

Título: Análise de erro no cálculo da energia fio d'água líquida histórica do REE Teles Pires com a representação da expansão da usina hidrelétrica Juruena.**Nº de Páginas:** 17**Nº de Anexos:** 0**Dados do Cliente:**

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO – ONS

Rua Júlio do Carmo, 251 – Cidade Nova - Rio de Janeiro – RJ, CEP: 20211-160

Responsável:

Sra. Tatiana Frade Gonçalves Mundstock

Email: tatiana@ons.org.br**Departamento:** Departamento de Sistemas Eletroenergéticos**Nº do PEP:** CPCT.ONOE00.790.004**Centro de Lucro:** C250000101**Centro de Custo:** C205000021

Resumo: Este documento analisa a ocorrência de impressões "NaN" na tabela de energia a fio d'água líquida do REE Teles Pires, observada no período pós-estudo do deck PLD Sombra Híbrido de 12/2024, utilizando a versão 30.0.2 do modelo NEWAVE. O problema foi causado por uma divisão inválida no cálculo do engolimento máximo da UHE Juruena, resultante de um erro na contabilização do número de conjuntos de usinas em expansão. Este equívoco gerou impactos nos cálculos associados à sazonalização das variáveis de cota de montante (CMONT) e canal de fuga (CFUGA) nos períodos estáticos. A correção implementada na versão 30.0.4 ajustou o processo de identificação dos conjuntos de unidades geradoras e adicionou tratamentos para evitar divisão por zero, resultando em maior consistência nos resultados operativos, como aumento de vertimentos, redução da geração hidráulica e aumento no armazenamento de água no REE Teles Pires.

Autores:

Rafael Rates Olasagasti

Robério da Rocha Barboza

Cristiane Barbosa da Cruz Oliveira

Palavras-Chave:

ENERGIA FIO D'ÁGUA, MARS, VERTIMENTO A FIO D'ÁGUA, EXPANSÃO DE USINAS HIDRÁULICAS

Classificação de acesso:☒ Público ☐ Interno ☐ Setorial ☐ Confidencial**Aprovação e data de emissão****Flávio Rodrigo de Miranda Alves**
Chefe do Departamento de Sistemas
Eletroenergéticos**Tel.:** (21) 2598-6258**E-mail:** frma@cepel.br**Aprovação e data de emissão****Mauricio Barreto Lisboa**
Diretor de Tecnologia

ÍNDICE

SUMÁRIO EXECUTIVO	2
1 INTRODUÇÃO	4
2 DIAGNÓSTICO	4
3 TRATAMENTOS E AJUSTES INCLUÍDOS NO MODELO	9
4 COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DO PLD SOMBRA HÍBRIDO DE 12/2024.....	9
5 CONCLUSÕES.....	15
6 REFERÊNCIAS	17

SUMÁRIO EXECUTIVO

Esse relatório apresenta a avaliação de valores “NaN” nas tabelas de energia fio d’água líquida para o REE Teles Pires no período pós-estudo.

Motivação: Um agente reportou a ocorrência de “NaN” (Not a Number) nas impressões da energia fio d’água líquida do REE Teles Pires no período pós-estudo do deck PLD Sombra Híbrido de 12/2024 utilizando a versão 30.0.2 do modelo. Além disso, foi observado pelo agente valores de Custo Marginal de Operação (CMO) bem abaixo dos valores esperados para os últimos anos do estudo. Este problema também foi discutido na 132ª reunião da FT-NEWAVE, realizada no dia 10/12/2024.

Metodologia: A análise iniciou-se utilizando dados do deck PLD Sombra Híbrido de 12/2024, executado com a versão 30.0.2 do modelo NEWAVE. Verificou-se que o problema era decorrente de uma divisão inválida no cálculo do engolimento máximo da UHE Juruena, causada por um erro na contabilização dos conjuntos de usinas em expansão. A investigação incluiu uma revisão detalhada das condições de entrada especificadas nos arquivos modif.dat e exp.h.dat. Nessa análise, identificaram-se situações em que o erro pode ser contornado por dados de entrada. Foi constatado que o erro ocorre em casos com sazonalização ativada e usinas em expansão iniciando o estudo com conjuntos de máquinas vazios, cujas datas de entrada estavam dentro do horizonte do estudo.

Para resolver o problema, foi ajustado o processo de identificação de novos conjuntos de unidades geradoras adicionados através do arquivo exp.h.dat. Também foram implementados tratamentos nos cálculos da sazonalização para evitar divisões por zero. Após essas correções, os resultados foram reavaliados utilizando a versão 30.0.4 do modelo.

Resultados: Os resultados obtidos com a versão 30.0.4 demonstram a correção das impressões de energia a fio d’água líquida, dos parâmetros das retas da função de perdas a fio d’água, da energia natural líquida, da energia hidráulica máxima e das parábolas de correção da energia hidráulica máxima.

Em relação aos resultados operativos, os vertimentos foram representados de forma mais adequada, resultando em aumento dos mesmos e redução do montante de geração hidráulica nos estágios do período pós-estudo. O armazenamento do REE Teles Pires passou a ter maior influência nas funções de custo futuro, proporcionando maior estímulo ao uso estratégico da água no futuro. O REE Teles Pires armazenou mais água e apresentou menor amplitude de variações ao longo do período pós-estudo. E finalmente, quanto ao custo marginal de operação (CMO) médio no submercado Sudeste, com aumento observado no final do horizonte devido à correção do erro, que passou a considerar adequadamente as perdas a fio d’água e os limites de geração do REE Teles Pires.

