

Avaliação dos resultados do modelo NEWAVE com a representação explícita da usina hidráulica Canastra na configuração hidráulica no deck preliminar de PMO de junho de 2025.

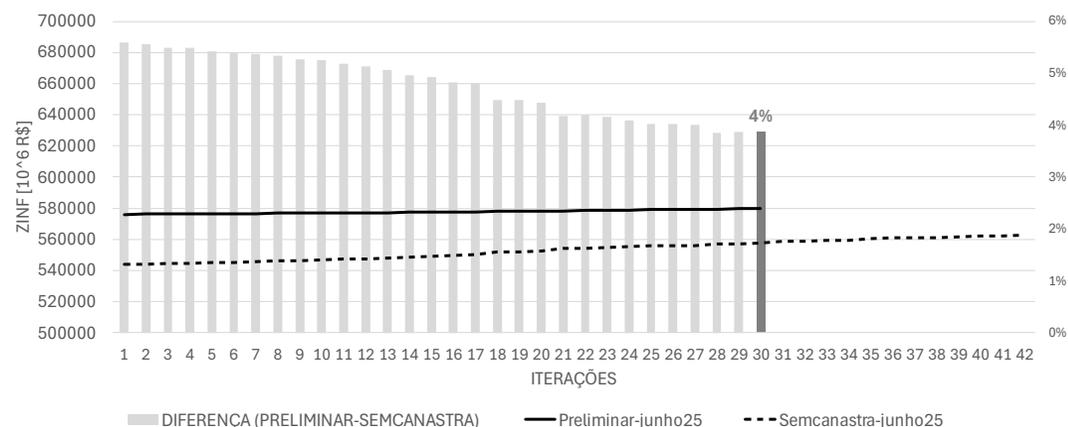
Equipes NEWAVE e GEVAZP
27 de junho de 2025

- Até o PMO de maio de 2025 a UHE Canastra era considerada como uma **usina não simulada** e sua **geração prevista** era contabilizada no bloco de pequenas usinas;
- No deck preliminar do PMO Jun/25 a usina foi **representada** de forma **explícita**, deixando a decisão de geração a critério do processo de otimização em vez de compulsória como nas representações nos decks de meses anteriores;
- Foi observado um aumento significativo do **CMO médio** entre os PMOs de MAI/25 e JUN/25 preliminar;
- Alguns agentes realizaram um caso de sensibilidade **revertendo** a usina à representação simplificada e observaram uma redução significativa do CMO ficando no **mesmo nível** do PMO **MAI/25**;
- No dia 28 de maio de 2025, o CEPEL recebeu um email do ONS relatando o comportamento **não esperado** do modelo **NEWAVE**, com **solicitação** de **análise** dos resultados.

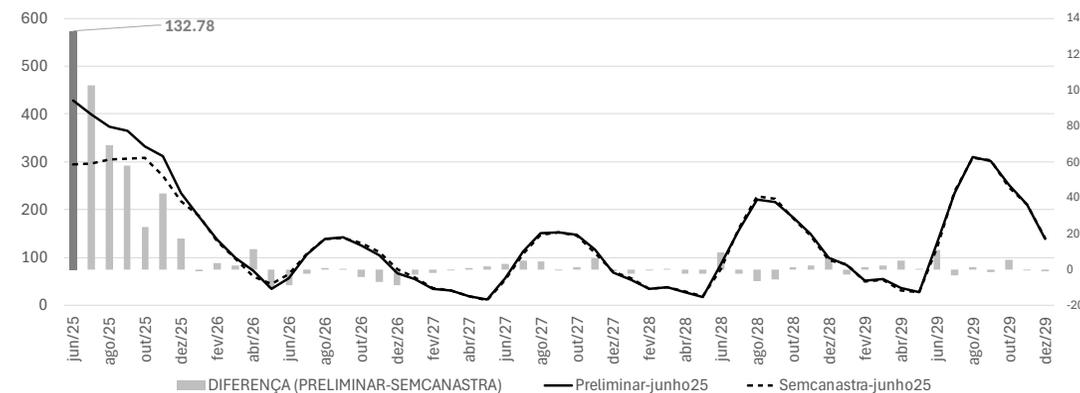
Considerações iniciais

- Considerando o fato de a usina ter uma potência instalada muito baixa (44.8 MW), ser uma usina a fio d'água e isolada em um rio, não se esperava **sensibilidade tão relevante** do modelo NEWAVE quanto à mudança de sua modelagem;
- A princípio, o **CEPEL** corrobora o entendimento de que a mudança de representação da UHE Canastra **não deveria alterar sensivelmente os resultados**.

Convergência junho de 2025 - Iterações distintas



CMO SE - Iterações distintas [R\$/MWh]



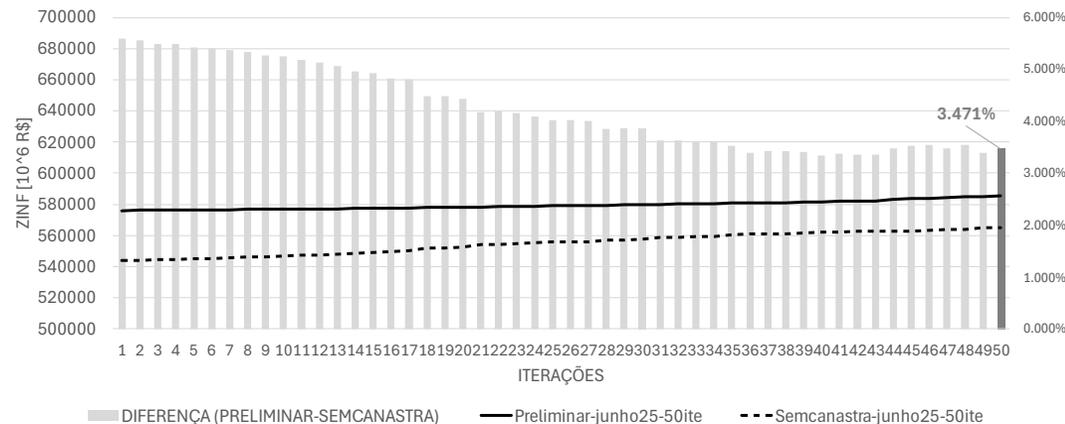
Premissas para Análise : Padronização das condições de parada

- Os casos atingiram o **critério de parada** atual com quantidade distintas de iterações, ou seja, estavam em **diferentes níveis de maturidade** para a política operativa.
- O modelo **já apresentou sensibilidade** além da esperada no PLD de setembro de 2024, ainda com representação a REE, quando foi realizada uma representação alternativa para a **geração térmica mínima** de uma usina a **GNL**.

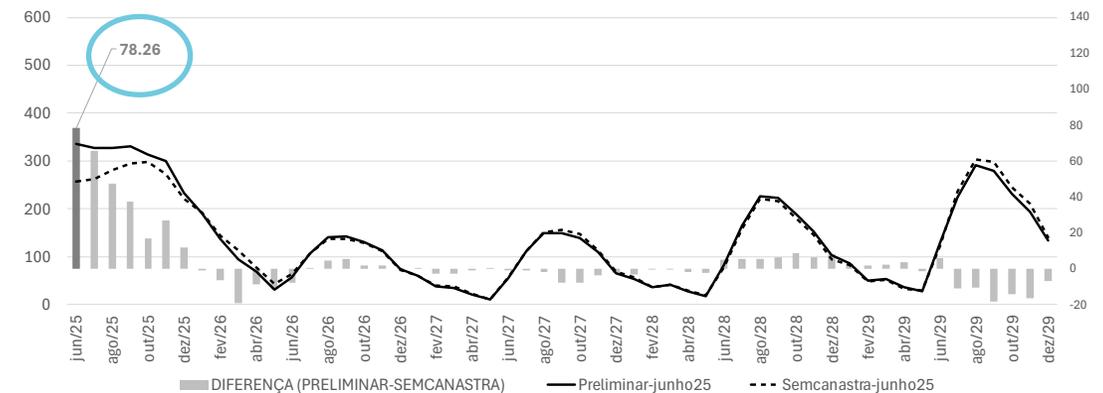
Reforçamos a importância da **adequação do critério de parada** da PDDE.



