elétrico nas proximidades geográficas/elétricas da usina é caracterizado pela presença de extensas linhas de transmissão em 500 kV e compõe o sistema receptor da interligação Norte/Sudeste, do complexo gerador Teles Pires e dos elos de transmissão em corrente contínua associados ao complexo do Madeira e Belo Monte.

Neste sentido, com base nas conclusões que serão apresentadas neste documento, este Parecer avalia e recomenda a operação das unidades geradoras da UHE Marimbondo como compensadores síncronos viabilizando a prestação de serviço ancilar de suporte de potência reativa.

A referida usina já é prestadora de serviços ancilares de autorrestabelecimento integral e de controle secundário da frequência.

2 Objetivo

Conforme estabelecido pelo Submódulo 3.11 [1] dos Procedimentos de Rede e na Resolução Normativa ANEEL 1030/2022 [2], o ONS possui a atribuição de identificar a necessidade de prestação de serviços ancilares de autorrestabelecimento total, suporte de potência reativa e controle secundário da frequência para novas instalações ou indicar a adequação de instalações já existentes no SIN.

O presente documento possui a finalidade de apresentar o parecer técnico do ONS, com colaboração da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), referente à necessidade sistêmica da prestação dos serviços ancilares pelo empreendimento em análise e indicar as providências que deverão ser tomadas pelos Agentes responsáveis.

3 Conclusões

A seguir são apresentadas as principais conclusões com relação à viabilidade e à necessidade sistêmica para a prestação dos serviços ancilares de autorrestabelecimento integral, suporte de potência reativa e controle secundário da frequência.

Com relação à viabilidade técnica

Conforme informações apresentadas pelo Agente responsável através do ofício [3], entende-se não existirem restrições de natureza técnica ou operativa para a prestação dos serviços ancilares recomendados por este relatório.

Com relação à prestação do serviço de autorrestabelecimento integral

A UHE Marimbondo já é prestadora de serviço ancilar de autorrestabelecimento integral.

Com relação à prestação do serviço de suporte de potência reativa

A operação das unidades geradoras da UHE Marimbondo como compensadores síncronos proporciona benefícios significativos para o SIN, em especial, durante o período seco quando o número de unidades geradoras nas usinas hidroelétricas tende a ser reduzido.

As principais necessidades atendidas através da prestação do serviço ancilar são:

- Controle de tensão na malha em 500 kV da área MG e SP;
- Fornecimento de potência de curto-circuito, em especial para o sistema de transmissão em corrente contínua associado às usinas do Rio Madeira (SE Araraquara 2).
- Possibilidade de acréscimo de 760 MW.s (quatro UG) de inércia sincronizada ao SIN

Destaca-se que a conversão de unidades geradoras da UHE Marimbondo se mostra como uma solução de mínimo custo global quando comparada a soluções alternativas que desempenhem função semelhante na região.

Com relação à prestação do serviço de controle secundário da frequência

A UHE Marimbondo já é prestadora de serviço ancilar de controle secundário da frequência.

4 Providências

A seguir, estão indicadas as providências a serem tomadas pelos Agentes responsáveis pelas instalações em análise.

A Furnas

1. Com relação ao serviço de suporte de potência reativa, o Agente deverá adequar as instalações e **implantar recursos necessários para viabilizar a operação de todas as UG da UHE Marimbondo como compensador síncrono, sendo que as análises realizadas até o momento indicam que deverão operar simultaneamente quatro unidades geradoras**. As especificações técnicas para a prestação deste serviço estão indicadas na seção 7.2 deste relatório.

5 Aspectos técnicos do empreendimento

Através do ofício [3], Furnas consulta o ONS e a EPE com relação ao interesse sistêmico para a prestação do serviço ancilar de suporte de potência reativa, disponibilizando as 8 (oito) unidades geradoras para operarem como compensadores síncronos.

Informa também que a prestação deste serviço é viável a depender da implementação de sistema de ar comprimido para rebaixamento dentro do escopo do plano de modernização da usina.

Neste sentido, o ONS entende que Furnas declara a viabilidade e disponibilidade para a prestação de serviços ancilares de suporte de potência reativa (operação de suas unidades como compensadores síncronos), além dos serviços atualmente prestados de autorrestabelecimento integral e de controle secundário da frequência.