1 INTRODUÇÃO

No dia 06/12/2024, um agente reportou a ocorrência de "NaN" (Not a Number) nas impressões da energia fio d'água líquida do REE Teles Pires no período pós-estudo do deck PLD Sombra Híbrido de 12/2024 utilizando a versão 30.0.2 do modelo. Além disso, foi observado pelo agente valores de Custo Marginal de Operação (CMO) bem abaixo dos valores esperados para os últimos anos do estudo. Este problema também foi discutido na 132ª reunião da FT-NEWAVE, realizada no dia 10/12/2024.

A Figura abaixo apresenta o print de uma das tabelas de energia fio d'água líquida do período pós que apresentaram "NaN":

REE: TPIRES	ENERGIA FIO D'AGUA LIQUIDA (MWmes)												CONFIGURACAO DO PERIODO: JAN/POS
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1931	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
1932	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
1933	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
1934	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
1935	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
1936	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
1937	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
1938	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
1939	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
1940	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
1941	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
1942	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
1943	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
1944	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
1945	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
1946	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
1947	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
1948	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	

Figura 1.1 – Energia fio d'água líquida do REE Teles Pires em janeiro do pós estudo na versão 30.0.2.

No que diz respeito aos dados da configuração hidrelétrica, especificamente ao Reservatório Equivalente de Energia (REE) Teles Pires, o caso analisado representa a usina hidrelétrica (UHE) Juruena deste REE declarada como "EE" (Existente em Expansão) no arquivo de configuração das usinas hidrelétricas (confhd.dat). No arquivo de modificação das UHEs (modif.dat), constam registros que especificam a existência de *um conjunto de unidades geradoras com zero unidades geradoras*. Já no arquivo de expansão hidrelétrica (exph.dat), está declarada a entrada de *duas máquinas no conjunto 1* da usina. Além disso, neste caso, a sazonalização da cota de montante (CMONT) e da cota do canal de fuga (CFUGA) estão ativas no arquivo de dados gerais (dger.dat).

Sendo assim, este documento apresenta um relato do processo de avaliação e solução conduzido pelo CEPEL para essa questão, bem como os resultados obtidos após a implementação da solução.

2 DIAGNÓSTICO

Na linguagem computacional utilizada no desenvolvimento do modelo NEWAVE, o valor "NaN" como resultado de uma operação, usualmente indica a ocorrência de alguma operação matemática inválida, como por exemplo, divisão por zero, raiz quadrada de um número negativo ou operação envolvendo "NaN".

Dessa forma, foram levantadas quais variáveis estão envolvidas no cálculo da energia fio d'água líquida histórica, a fim de identificar qual parcela ou etapa do cálculo retorna o valor "NaN". A energia fio d'água líquida histórica é calculada por:

Análise de erro no cálculo da energia fio d'água líquida histórica do REE Teles Pires com a representação da expansão da usina hidrelétrica Juruena

$$EFIO_{t,i} = \sum_{k=1}^{NFIO \in i} qinc_{t,k} \cdot prod_{t,k} \quad (1)$$

onde,

$EFIO_{t,i}$: energia fio d'água líquida do REE i no período t .

$qinc_{t,k}$: vazão incremental da usina hidrelétrica a fio d'água k no período t .

$prod_{t,k}$: produtividade equivalente da usina hidrelétrica a fio d'água k no período t .

A vazão incremental para o cálculo da energia fio d'água líquida histórica é limitada pelo engolimento máximo das usinas hidrelétricas que compõe o mesmo:

$$qinc_{t,k} = \text{Min}(qinc_{t,k}, qturmax_{t,k}), k \text{ é fio d'água} \quad (2)$$

onde,

$qturmax_{t,k}$: turbinamento máximo da usina hidrelétrica k , no período t .

Esse engolimento máximo, por sua vez, é calculado considerando os limites máximos da turbina e do gerador conforme descrito a seguir:

$$qturmax_{t,k} = \text{Min}\left(qtur_{t,k} = qef_{t,k} \left(\frac{heq_{t,k}}{hncj_{t,k}}\right)^{kturb_k}, qger_{t,k} = \frac{pinst_{t,k}}{prod_{t,k}}\right), k \text{ é fio d'água} \quad (3)$$

onde,

$qtur_{t,k}$: engolimento máximo das turbinas da usina hidrelétrica k , no período t .

$qef_{t,k}$: vazão efetiva da usina hidrelétrica k , no período t .

$heq_{t,k}$: altura de queda equivalente da usina hidrelétrica k , no período t .

$hncj_{t,k}$: altura de queda nominal do conjunto de máquinas da usina hidrelétrica k , no período t .

$kturb_k$: constante que depende do tipo de turbina da usina hidrelétrica k .

$qger_{t,k}$: engolimento máximo dos geradores da usina hidrelétrica k , no período t .

$pinst_{t,k}$: potência instalada na usina hidrelétrica k , no período t .

Com isso, foi identificado que o problema era causado pelo valor do engolimento máximo do conjunto turbina-gerador de Juruena devido a uma divisão inválida com $hncj_{t,k} = 0$ nos períodos de POS estudo. Essa operação inválida, que resultava em um valor "NaN" nos períodos pós, ocorria em virtude da sazonalização da cota do canal de fuga que, naturalmente, realizava o recálculo do engolimento máximo do conjunto turbina-gerador, mas, neste caso, com valores equivocados.