Convergência junho de 2025 - 50 iterações

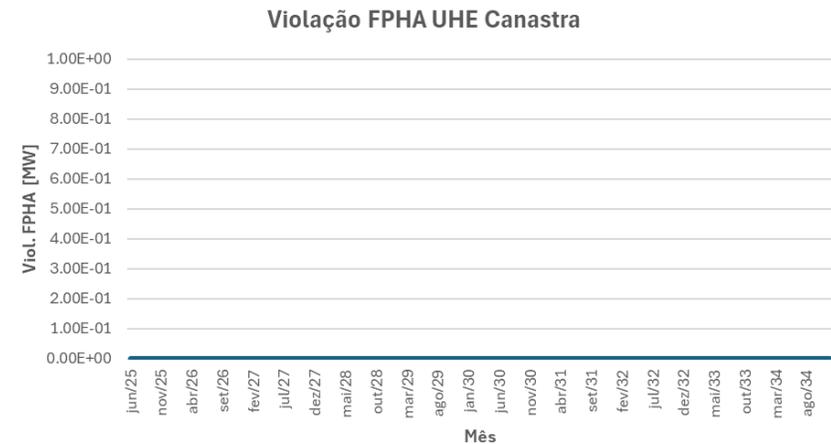
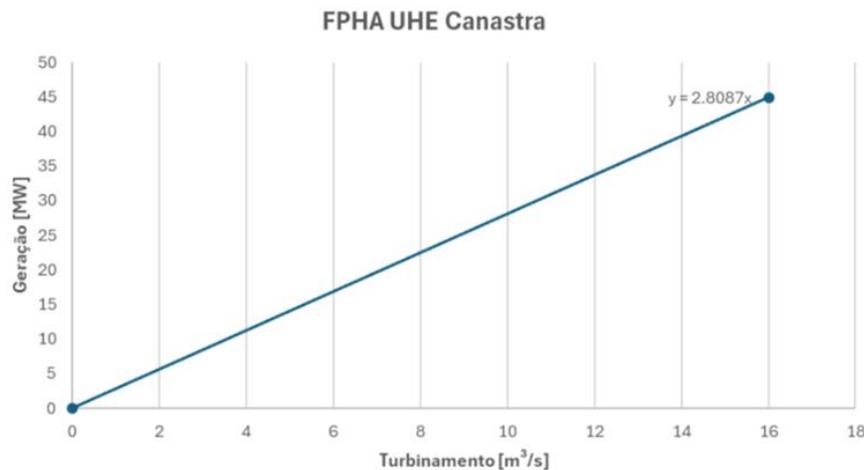


CMO SE - 50 iterações [R\$/MWh]



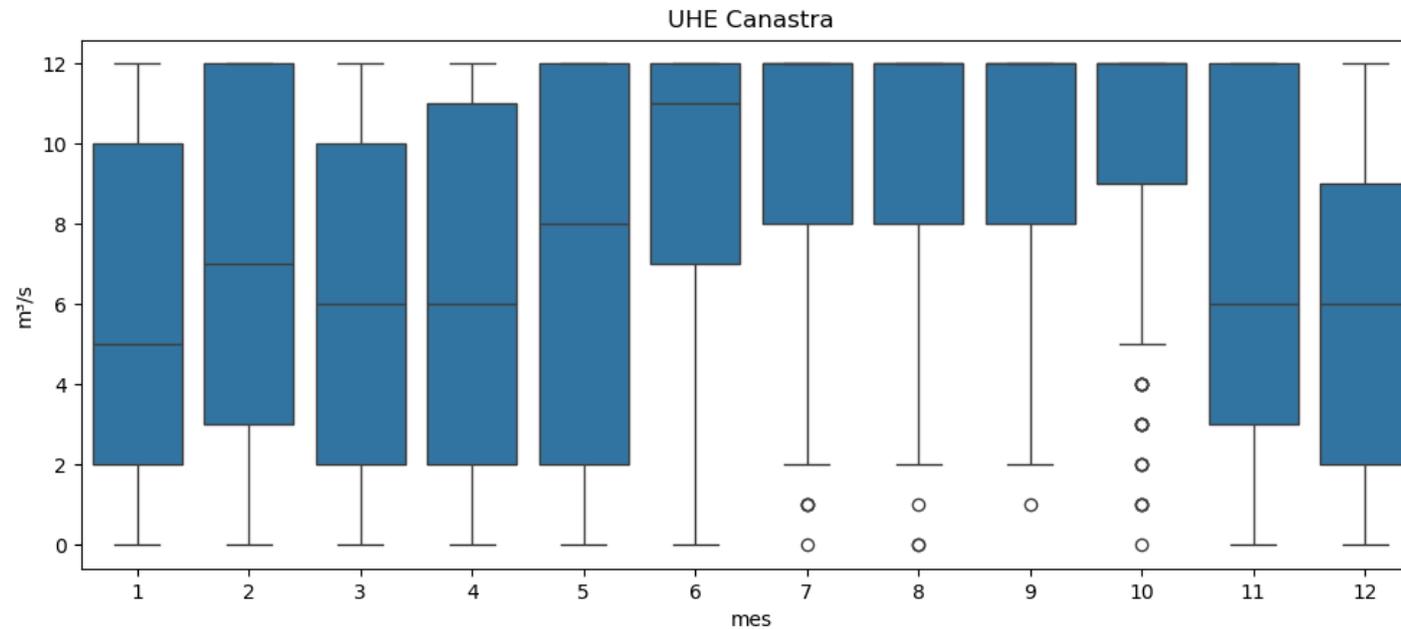
Análise das causas: Modelagem da usina?

- Não encontramos **nenhuma particularidade** na modelagem da usina quando comparada com outras usinas a fio d'água;
- A FPHA não depende do volume armazenado, e o vertimento também não influencia a cota do canal de fuga. Assim, a geração da usina é função apenas do turbinamento, e a FPHA é idêntica para todos os períodos, possuindo somente um hiperplano.



Análise das causas: Cenários de afluências para Canastra?

- Não foram encontradas anormalidades na geração de cenários para essa usina.



Histórico de afluências de 1931 a 2023

mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
historico	5.67	6.76	5.98	6.12	6.76	9.10	12.00	12.00	12.00	12.00	6.69	5.59
forward	6.14	7.21	6.30	6.46	7.29	8.36	12.00	12.00	12.00	12.00	7.63	6.44
backward	5.80	6.74	6.51	6.14	7.25	8.43	12.00	12.00	12.00	12.00	7.71	5.86
simulação	5.96	7.07	6.18	6.35	7.20	8.36	12.00	12.00	12.00	12.00	7.62	6.31

Média dos cenários gerados para a UHE Canastra

Desvio padrão dos cenários gerados para a UHE Canastra

mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
historico	4.36	4.65	4.27	4.48	4.98	3.97	0.00	0.00	0.00	0.00	4.39	4.34
forward	4.22	4.68	4.23	4.22	4.62	3.42	0.00	0.00	0.00	0.00	4.04	4.05
backward	3.40	4.17	4.85	3.76	5.86	3.07	0.00	0.00	0.00	0.00	4.09	3.55
simulação	4.06	4.76	4.22	4.19	4.50	3.12	0.00	0.00	0.00	0.00	4.12	4.00

Isolando efeitos da entrada da UHE: Cenários e PDDE

- A representação explícita de uma UHE em um modelo individualizado impacta a **geração de cenários** e também a representação dos subproblemas e variáveis de estado utilizadas na **construção da política operativa** pelo algoritmo da PDDE.
- Para **isolar** os efeitos de mudanças na geração de cenários, dada a possível a variabilidade amostral ocasionada pela entrada de um **novo objeto**, realizamos a seguinte simulação:
 - 1) Foram reaproveitados os **cenários** e **modelos autorregressivos** da rodada preliminar no caso onde a UHE Canastra foi removida do deck e sua geração média alocada no bloco de pequenas usinas.
 - 2) Assim, em ambas as execuções:
 - **Não há diferença** na representação das afluições passadas;
 - A única diferença está na representação da UHE Canastra no subproblemas e **cálculo da política**.

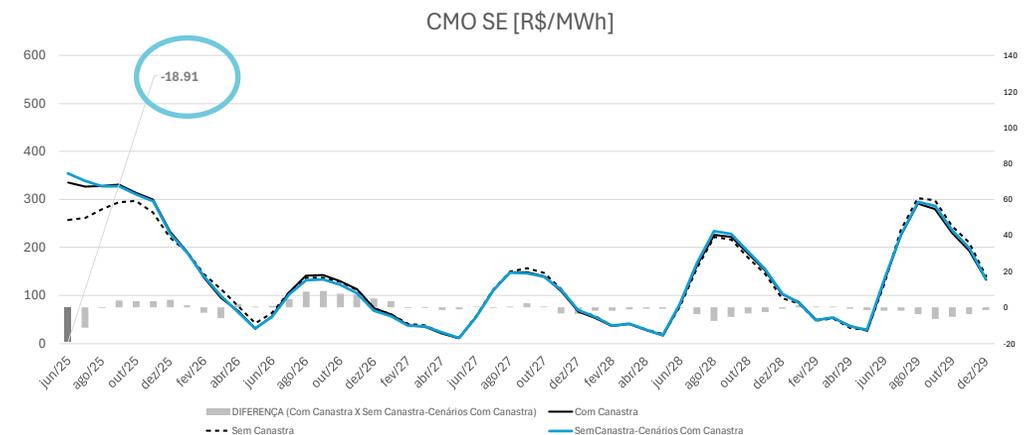
Análise das causas : análise do impacto isolado na PDDE

O caso foi executado com:

- Os **mesmos cenários** do preliminar de junho/25;
- Os **mesmos modelos autorregressivos**.

Assim, o caso “**SemCanastra-CenáriosPreliminar**” difere do preliminar apenas nos subproblemas e cálculo da política.

Dessa forma, **eventuais diferenças** seriam atribuídas exclusivamente ao cálculo da política.



Variação Amostral

O que é?

Diferenças naturais que ocorrem no processo de amostragem de uma mesma população.