Adicionalmente, o barramento de 500 kV da subestação da UHE Marimbondo possui arranjo do tipo anel, onde a abertura de disjuntores resulta em significativa perda de confiabilidade.

6 Critérios e premissas

Para os estudos apresentados neste relatório, foram considerados os critérios indicados, respectivamente, pelos seguintes submódulos dos Procedimentos de Rede:

- Submódulo 2.3 “*Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos*”;
- Submódulo 3.11 “*Análise técnica dos serviços ancilares de suporte de reativos, controle secundário de frequência e autorrestabelecimento integral*”.

7 Análise técnica

7.1 Autorrestabelecimento integral

A UHE Marimbondo já é prestadora do serviço ancilar de autorrestabelecimento integral, sendo possível partir e sincronizar todas as suas unidades geradoras e iniciar o corredor de recomposição fluente de Marimbondo (responsável por restabelecer as cargas do Estado do Rio de Janeiro).

7.2 Suporte de potência reativa

A região de influência da UHE Marimbondo é caracterizada pela presença de uma densa rede em 500 kV que interliga as usinas dos rios Grande e Paranaíba, além de fazer parte do corredor de escoamento das usinas do rio Teles Pires e se conectar à malha de 440 kV de São Paulo que escoar a geração das usinas dos rios Tietê e Paraná.

Em função da forte presença de usinas de médio e grande porte, a rede de 500 kV da região conta com adequada regulação de tensão nos patamares de carga pesada e média, independentemente do cenário de intercâmbio regional, porém, nos patamares de carga leve e mínima a capacidade de regulação de tensão tem mostrado deficiências, evidenciando dificuldades para o controle de tensões elevadas, sobretudo em cenários de hidrologia desfavorável, que podem levar à adoção de medidas de abertura de linhas de transmissão após esgotados todos os demais recursos disponíveis: subexcitação de unidades geradoras e compensadores síncronos, manobra de bancos de capacitores e reatores nas redes de transmissão e distribuição, comutação de tapes em transformadores e regulação de compensadores estáticos de reativos.

Em função das condições hidrológicas adversas históricas, o segundo semestre do ano de 2021 foi bastante ilustrativo sob esse aspecto. Entre os meses de agosto e novembro foram registradas pelo ONS aberturas para controle de tensão nas seguintes linhas de transmissão na região de influência da UHE Marimbondo:

- LT 440 kV Água Vermelha – Ribeirão Preto (duração acumulada de 1148 horas)
- LT 500 kV Estreito – Fernão Dias C1 ou C2 (1061 horas)
- LT 500 kV Araraquara – Poços de Caldas (678 horas)
- LT 500 kV Nova Ponte – São Gotardo (482 horas).

No mês com maior incidência de abertura de linhas (outubro de 2021), os registros operativos indicam que a UHE Marimbondo passou 77% do tempo com o número mínimo permitido de 3 (três) unidades geradoras sincronizadas (IO-OI.SE.USMR), sendo que, ao serem isolados os períodos correspondentes aos patamares de carga leve e mínima, a permanência da operação com 3 unidades sincronizadas se eleva a 97%. Em termos médios, a injeção de potência ativa e absorção de potência reativa pela UHE atingiram 138 MW e 313 Mvar, respectivamente. Tendo em vista que a potência mínima da faixa de operação das unidades geradoras da UHE Marimbondo (IO-CG.BR.02) tem o valor de 111 MW, os resultados apresentados respaldam a argumentação de FURNAS em [3] quanto à operação das unidades geradoras com despacho potência na região de cavitação.

É importante ressaltar que a frequente abertura de linhas de transmissão da Rede Básica para controle de tensão em patamares de carga leve e mínima é um tema de grande relevância que vem, há alguns anos, demandando do Operador ações de curto e médio prazos, entre as quais:

- a) Reavaliação quadrimestral das medidas operativas para controle de tensão;
- b) Mudança no critério de carga para a elaboração dos casos de carga leve e mínima a partir do PAR/PEL 2019 (ciclo 2020-2024);
- c) Indicação de equipamentos para o controle de tensão no PAR/PEL 2019 (ciclo 2020-2024);
- d) Criação do critério adicional “P0” de priorização de obras do SIN, o qual foi atribuído aos reforços indicados para controle de tensão na rede básica, visando contribuir para dar maior celeridade ao processo de autorização desses equipamentos, sob responsabilidade da ANEEL;
- e) Proposição de ações que desonerassem os agentes quando de manobras em linhas de transmissão para controle de tensão.