O equívoco estava na contabilização da quantidade de conjuntos de usinas em expansão, que considera tanto o número de conjuntos geradores no início do estudo quanto os novos conjuntos definidos no arquivo de expansão. Isso ocorre desde a validação da funcionalidade da sazonalização da cota de montante e da cota do canal de fuga até a versão 30.0.2 do modelo. Em representações como a do caso em questão, houve dupla contabilização do conjunto declarado no modif.dat sem máquinas e a entrada de sua primeira máquina no arquivo de expansões. A versão do modelo contabilizava um novo conjunto na usina sempre que a primeira máquina era adicionada na expansão. Vale ressaltar que essa contabilização estava limitada às variáveis utilizadas na sazonalização do CMONT e CFUGA nos períodos estáticos. Embora tenha ocorrido em um caso híbrido, essa contabilização não tem relação com a representação individualizada, podendo ocorrer também em estágios com a representação agregada da configuração hidrelétrica em REE.

Em resumo, o erro ocorria em casos nos quais a funcionalidade de sazonalização das cotas de montante e canal de fuga nos períodos estáticos estava ativada, e em que havia usinas existentes em expansão (EE) iniciando o estudo com conjuntos de máquinas vazio (sinalizado no modif.dat), cujas máquinas tenham data de entrada ainda no horizonte do estudo, conforme o arquivo de expansão (exp.dat). Embora a usina Juruena tenha sido representada desta forma, essa situação pode ser contornada ao ajustar os dados de entrada, representando a usina de Juruena no modif.dat como não tendo nenhum conjunto no início do estudo e mantendo as expansões do exp.dat.

Como comentado anteriormente, especificamente no deck PLD Sombra Híbrido de 12/2024, a UHE Juruena possui a modificação para ter 1 (um) conjunto de máquinas geradoras com 0 (zero) unidades geradoras. Sendo assim, quando as unidades geradoras do conjunto 1 foram declaradas no arquivo de expansão, o modelo entendeu que estava sendo criado um novo conjunto, pois ele não possuía máquinas até então e, com isso, estavam sendo considerados 2 (dois) conjuntos geradores para Juruena no cálculo da sazonalização. Como existe o cadastro de apenas um conjunto no hidr.dat para Juruena, o outro conjunto possuía valores nulos para o cálculo do engolimento máximo, incluindo a altura equivalente do conjunto, levando a ocorrência do "NaN".

Além do erro detectado no cálculo da energia fio d'água líquida histórica, nesta seção são analisados outras variáveis associadas ao REE Teles Pires que também são impactadas pelo erro de contabilização das unidades da usina de Juruena.

No processo de ajustes dos coeficientes das curvas que representam a função de perdas a fio d'água através do algoritmo MARS [2], o fato do parâmetro de energia fio d'água líquida ser "NaN", nos períodos pós estudo, fez com que os coeficientes das curvas da função de perdas fio d'água ficassem zerados para estes períodos. As equações a seguir apresentam tais restrições:

$$PFIO_{t,i} \geq a_{t,i,j}^{PFIO} \cdot \left((1 - \gamma_{t,i}) \cdot ENA_{t,i} + \sum_{m=1}^{MONT^i} c_{t,m}^{ACPL} \cdot \left(\sum_{c=1}^{NPMC} GHC_{t,m,c} + EVERT_{t,m} \right) - d_{t,i}^{ACPL} \cdot DSVF_{t,i} \right. \\ \left. - \sum_{m=1}^{MONT^i} [(e_{t,m}^{ACPL} \cdot DSVF_{t,m}) + cvm_{t,m}^{ACPL} \cdot EVM_{t,m}] \right) + b_{t,i,j}^{PFIO}, j = 1, 2 \text{ e } 3 \quad (4)$$

$$PFIO_{t,i} \geq 0 \quad (5)$$

$$j = 1, 2 \text{ e } 3$$

onde,

$a_{t,i,j}^{PFIO}$: coeficiente angular da reta j para representar as perdas a fio d'água no REE i , no período t .

$b_{t,i,j}^{PFIO}$: coeficiente linear da reta j para representar as perdas a fio d'água no REE i , no período t .

$\gamma_{t,i}$: fator de separação das energias afluentes em controlável e fio d'água no REE i , no período t .
Corresponde a parcela controlável.

$c_{t,m}^{ACPL}$: fator de acoplamento hidráulico referente à parcela do REE m que entrará como recurso a fio d'água no REE a jusante i , no período t .

$d_{t,i}^{ACPL}$: fator de acoplamento hidráulico referente ao desvio fio a d'água que sera desviado do próprio REE i no período t .

$e_{t,m}^{ACPL}$: fator de acoplamento hidráulico referente à parcela do desvio a fio d'água do REE m que será desviado do REE a jusante i , no período t .

$cvm_{t,m}^{ACPL}$: fator de acoplamento hidráulico referente à perda a fio d'água devida ao enchimento de volume morto do REE m no REE a jusante de i no período t .

$PFIO_{t,i}$: perdas fio d'água do REE i , no período t .

$ENA_{t,i}$: energia afluente do REE i , no período t .

$GHC_{t,i,c}$: geração hidráulica controlável do REE i , no período t e patamar c .

$EVERT_{t,i}$: energia vertida do REE i , no período t .

$DSVF_{t,i}$: energia de desvio fio d'água no REE i , no período t .

$EVM_{t,i}$: energia de enchimento de volume morto do REE i , no período t .