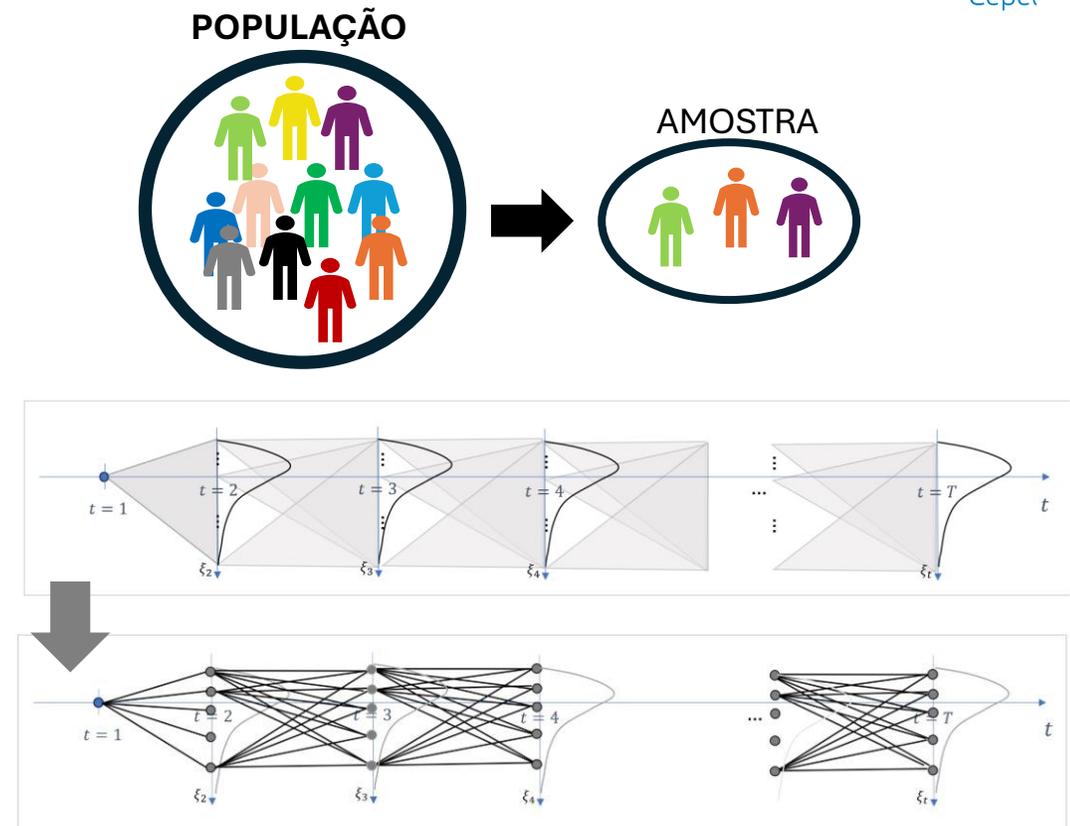
Por que ocorre?

Aleatoriedade no processo de seleção do subconjunto de representantes.

Depende da **semente** utilizada na geração de número aleatórios.

Como gerenciar?

- **Aumentar o tamanho da amostra:** amostras maiores tendem a ser mais representativas.
- **Técnicas de amostragem:** Métodos que aprimorem a representatividade da população (Amostragem seletiva, hipercubo latino, etc).



IMPORTANTE!

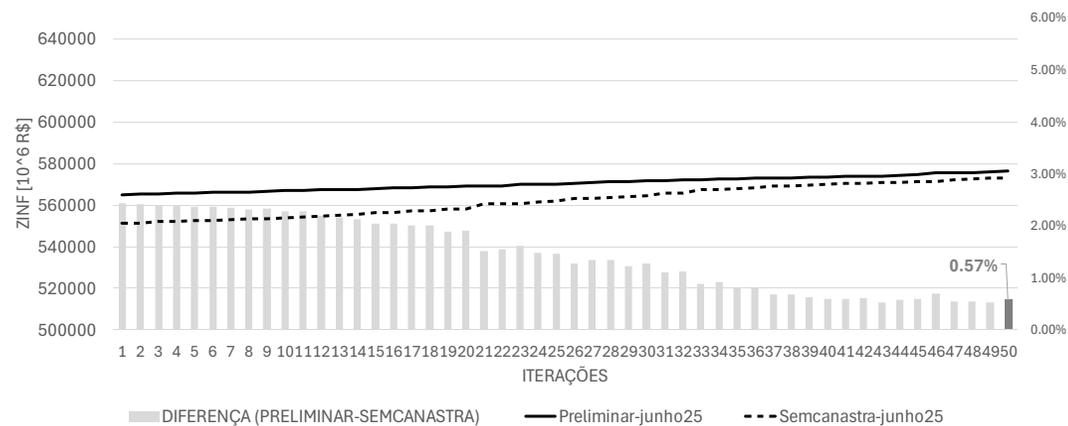
Outras mudanças no problema de otimização como pequenas variações na tendência hidrológica, na penalização das restrições, na definição da demanda ou a ordem das restrições/variáveis no PL **não são variabilidade amostral**, embora também se esperem impactos limitados nos resultados.

Mitigando efeitos: Parâmetros da PDDE

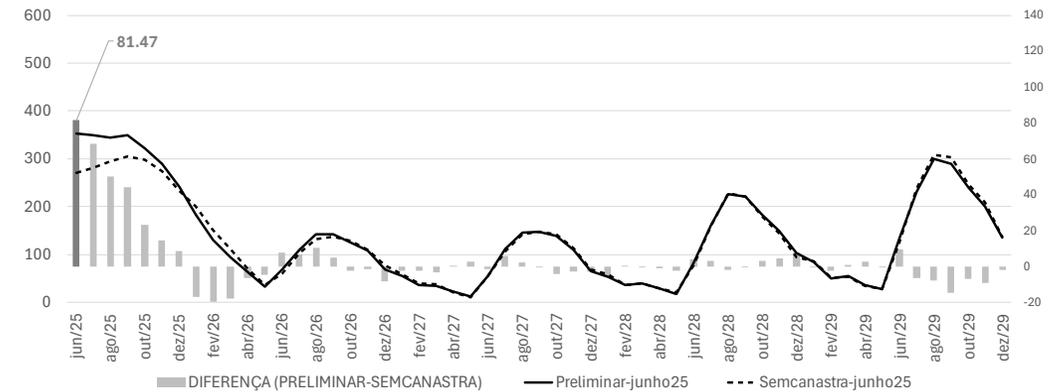
- Aumento da quantidade de aberturas: **50 aberturas no primeiro ano**

Melhor aproximação do limite inferior (ZINF) e ainda com diferenças significativas no CMO médio da SF.

Convergência junho de 2025 - 50 iterações - 50 ab. no 1o ano



CMO SE - 50 iterações - 50 ab. no 1o ano [R\$/MWh]

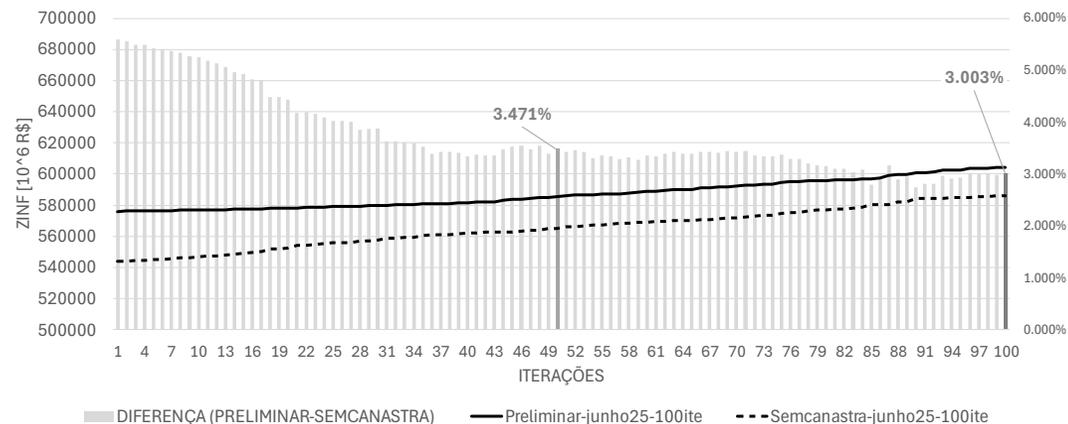


Mitigando efeitos: Parâmetros da PDDE

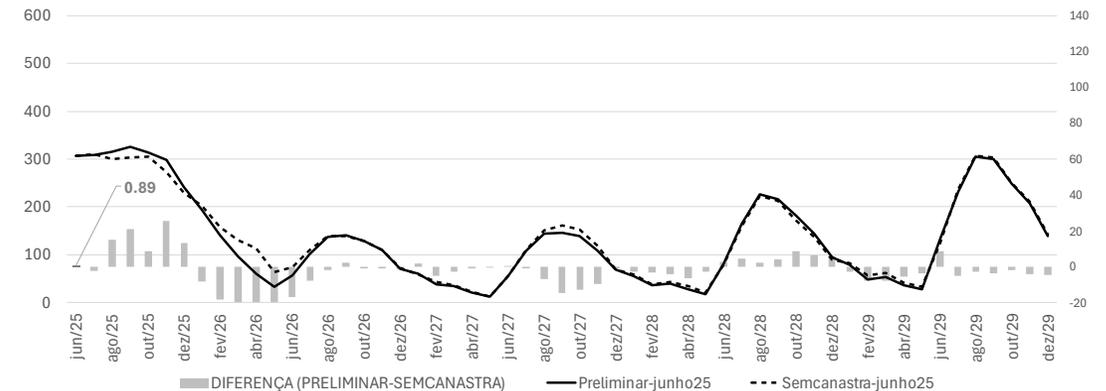
- Aumento da quantidade de iterações: **100 iterações**

Ainda com diferenças razoáveis no limite inferior (ZINF) mas como boa aproximação no CMO médio da SF.