Do conjunto de equipamentos recomendados com a finalidade específica de reduzir as manobras de abertura de linhas de transmissão para controle de tensão nos patamares de carga leve e mínima no subsistema SE/CO, a grande maioria já dispõe de autorização da ANEEL e se encontra em implantação. Com efeito direto sobre as aberturas de linhas relacionadas no item 3.2, destacamos:

- a) SE Marimbondo II 500 kV – instalação de um reator de barra 136 Mvar (previsão agosto de 2023)
- b) SE Araraquara 2 440 kV – instalação de um reator de barra 183 Mvar (previsão maio de 2023)

- c) SE Bom Despacho 3 500 kV – instalação de um reator de barra 180 Mvar (previsão maio de 2023)

Em acréscimo aos reforços acima mencionados, entendemos que a disponibilização de unidades geradoras da UHE Marimbondo para operação como compensadores síncronos, inequivocamente contribuirá para a robustez do controle de tensão nas redes de 500 kV e 440 kV da região em tela. Adicionalmente, serão beneficiados a inércia sistêmica e os níveis de curto-circuito com efeito na operação dos elos CCAT do Madeira e Xingu – Estreito.

A partir da premissa de que, mesmo nas condições de hidrologia mais desfavoráveis, ao menos uma unidade geradora da UHE Marimbondo deverá ser mantida à disposição para ser despachada pela programação energética, e ainda que, para fins de atendimento aos requisitos de inércia mínima (IO-CG.BR.01), são necessárias ao menos 3 (três) unidades sincronizadas naquela usina, **entendemos que a conversão de todas UG da UHE Marimbondo para possibilitar a operação como compensadores síncronos sendo, neste momento, recomendável 4 (quatro) unidades simultaneamente.** Com esta composição mínima, assegura-se a flexibilidade operativa e o atendimento simultâneo a ambas as premissas, mesmo se uma das unidades geradoras convertidas estiver em manutenção, podendo ser indicada no futuro a conversão de mais unidades em função das necessidades sistêmicas.

A composição da UHE Marimbondo com três unidades sincronizadas, sendo uma com despacho de potência ativa e duas como compensadores síncronos, oferece ao SIN a capacidade de absorção de 480 Mvar em condições nominais. Avaliações preliminares no horizonte de médio prazo (ano de 2027) indicam que, em conjunto aos reforços relacionados no início do capítulo e demais recursos disponíveis no SIN, essa composição da UHE Marimbondo seria suficiente para tornar desnecessária a abertura de linhas de transmissão para controle de tensão na região de influência da usina em patamares de carga reduzida. A quarta unidade convertida, se estiver disponível, pode também ser sincronizada para aumentar a robustez do controle de tensão.

Em dezembro de 2022, o ONS publicou o relatório [7] em cujo Volume I Tomo 3 foram propostas soluções estruturais no horizonte de médio prazo com o propósito de minimizar o número de aberturas de linhas de transmissão para controle de tensão durante os períodos de carga leve e mínima, problema vivenciado pelo tempo real. Entre as premissas das análises que resultaram nessa proposição, foi considerada a operação como compensadores síncronos de quatro unidades da UHE Marimbondo e de três unidades da UHE São Simão (já indicadas em PTSA específico).

Com relação à priorização para a execução dos serviços necessários para viabilizar a operação das unidades geradoras como compensadores síncronos, não existem razões elétricas que permitam a diferenciação entre as unidades. No entanto, sugere-se que seja dada prioridade às unidades que compartilhem disjuntores com equipamentos de transmissão (linhas de transmissão e transformadores) para evitar a necessidade de desligamento destes em caso de redução da geração da usina reduzindo a confiabilidade da subestação.