Como os coeficientes ficavam zerados, as curvas indicadas pela equação (4) se tornavam iguais a equação (5), ou seja, os valores de perdas fio d'água mínimos obrigatórios para o REE Teles Pires não estavam sendo considerados pelo modelo no período pós. Uma vez que as perdas fio d'água são penalizadas na função objetivo, o modelo busca manter os valores os mais próximos do mínimo possível, neste caso, os valores de perdas fio d'água do REE Teles Pires no período pós se aproximavam de zero. Essa redução não realista das perdas fio d'água fazia com que ocorresse um aumento na geração fio do REE em questão, uma vez que as perdas fio d'água entram na equação de balanço fio d'água, conforme a equação a seguir:

$$\begin{aligned}
 GFIO_{t,i} + PFIO_{t,i} &= (1 - \gamma_{t,i}) \cdot ENA_{t,i} + \sum_{k=1}^{MONT^i} \left[c_{t,k}^{ACPL} \cdot \left(\sum_{c=1}^{NPMC} GHC_{t,k,c} + EVERT_{t,k} \right) - cvm_{t,k}^{ACPL} \cdot EVM_{t,k} \right] - d_{t,i}^{ACPL} \\
 &\quad \cdot DSVF_{t,i} - \sum_{k=1}^{MONT^i} e_{t,k}^{ACPL} \cdot DSVF_{t,k}
 \end{aligned} \tag{6}$$

onde,

$GFIOL_{t,i}$: geração hidráulica fio d'água no REE i , no período t .

Outra variável, neste caso utilizado apenas para impressão, a energia natural líquida também ficou com valores "NaN", pois seu cálculo depende da energia fio d'água líquida, como mostra a equação abaixo:

$$ENAT_{t,i} = ECONT_{t,i} + EFIO_{t,i} \quad (7)$$

onde,

$ENAT_{t,i}$: energia natural líquida do REE i no período t .

$ECONT_{t,i}$: energia controlável do REE i no período t .

Por fim, o engolimento máximo do conjunto turbina-gerador, que apresentou valores "NaN" durante o período pós, fez com que a energia hidráulica máxima, utilizada apenas para impressão, e os coeficientes da parábola de correção da mesma ficassem com valores "NaN". A energia hidráulica máxima é calculada pela equação (8) e a energia hidráulica máxima corrigida em função da altura equivalente do reservatório é dada pela equação (9) [1].

$$GHMAX_{t,i} = \sum_{k=1}^{NUSI} qturmax_{t,k} \cdot prodt_{t,k} \quad (8)$$

onde,

$GHMAX_{t,i}$: geração hidráulica máxima do REE i no período t .

$$GHC_{t,i,c} + GFIOL_{t,i} \cdot fpeng_{t,c} \leq ghmax_{t,i}(earm_{t,i}) \cdot fpeng_{t,c} \quad (9)$$

onde,

$GHC_{t,i,c}$: geração hidráulica controlável no REE i , no período t e patamar de carga c .

$fpeng_{t,c}$: fator de duração do patamar de carga c no período t .

$ghmax_{t,i}$: função de correção da energia hidráulica máxima do REE i no período t .

Como os coeficientes das parábolas de correção da energia hidráulica máxima em função da energia armazenada do REE Teles Pires (em verde) resultam em "NaN", eles também afetam o cálculo do coeficiente associado ao armazenamento deste REE na função de custo futuro dos períodos pós. Isso ocorre conforme mostrado na equação abaixo, onde tais coeficientes participam do cálculo do corte de Benders.

$$\begin{aligned} \frac{\partial FO_t}{\partial EARM_{t,i}} = & \lambda_{t,i}^{BH} * \{ (Y_{t,i} * ENA_{t,i}) (2a_{t,i}^{FC} EARM_{t,i} + b_{t,i}^{FC}) - (2a_{t,i}^{EVAP} EARM_{t,i} + b_{t,i}^{EVAP}) \} \\ & + \sum_{c=1}^{NPMC} \lambda_{t,c}^{GHMAX} * \sum_{i_{rest}=0 \text{ nao ativa}}^{NRE} (2a_{t,i,c,i_{rest}}^{GHMAX} EARM_{t,i} + b_{t,i,c,i_{rest}}^{GHMAX}) - \lambda_{t,i}^{MDSVC} \\ & * (2a_{t,i}^{DSVC} EARM_{t,i} + b_{t,i}^{DSVC}) + \lambda_{t,i}^{MVZm} * (2a_{t,i}^{VZM} EARM_{t,i} + b_{t,i}^{VZM}) + \lambda_{t,i}^{\delta VZM} \\ & * (2a_{t,i}^{VZM} EARM_{t,i} + b_{t,i}^{VZM}) \end{aligned} \quad (10)$$

3 TRATAMENTOS E AJUSTES INCLUÍDOS NO MODELO

Para contornar o problema da divisão por zero que ocorria no cálculo da vazão incremental máxima limitada pela turbina durante o período pós para casos com sazonalização da cota do canal de fuga, que resultava em variáveis com valores "NaN", uma alteração foi feita durante a leitura do arquivo com as expansões das usinas hidrelétrica (exph.dat). Como descrito na seção anterior, o erro estava na contabilização da quantidade de conjuntos definidos através do arquivo de expansão hidráulica, portanto, para cada registro de entrada de máquinas, passou-se a avaliar a quantidade de conjuntos adicionais definidos durante a expansão como sendo o maior valor entre: seu valor até o momento e a diferença entre o número do conjunto indicado com entrada de máquinas e o número de conjuntos existentes no início do estudo. Destacando que inicialmente o modelo considera que o número de conjuntos adicionados durante a expansão é igual a zero.

Além disso, nos cálculos para sazonalização da cota do canal de fuga, foram implementados tratamentos em todos os momentos que ocorriam divisões pela altura efetiva das máquinas do conjunto, a fim de evitar a ocorrência da divisão por zero.

4 COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DO PLD SOMBRA HÍBRIDO DE 12/2024

A seguir, apresentam-se as comparações de alguns resultados obtidos nas execuções do PLD Sombra Híbrido de 12/2024 com a versão 30.0.2 versus a versão 30.0.4.