Convergência junho de 2025 - 100 iterações



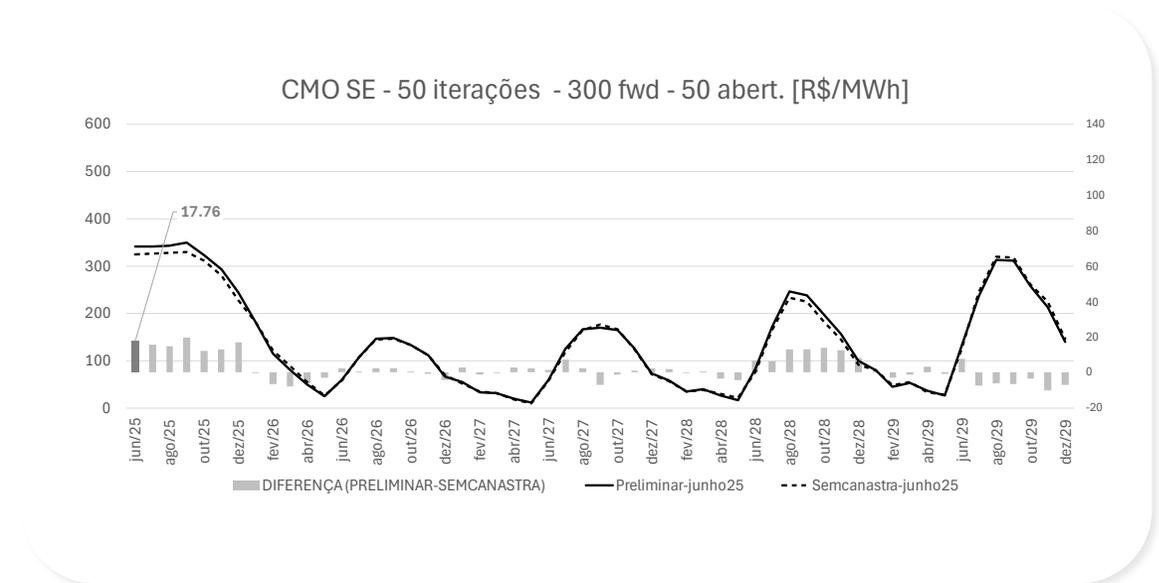
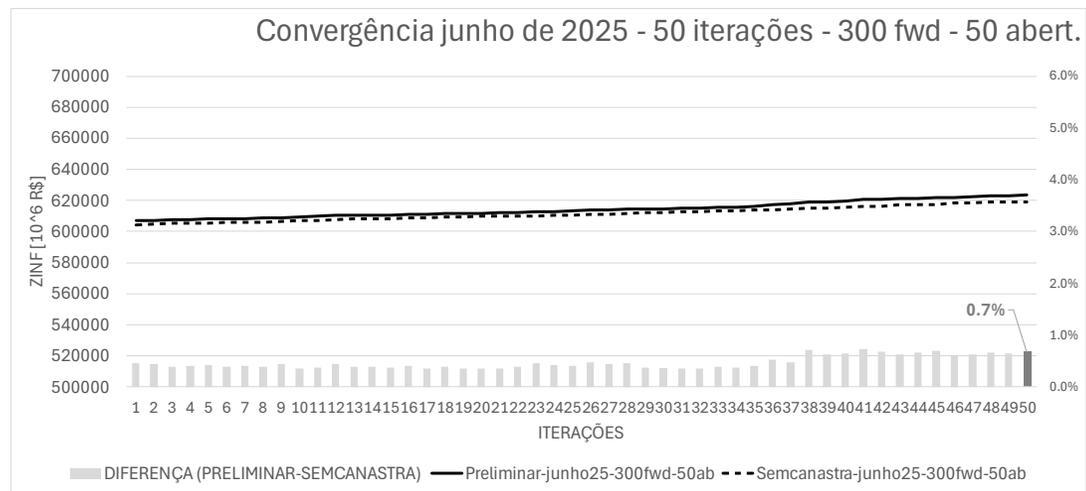
CMO SE - 100 iterações [R\$/MWh]



Mitigando efeitos: Parâmetros da PDDE

- Aumento da quantidade de cenários forward por iteração **300** e aberturas: **50**

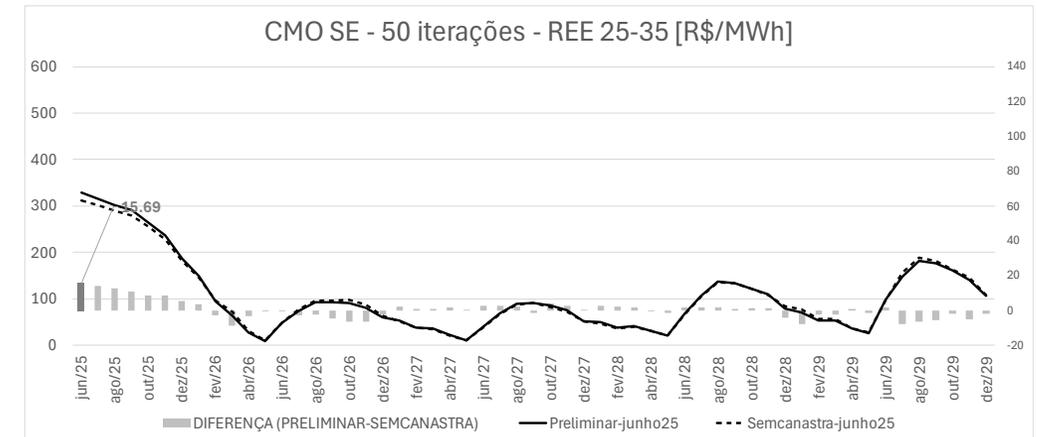
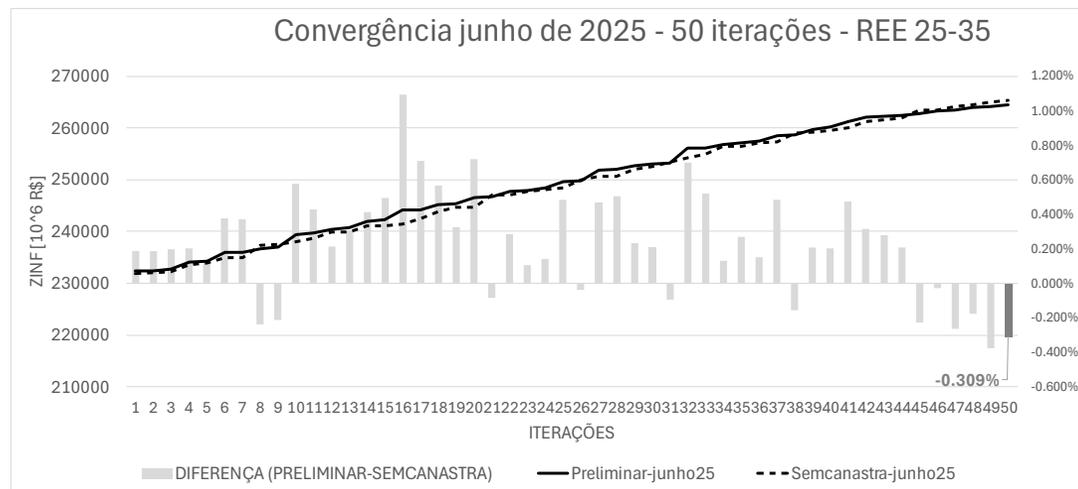
Proximidade maior do ZINF e CMO médio da SF.



Variação amostral caso REE: Entrada de nova UHE

- REE – CVaR(25,35)

A modelagem **REE** não apresenta sensibilidade amostral quando há **entrada de novas UHEs**



Variação amostral caso REE: Ordem dos REEs

- REE também tem sensibilidade amostral: **entrada e ordem dos REEs**

REES X SUBMERCADOS				
NUM	NOME REES.	SUBM	MES	ANO
XXX	XXXXXXXXXXXX	XXX	XX	XXXX
1	SUDESTE		1	
6	MADEIRA		1	
7	TPIRES		1	
5	ITAIPU		1	
10	PARANA		1	
12	PRNPANEMA		1	
2	SUL		2	
11	IGUACU		2	
3	NORDESTE		3	
4	NORTE		4	
8	BMONTE		4	
9	MAN-AP		4	