Neste sentido, recomenda-se priorizar a disponibilização dos recursos para conversão para compensador síncrono na seguinte sequência:

- UG 8, pois compartilha disjuntores com as LT 500 kV Marimbondo – Morro Agudo, LT 500 kV Marimbondo – Itumbiara e LT 500 kV Marimbondo – Marimbondo II C3;
- UG 7, pois compartilha disjuntores com a LT 500 kV Marimbondo – Água Vermelha e LT 500 kV Marimbondo – Marimbondo II C3;
- UG 6, pois compartilha disjuntores com a LT 500 kV Marimbondo – Marimbondo II C2;
- UG 5, pois compartilha disjuntores com a LT 500 kV Marimbondo – Marimbondo II C2;

O diagrama unifilar da UHE Marimbondo está contido na seção de anexos deste relatório.

7.3 Controle secundário de frequência

A UHE Marimbondo já é prestadora de serviço ancilar de controle secundário da frequência participando do Controle Automático de Geração (CAG).

8 Análise econômica

Tendo em vista as particularidades envolvidas na conversão de unidades geradoras, que podem prover serviços de transmissão, para a análise econômica foram comparados os custos totais de cada uma das alternativas, buscando incorporar as parcelas de investimento, operação, manutenção e perdas.

Para fins de avaliação da comparação foram consideradas soluções para atender exclusivamente a necessidade de potência reativa caracterizada para solucionar as dificuldades de controle de tensão registradas na seção 7.2. Os outros benefícios obtidos pela operação das UG como compensadores síncronos (inércia, potência de curto-circuito, resposta dinâmica, por exemplo) não foram considerados nesta avaliação.

Na comparação de custos foram elaboradas duas alternativas adicionais, de desempenho elétrico semelhante para solucionar as sobretensões identificadas na região, compatíveis com a potência total equivalente à avaliada para a usina.

- **Alternativa 1:** Conversão de quatro unidades geradoras da UHE Marimbondo para operação como Compensadores Síncronos;
- **Alternativa 2:** Implantação de três reatores de barra de 136 Mvar e adequações em subestações;
- **Alternativa 3:** Implantação de dois compensadores síncronos de (-300/+300) Mvar.

Tabela 8-1: Parâmetros e premissas da análise econômica

Parâmetro	Valor
Taxa de Desconto (a.a.)	8%
Investimento Conversão Máquinas (R\$ Milhões) - Proporcional	15,00
Potência absorção por máquina (Mvar)	160
Potência absorção usinas máxima (Mvar)	480
Duração Total (h) do Mvar em uso/Ano	1148
Geração reativa total (Mvarh/Ano)	551040
Tarifa Serviços Ancilares (R\$/Mvarh)	8,41
O&M interna à RAP	2%
CME (R\$/MW)	196,05
Perdas de um Compensador Síncrono	1,3%
Perdas de uma máquina convertida para operação com CS	1,5%

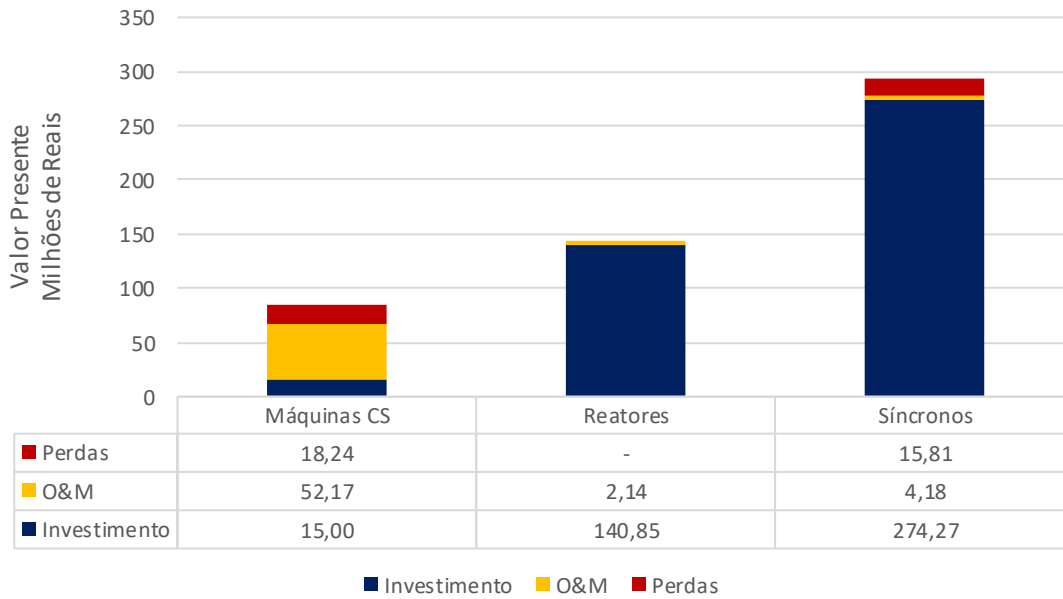
Destaca-se que foi considerada apenas a utilização de unidades geradoras como compensadores síncronos que estão fora de operação por razões energéticas durante os cenários de carga leve e mínima (Duração Total em horas do Mvar em uso/Ano). Neste sentido, o acionamento destas UG para a prestação do serviço de suporte de potência reativa por necessidade sistêmica não resulta em custos de oportunidade pois não impacta no *unit-commitment* da usina e, conseqüentemente, no seu ponto de operação ótimo.