A imagem abaixo mostra a diferença na impressão da energia fio d'água líquida histórica para o REE Teles Pires no pós estudo, onde se observa que a mesma foi corrigida.

REE: TPIRES												REE: TPIRES											
ENERGIA FIO D'ÁGUA LÍQUIDA (MWh/mês)												ENERGIA FIO D'ÁGUA LÍQUIDA (MWh/mês)											
CONFIGURACAO DO PERIODO: JAN/POS												CONFIGURACAO DO PERIODO: JAN/POS											
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT			JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT		
1931	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1931	1744.9	2052.8	2292.1	1698.2	1162.4	834.4	634.4	512.1	436.9	693.5	
1932	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1932	1577.7	1816.7	2160.1	1446.1	1004.1	732.6	568.2	466.9	404.1	366.8	
1933	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1933	1891.2	2095.4	1792.6	1681.9	1139.6	810.9	611.0	487.3	412.4	365.9	
1934	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1934	1935.2	2250.3	2258.6	1886.8	1260.2	880.3	646.6	507.0	435.0	375.3	
1935	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1935	2506.7	2138.7	2467.2	2043.8	1355.6	935.1	679.2	522.4	426.6	575.2	
1936	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1936	1381.3	2382.7	1855.6	1378.6	944.0	679.8	519.1	420.0	359.3	321.2	
1937	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1937	1275.1	1297.2	1938.9	1816.9	1204.2	833.1	606.5	467.5	382.6	436.3	
1938	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1938	2511.2	2283.4	1998.7	1297.7	886.2	635.3	483.2	388.9	331.2	973.2	
1939	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1939	1478.6	1802.6	1640.7	1176.7	808.1	585.0	448.6	363.0	312.7	281.1	
1940	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1940	2247.6	2511.6	2517.4	2508.2	1691.4	1120.2	773.1	560.6	431.6	352.7	
1941	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1941	1524.4	2097.3	2511.2	1703.3	1126.7	773.9	558.5	427.5	346.6	846.1	
1942	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1942	1560.2	1804.6	1978.5	2199.3	1425.6	952.9	664.3	488.1	380.5	650.2	
1943	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1943	1744.9	1919.4	2093.0	1903.8	1241.1	837.1	591.0	440.1	347.6	931.5	
1944	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1944	1385.2	1699.4	1755.6	1148.1	777.4	551.1	412.7	327.1	274.8	328.1	
1945	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1945	1776.3	2299.3	2512.0	2306.9	1497.4	986.6	675.5	485.3	368.5	324.0	
1946	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1946	1505.9	2361.5	2314.2	1500.6	1320.0	875.5	604.9	438.4	337.9	275.4	
1947	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1947	2322.5	2348.9	2510.9	1998.3	1286.6	853.1	587.8	426.0	326.9	492.4	
1948	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1948	1530.5	1921.6	1831.5	1292.7	853.7	585.4	422.3	321.1	259.8	252.5	
1949	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1949	2517.6	2516.6	2484.3	1805.7	1163.2	771.1	531.7	385.8	297.2	773.3	
1950	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1950	2425.0	2306.4	2463.4	1660.7	1072.2	713.7	493.9	359.6	278.7	415.5	
1951	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1951	2199.8	2234.8	2521.5	2149.1	1496.4	968.5	647.3	450.6	331.3	257.6	
1952	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1952	1470.6	1654.9	1651.9	1460.4	944.7	630.7	438.7	320.9	249.1	205.5	
1953	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1953	1493.0	1829.1	2302.5	1470.6	947.9	628.0	433.5	314.4	241.6	411.8	
1954	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1954	1485.7	2071.5	2452.4	1599.4	1024.1	672.6	457.9	326.6	247.1	197.4	

Figura 4.1 - Energia fio d'água líquido do REE Teles Pires em janeiro do pós estudo.

A figura abaixo mostra a diferença nos coeficientes das retas da função de perdas fio d'água. Observa-se que o cálculo desses parâmetros para o REE Teles Pires no pós estudo também foi corrigido.

REE: TPIRES			REE: TPIRES		
RETA	COEF. ANG	CTE	RETA	COEF. ANG	CTE
1	0.00000E+00	0.00000E+00	1	0.22589E-02	-0.39573E+00
2	0.00000E+00	0.00000E+00	2	0.87945E-01	-0.18100E+03
3	0.00000E+00	0.00000E+00	3	0.93040E+00	-0.22864E+04

Figura 4.2 – Coeficientes das retas da função de perdas fio d'água.

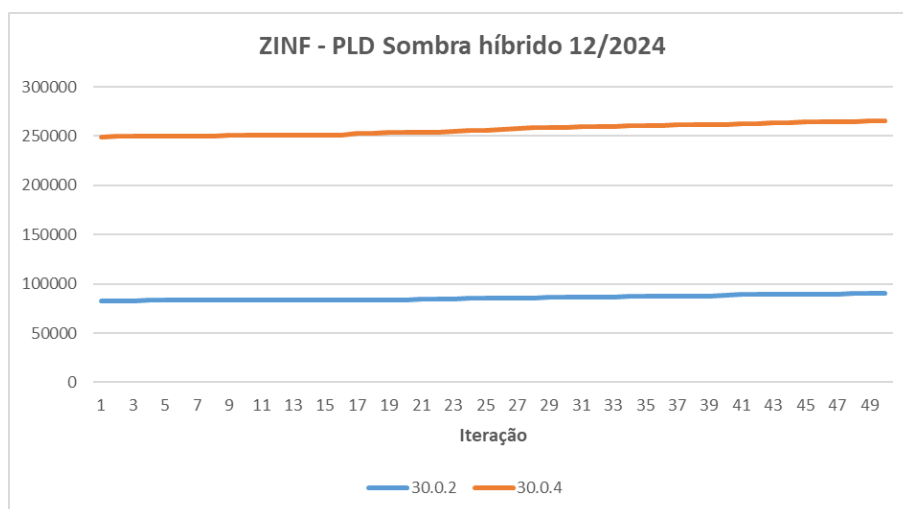


Figura 4.6 – Comparação da evolução do ZINF por iteração nas versões 30.0.2 e 30.0.4.