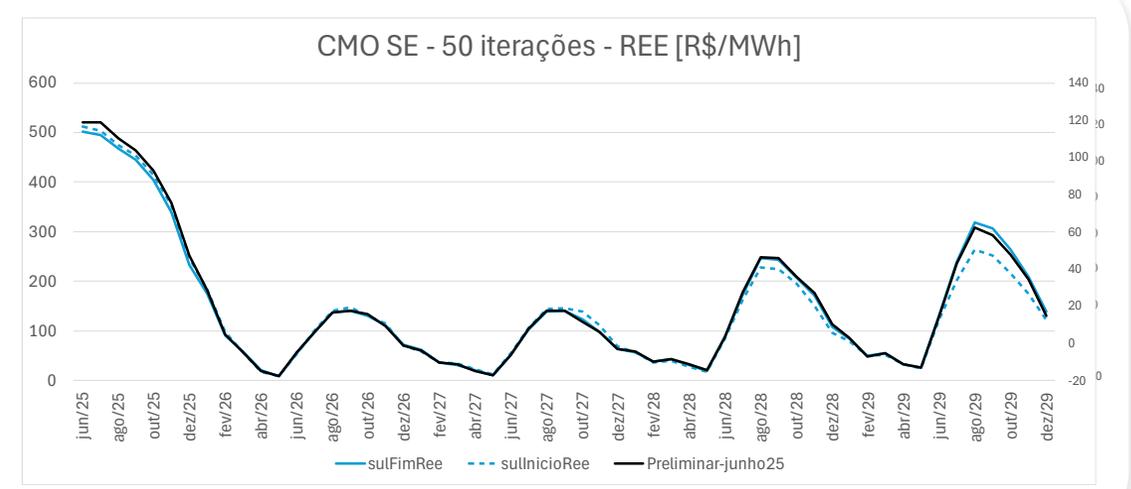
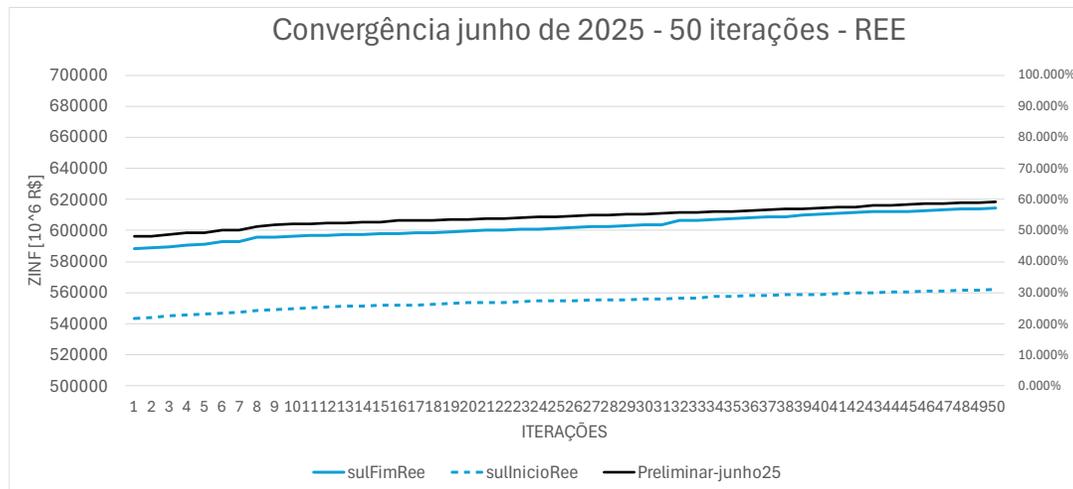
Ordem original

REES X SUBMERCADOS				
NUM	NOME REES.	SUBM	MES	ANO
XXX	XXXXXXXXXXXX	XXX	XX	XXXX
1	SUDESTE		1	
6	MADEIRA		1	
7	TPIRES		1	
5	ITAIPU		1	
10	PARANA		1	
12	PRNPANEMA		1	
11	IGUACU		2	
3	NORDESTE		3	
4	NORTE		4	
8	BMONTE		4	
9	MAN-AP		4	
2	SUL		2	

SUL último REE

REES X SUBMERCADOS				
NUM	NOME REES.	SUBM	MES	ANO
XXX	XXXXXXXXXXXX	XXX	XX	XXXX
2	SUL		2	
1	SUDESTE		1	
6	MADEIRA		1	
7	TPIRES		1	
5	ITAIPU		1	
10	PARANA		1	
12	PRNPANEMA		1	
11	IGUACU		2	
3	NORDESTE		3	
4	NORTE		4	
8	BMONTE		4	
9	MAN-AP		4	

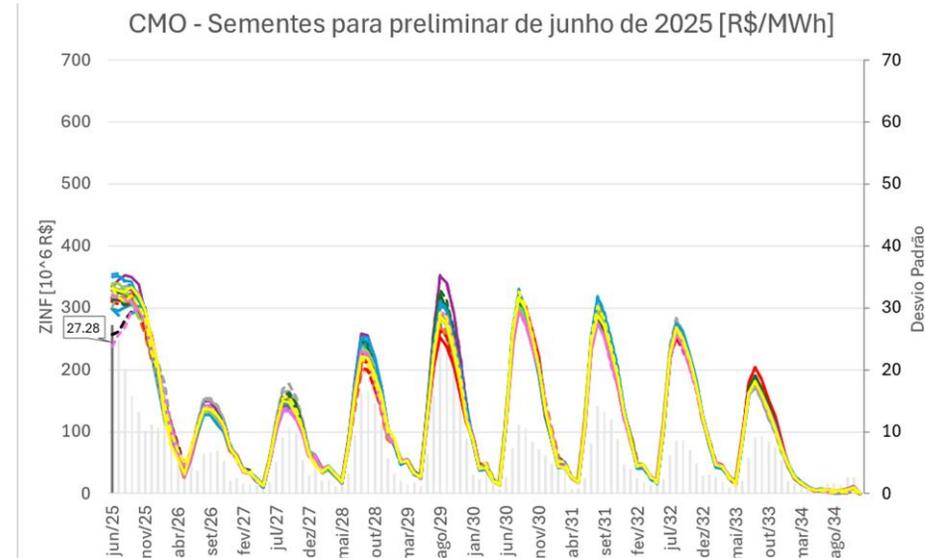
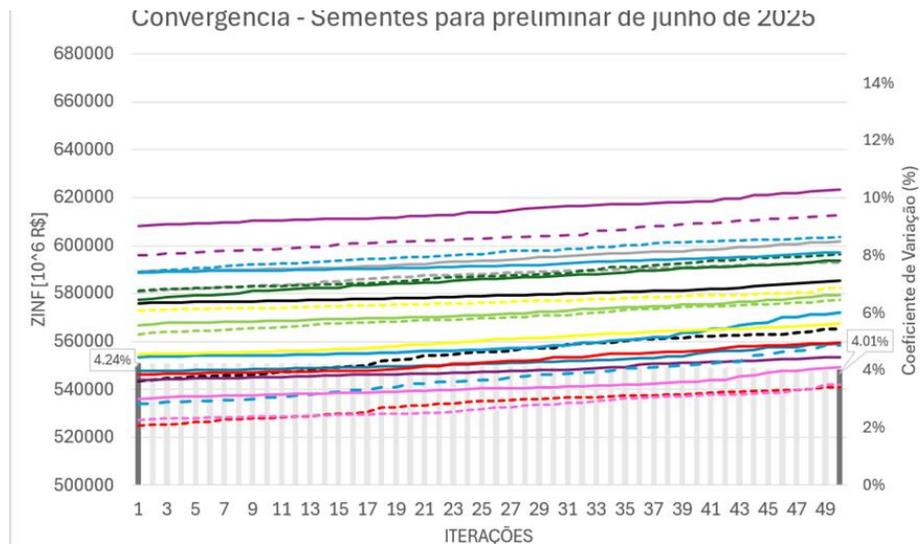
SUL primeiro REE



Análise Variação Amostral

- Híbrido com parâmetros oficiais de 2025

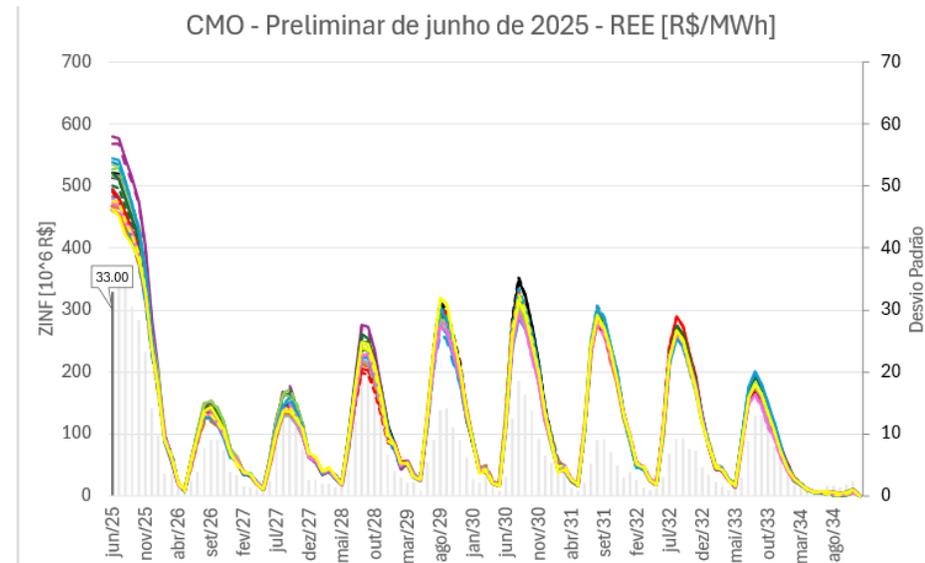
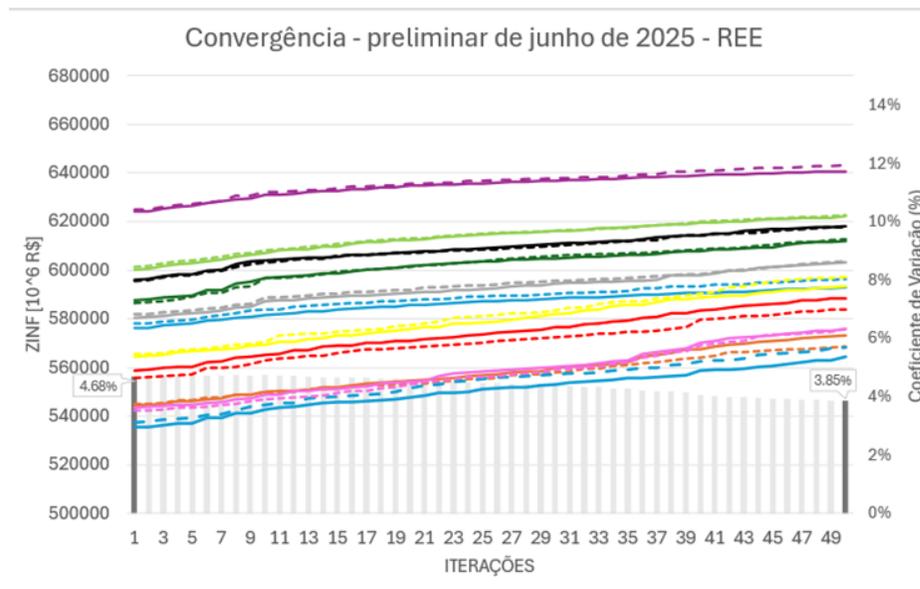
Análise com alteração explícita da semente inicial. Além da semente oficial + 10 outras



Análise Variação Amostral – Já existia antes?