Tendo em vista as características distintas dos ativos em sua forma de remuneração, na qual a conversão das máquinas como um ativo de geração estaria sujeita a um investimento a ser ressarcido via ESS e uma remuneração adicional, via tarifa de serviços ancilares, para cobertura dos custos adicionais e os reatores e síncronos estariam sujeitos a uma RAP, que já conta com todos os custos (CAPEX e OPEX), foram estabelecidos fluxos de caixa para cada uma das alternativas e durante um período de 30 anos e realizada uma avaliação de custos a valor presente.

As estimativas de RAP para os equipamentos de transmissão avaliados foram obtidas a partir de autorizações e licitações de equipamentos similares na região. Para os reatores considerou-se uma RAP proporcional à estabelecida em [7], por sua vez, para os compensadores síncronos considerou-se uma RAP proporcional à do preponente vencedor do Lote 4, composto por três Síncronos de -300/+300 Mvar na SE Estreito, do leilão de transmissão 002/2021.

A Figura 8-2 sintetiza os resultados obtidos, com os custos de investimento total das alternativas em valor presente, os custos estimados em O&M e as perdas elétricas adicionais, valoradas a um CME de R\$196,05 R\$/MW.

Figura 8-2 Custos totais de cada uma das alternativas avaliadas



O resultado da comparação econômica demonstra que a conversão das máquinas da UHE Marimbondo é a de menor custo global quando somados os custos de investimentos, O&M e perdas entre as alternativas. Além disso, essa solução apresenta vantagens como menor prazo para entrada em operação e proporciona maior flexibilidade operativa na operação conjunta da usina.

- [1] ONS, Procedimentos de Rede, [Submódulo 3.11 "Análise técnica dos serviços ancilares de suporte de reativos, controle secundário de frequência e autorrestabelecimento integral"](#) vigência em 17 de setembro de 2021;
- [2] ANEEL, [Resolução nº1030/2022 Título III "Dos serviços ancilares e adequação de instalações de centrais geradoras"](#), de 26 de julho de 2022;
- [3] FURNAS, Ofício DE.E.014.2022 "UHE Marimbondo – Consulta para Implantação de Sistema de Ar de Rebaixamento das Unidades Geradoras para Operação como Compensador Síncrono", de 04 de abril de 2022;
- [4] Notas de Reunião, 26/05/2022. Esclarecimentos para a resposta da Carta DE.E.014.2022 – Conversão UGs da UHE Marimbondo
- [5] ANEEL, RESOLUÇÃO AUTORIZATIVA Nº 9.693, DE 9 DE FEVEREIRO DE 2021
- [6] Quadro Resumo - Resultados da Sessão Pública do Leilão nº 2/2021- ANEEL realizado em 17/12/2021, disponível em [Resultados da Sessão Pública do Leilão nº 2/2021-ANEEL realizado em 17/12/2021](#)
- [7] RT-ONS DPL 0637/2022, Plano da Operação Elétrica de Médio Prazo do SIN - PAR/PEL 2022 – ciclo 2023-2027, Dezembro de 2022.