A figura abaixo mostra o custo esperado de operação da simulação final nas duas versões. Verifica-se que, assim como o ZINF, o custo de operação dos meses simulados na simulação final é maior na versão 30.0.4.

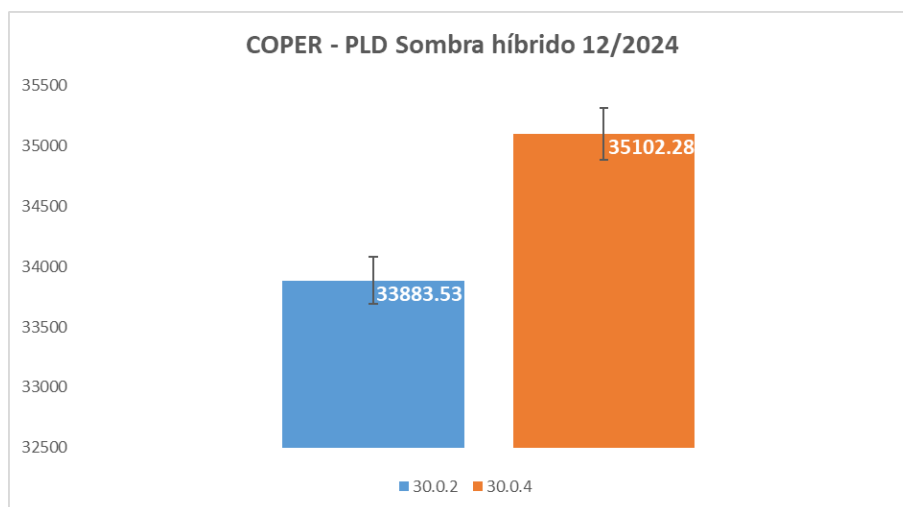


Figura 4.7 – Comparação do custo esperado de operação nas versões 30.0.2 e 30.0.4.

A figura abaixo mostra o CMO médio do submercado Sudeste ao longo do período de estudo. Nota-se que, na versão 30.0.4, há aumento no CMO ao final do horizonte de estudo, devido à correção do erro associado à representação de Juruena. Com essa correção, o modelo volta a considerar as perdas a fio d'água no REE Teles Pires, o limite máximo de geração do REE e sua contribuição no valor da água do mesmo.

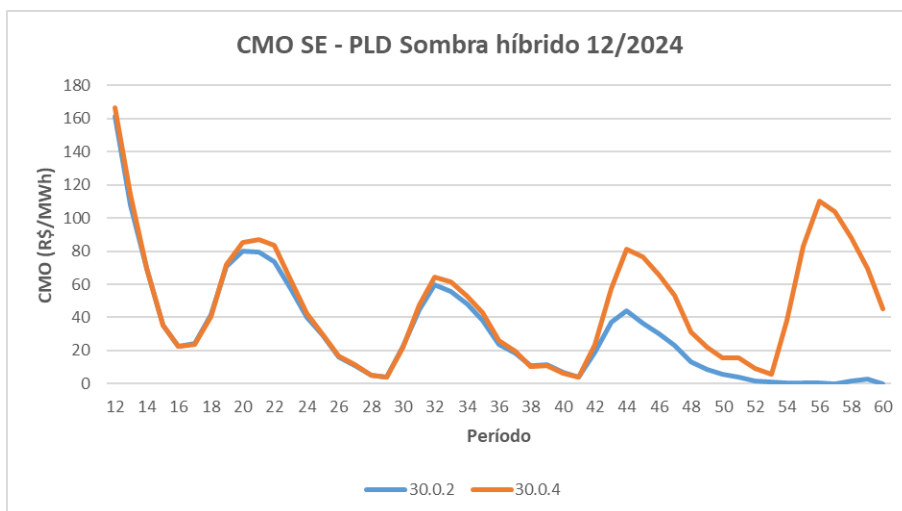


Figura 4.8 – Custo marginal de operação ao longo do período de estudo nas versões 30.0.2 e 30.0.4.

Originalmente, o deck PLD Sombra Híbrido de 12/2024 possui a simulação final apenas do período de estudo e durante todo o horizonte a configuração hidrelétrica é considerada de maneira individualizada. Para melhor compreender os impactos dos pontos analisados na seção 2 durante a etapa de construção da política dos períodos pós estudo, que são períodos agregados, o caso foi alterado para realizar a simulação final com a mesma representação do parque hidrelétrico do cálculo da política (12 meses individualizados) dos períodos de estudo e pós estudo. Portanto, a seguir são comparados os resultados das simulações finais híbridas executadas nas versões 30.0.2 e 30.0.4, onde foram considerados todos os anos do estudo, incluindo os 5 anos de pós.

A figura abaixo mostra a comparação do vertimento a fio d'água (perdas a fio d'água) do REE Teles Pires, onde se observa uma significativa redução de valor no período pós na versão 30.0.2 devido aos coeficientes nulos das retas da função de perdas fio d'água nestes períodos.