- REE com parâmetros oficiais de 2025

Análise com alteração explícita da semente inicial. Além da semente oficial + 10 outras

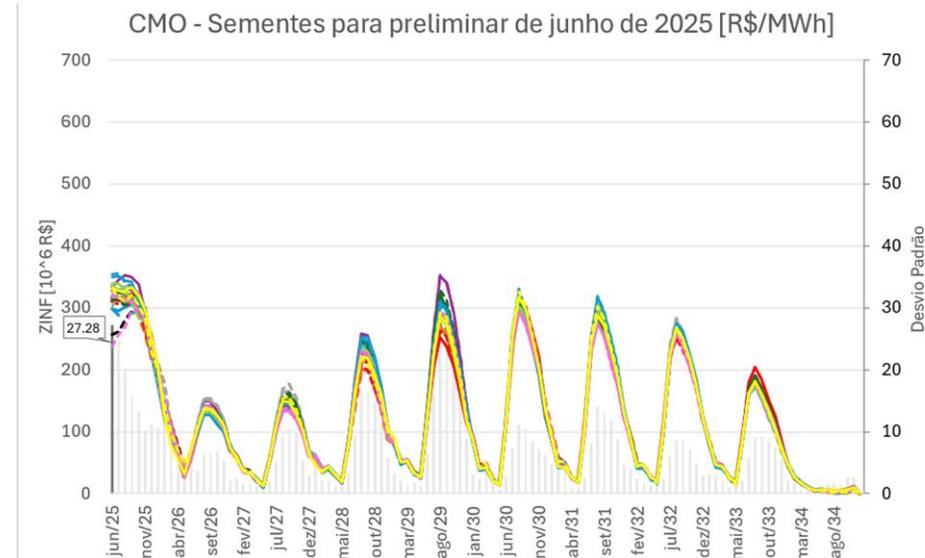
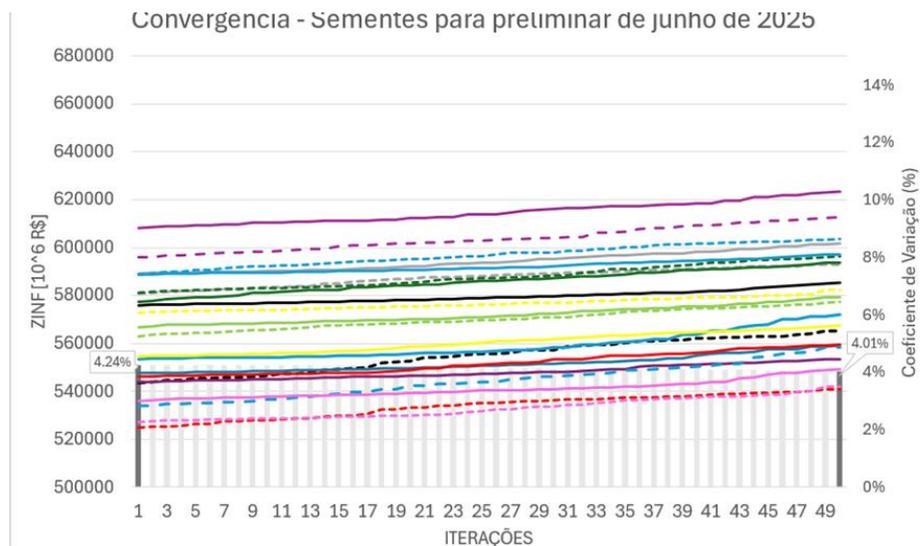


- A variabilidade do ZINF e do CMO é da mesma magnitude dos casos híbridos.
- A entrada de usinas não afeta a geração de sementes do processo de amostragem;

Análise Variação Amostral

- Híbrido com parâmetros oficiais de 2025

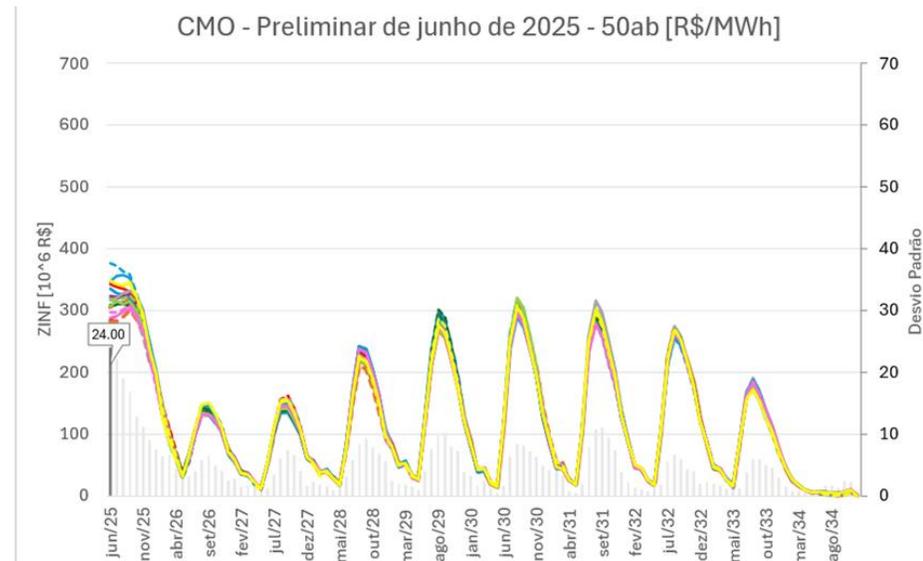
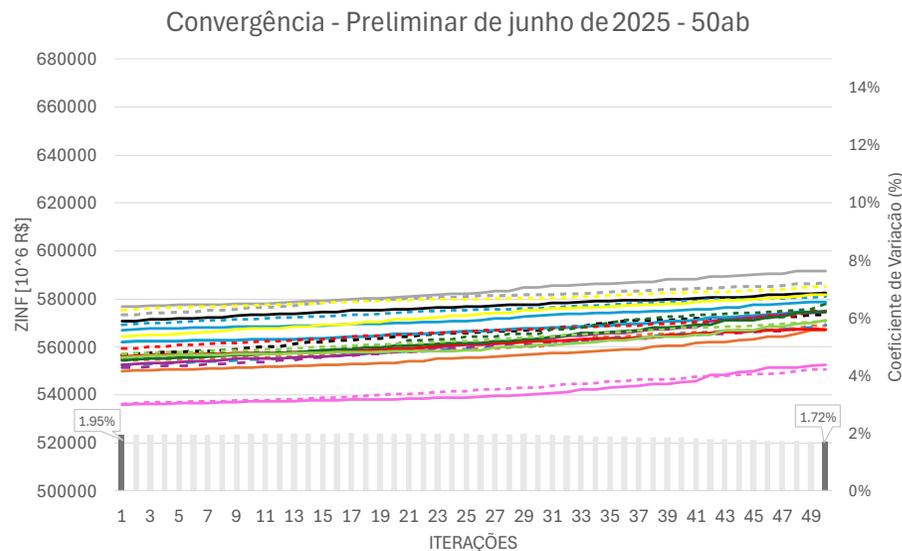
Análise com alteração explícita da semente inicial. Além da semente oficial + 10 outras



Mitigação da Variação Amostral

- Híbrido – Aumento dos cenários backward – **50 aberturas**

Discretização mais detalhada da incerteza das afluências

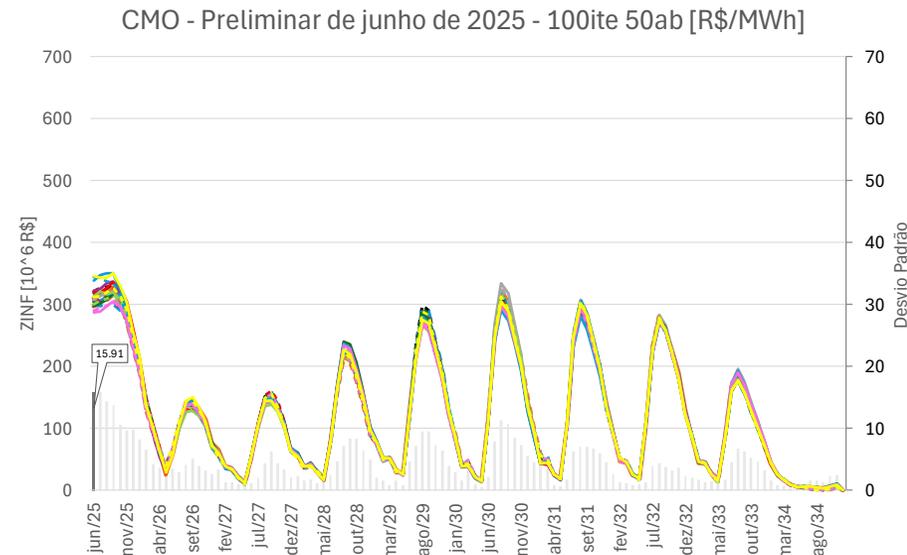
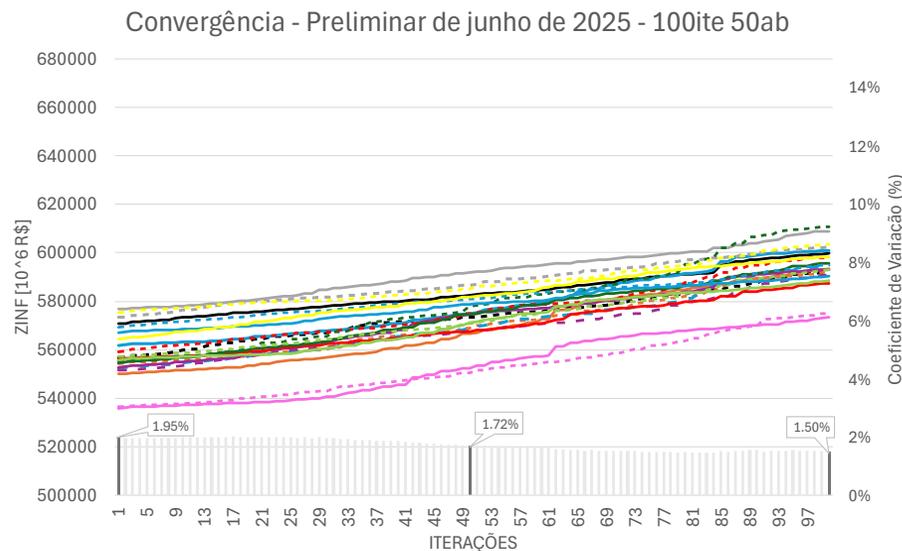


- Redução significativa da dispersão do ZINF;
- Redução da variabilidade do CMO médio. Mais discreta nos primeiros meses e mais significativa ao longo do restante do horizonte.

Mitigação da Variação Amostral

- Híbrido – Aumento da quantidade de iterações – **100 iterações e 50 aberturas**

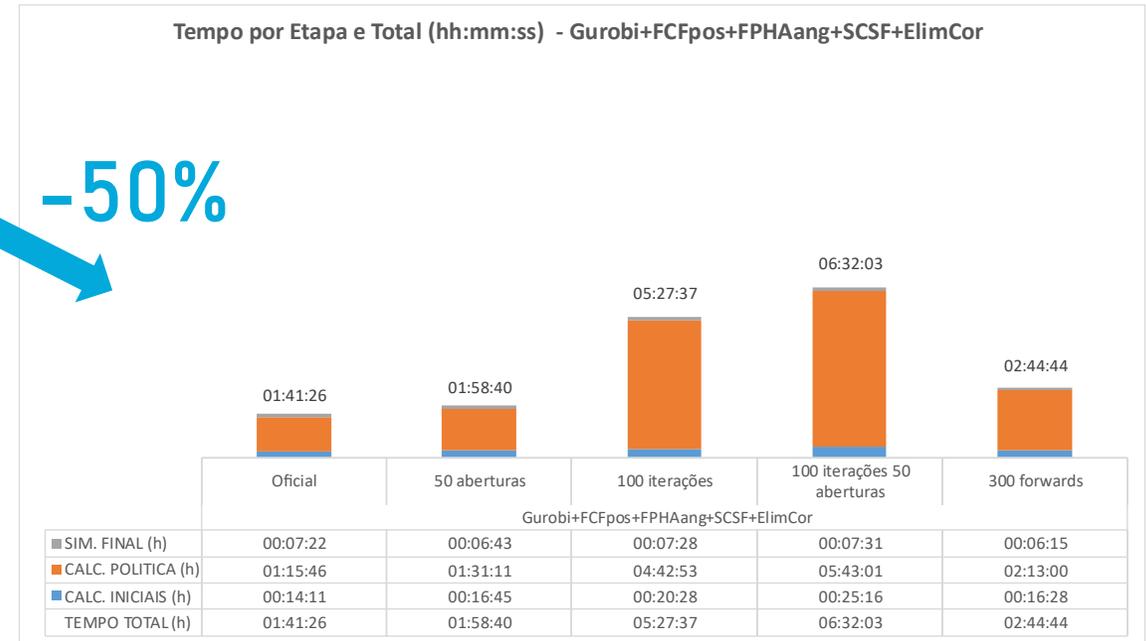
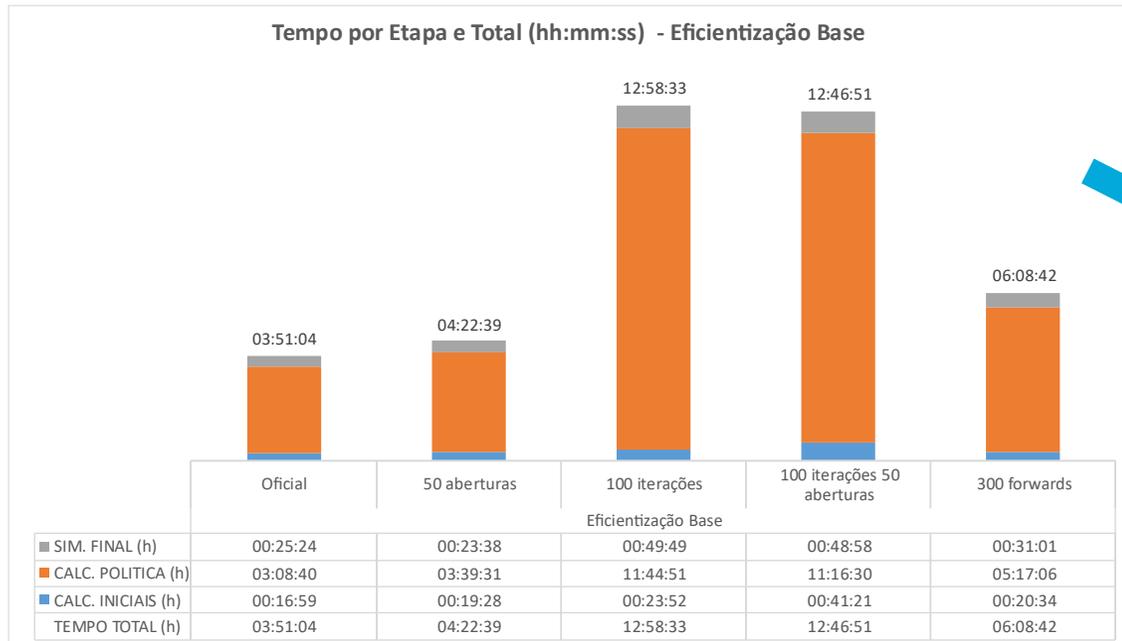
Aumento combinado da quantidade de aberturas e iterações



- Redução significativa da dispersão do ZINF;
- Redução da variabilidade do CMO médio ao longo de todo o horizonte.

Eficientizações disponíveis para **redução de tempo**

- Uso do solver **Gurobi** [v30.3_gurobi_trial];
- **Eliminação de cortes** de Benders [v30.1 e 30.2];
- Redução de **hiperplanos** semelhantes da **FPHA** [v30.4];
- **Seleção de cortes** na simulação final [v30.3];
- **Função de custo futuro externa** para representação do pós estudo [v28.10].

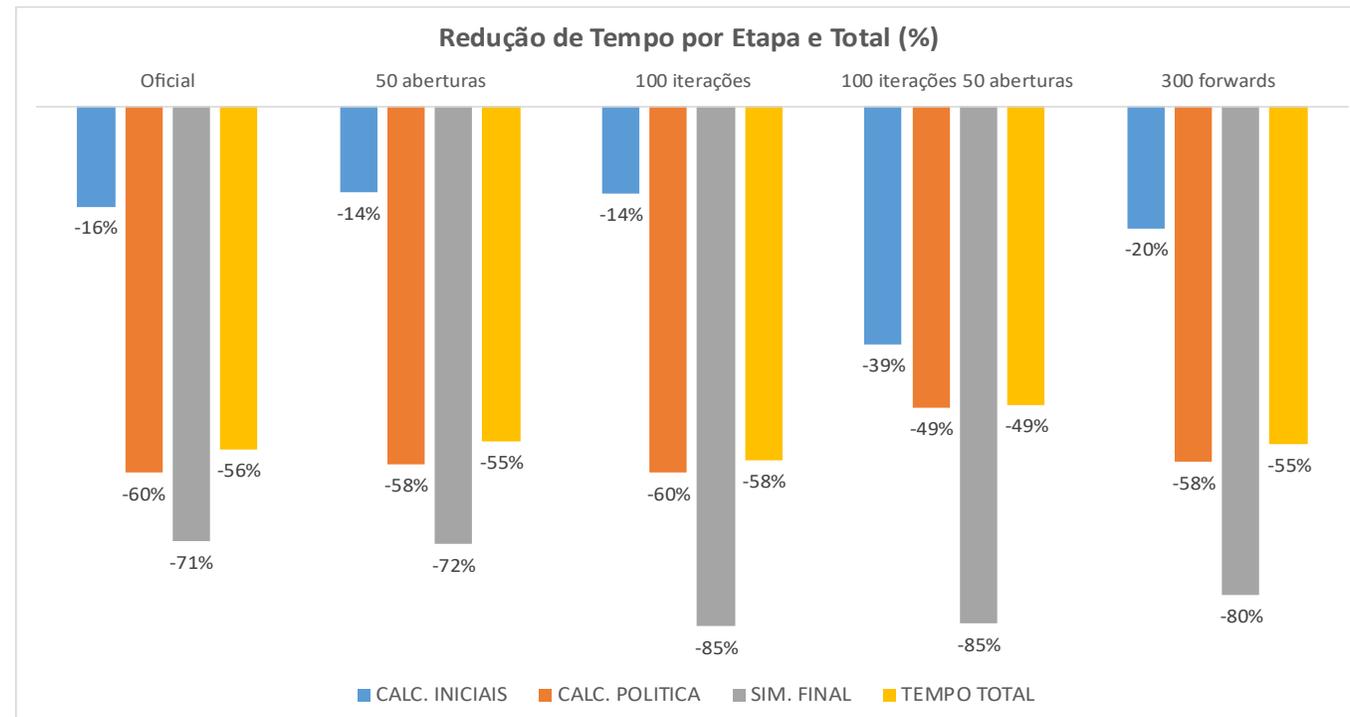


Eficientizações disponíveis para **redução de tempo**

- Uso do solver **Gurobi** [v30.3_gurobi_trial];
- **Eliminação de cortes** de Benders [v30.1 e 30.2];
- Redução de **hiperplanos** semelhantes da **FPHA** [v30.4];
- **Seleção de cortes** na simulação final [v30.3];
- Função de **custo futuro externa** para representação do pós estudo [v28.10].