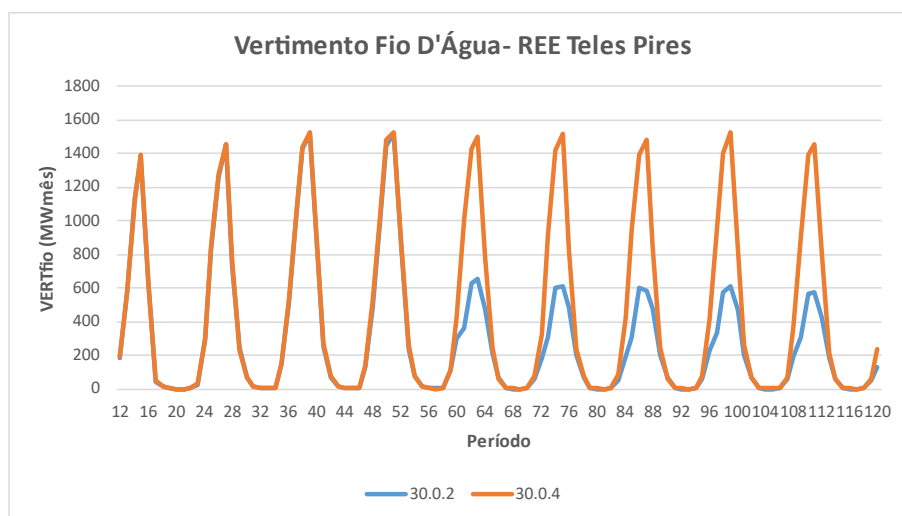


Figura 4.9 – Vertimento fio d'água do REE Teles Pires ao longo de todo o horizonte nas versões 30.0.2 e 30.0.4.

Como consequência da redução das perdas a fio d'água e desconsideração do limite máximo de geração, há o aumento da geração a fio d'água neste REE, como mostrado na imagem abaixo.

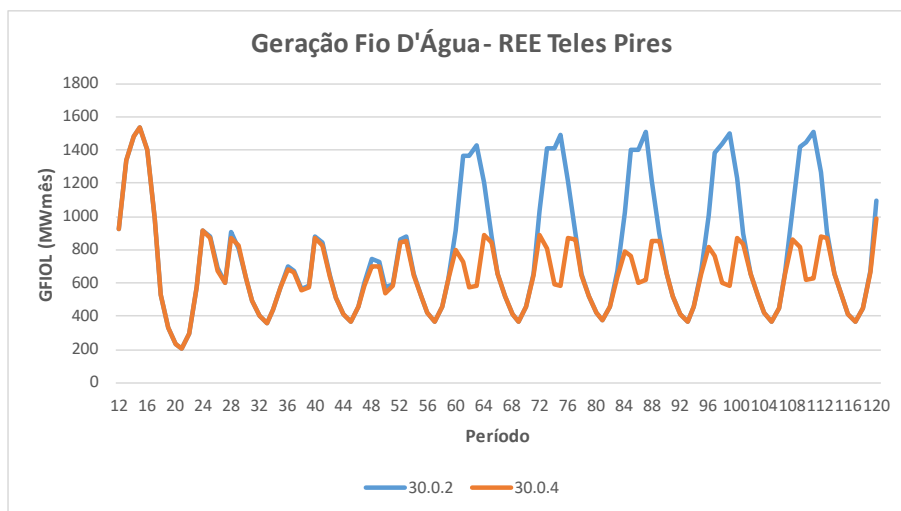


Figura 4.10 – Geração fio d'água do REE Teles Pires ao longo de todo o horizonte nas versões 30.0.2 e 30.0.4.

Além disso, os valores "NaN" na parábola de correção da energia hidráulica máxima dos REE Teles Pires nos períodos pós, tornavam inefetivo o limite superior para a geração desse REE, resultando em um aumento na geração total do mesmo.

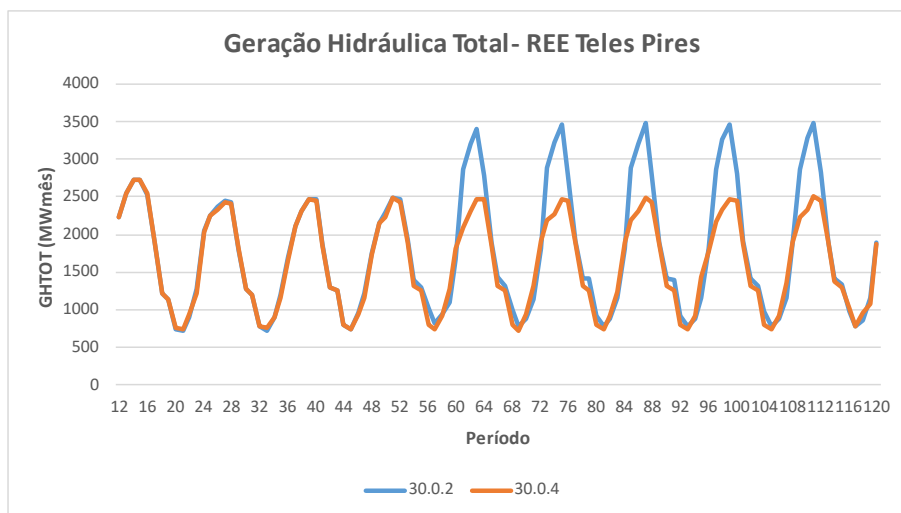


Figura 4.11 – Geração hidráulica total do REE Teles Pires ao longo de todo o horizonte nas versões 30.0.2 e 30.0.4.

Além disso, como consequência dos valores "NaN" desta parábola e do coeficiente de armazenamento da função de custo futuro, observa-se que a energia armazenada final do REE Teles Pires se mantém menor e com grandes oscilações no período pós da versão 30.0.2. Destaca-se que o erro na versão anterior do modelo fazia com que o armazenamento do REE Teles Pires não contribuísse da função de custo futuro, eliminando assim, esse possível incentivo de armazenamento de água para uso futuro.

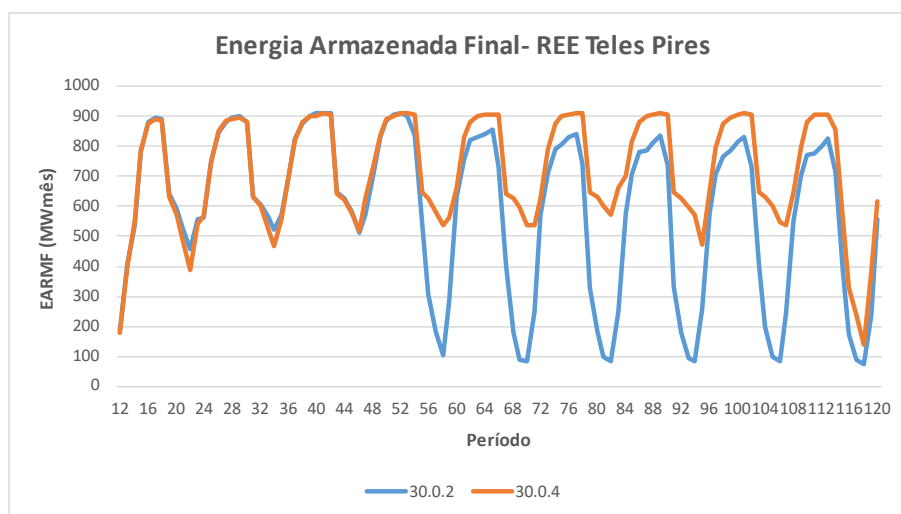


Figura 4.12 – Energia armazenada final do REE Teles Pires ao longo de todo o horizonte nas versões 30.0.2 e 30.0.4.

5 CONCLUSÕES

Este relatório apresentou a análise da ocorrência de impressões “NaN” na tabela de energia a fio d’água líquida do REE Teles Pires, observada no período pós-estudo do deck PLD Sombra Híbrido de 12/2024, executado com a versão 30.0.2. Identificou-se que o problema foi causado por uma divisão inválida no cálculo do engolimento máximo da UHE Jurueña, decorrente de um equívoco na contabilização da quantidade de conjuntos de usinas em expansão.

Em representações como a realizada para a usina de Jurueña no caso em questão, houve dupla contabilização do conjunto declarado no *modif.dat* sem máquinas e a entrada de sua primeira máquina no arquivo de expansões. A versão 30.0.2 do modelo considerava erroneamente que um novo conjunto estava sendo adicionado na usina sempre que a primeira máquina de uma expansão era incluída.

Vale ressaltar que a contabilização equivocada da quantidade de conjuntos:

- A. Era utilizada exclusivamente em etapas de cálculo associadas à sazonalização das variáveis *CMONT* e *CFUGA* nos períodos estáticos;
- B. Embora tenha sido identificado em um caso híbrido, não estava relacionado à representação individualizada, podendo ocorrer também em estágios com a representação agregada da configuração hidrelétrica em REE;
- C. As condições para ocorrência desse erro estavam presentes desde a validação da funcionalidade de sazonalização da cota de montante e do canal de fuga na versão 27 do modelo;
- D. Poderia ser contornada ajustando os dados de entrada, representando a usina de Jurueña no *modif.dat* sem nenhum conjunto no início do estudo e mantendo as expansões previstas no *exph.dat*.

Esse erro estava associado a casos que apresentavam as seguintes condições:

1. A funcionalidade de sazonalização das cotas de montante e canal de fuga nos períodos estáticos estivesse ativada;
2. Possuíssem usinas existentes em expansão (EE) iniciando o estudo com conjuntos de máquinas vazio (sinalizado no *modif.dat*) e cujas máquinas tivessem data de entrada ainda no horizonte do estudo, conforme o arquivo de expansão (*exph.dat*).

Para corrigir o problema, foi ajustado o processo de identificação de novos conjuntos de unidades geradoras adicionados através do arquivo de expansão hidrelétrica (*exph.dat*). Além disso, foram implementados tratamentos adicionais nos cálculos da sazonalização, a fim de evitar divisões por zero. Essas correções deram origem a versão 30.0.4 do modelo NEWAVE.

Por fim, foi apresentado um conjunto de resultados obtidos com a versão corrigida 30.0.4, os quais demonstraram as correções na energia fio d’água líquida, nos parâmetros das retas da função de perdas fio d’água, na energia natural líquida, na energia hidráulica máxima e nas parábolas de correção da energia hidráulica máxima.

De forma geral, os resultados operativos obtidos com a versão corrigida, ao representar adequadamente os vertimentos a fio d’água e capacidade máxima de geração do REE Teles Pires, evidenciaram aumento de vertimentos e redução do montante de geração hidráulica nos estágios do período pós. Adicionalmente, ao representar a influência do armazenamento de Teles Pires nas funções de custo futuro

do pós e, portanto, um possível estímulo ao uso da água futuro, o REE Teles Pires também passa a armazenar mais água com redução da amplitude das variações do mesmo ao longo do período pós.

6 REFERÊNCIAS

- [1] CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, "Desmistificando o REE," Apresentação no Workshop do GT Metodologia, 13 de dezembro de 2021.
- [2] Centro de Pesquisa de Energia Elétrica. Nota Técnica nº 52 - Modelagem da função de perdas a fio d'água através de MARS (Multivariate Adaptative Regression Splines). Rio de Janeiro, 2010.