Reduções totais superiores a **50%**

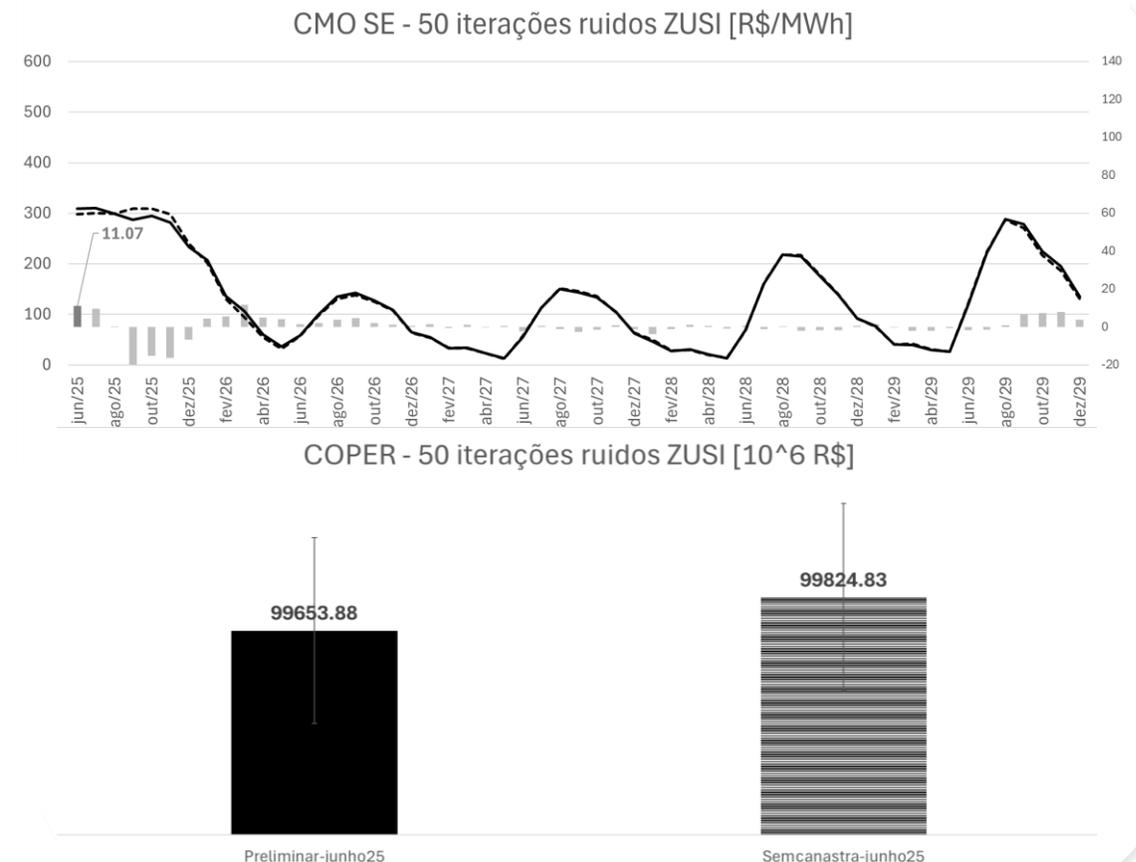
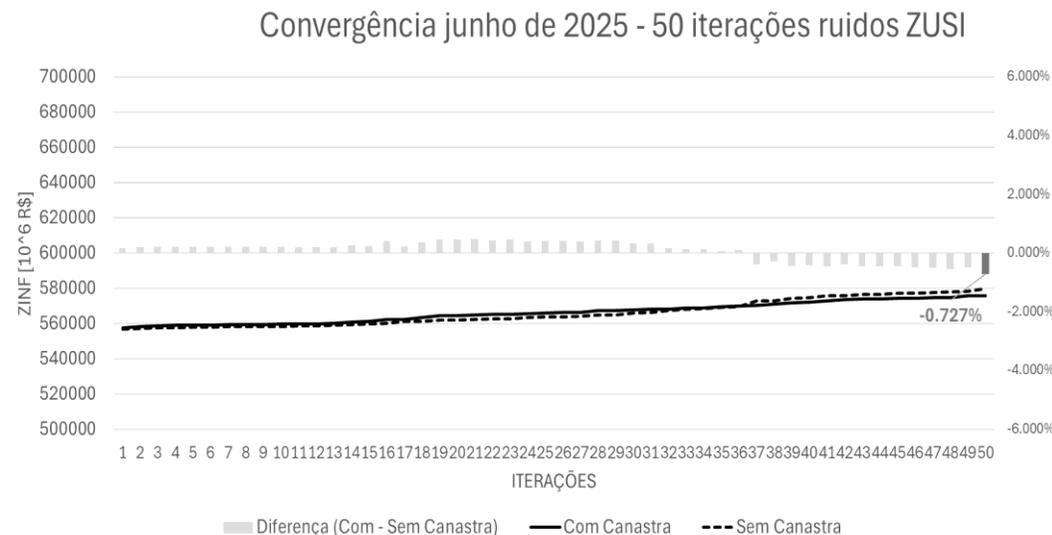


Mudança implícita da semente – Entrada de nova UHE

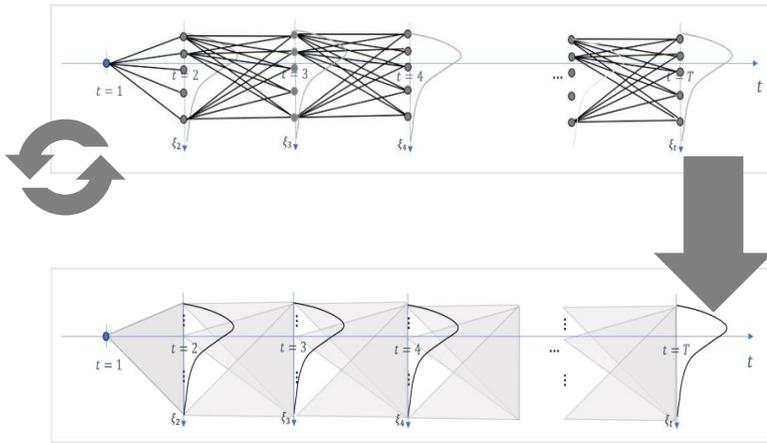
Nova versão com:

- Geração das sementes baseada na capacidade máxima de usinas do programa;
- Uso da semente baseada no número de cadastro da UHE.

Geração de cenários robusta mesmo diante da alterações de **posição da usina** no arquivo de entrada e a **inclusão de novas UHEs**.

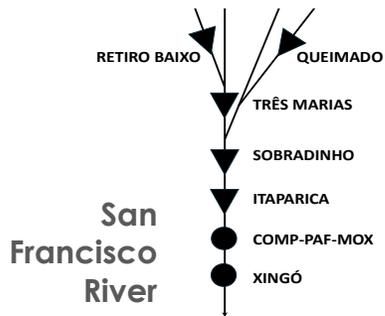


Mitigando efeitos: Reamostragem da Backward



A medida que aumentamos a quantidade de a berturas aumenta-se

Robustez e Mais tempo de processamento



Reamostragem dos cenários backward

Robustez com mesmo tempo de CPU



1. **Não há particularidade na representação da UHE Canastra** que justifique isoladamente o comportamento observado no CMO.
2. **Não foram encontrados problemas** na modelagem das UHEs e, em particular, na UHE Canastra.
3. A **diferença de resultados** é causada preponderantemente por **variação amostral**.
 - I. A entrada de usinas altera a semente utilizada na geração de cenários somente para os períodos individualizados, modificando a trajetória de refinamento da política operativa.
 - II. A modelagem a REE apresenta sensibilidade semelhante à variação de sementes, mesmo que não reaja à entrada direta de novas usinas - ordem ou composição dos REEs pode gerar efeito similar.
 - Em representações agregadas por reservatórios equivalentes, a inclusão de uma usina afeta o histórico hidrológico e as afluências passadas, mas não altera a estrutura da árvore backward.

Conjunturais:

1. O impacto da variação amostral é reduzido com o **maior grau de refinamento da política**, seja por: mais iterações, mais aberturas ou mais cenários forward por iteração;
2. Pode-se explorar as funcionalidades **já disponíveis** para **redução** de **tempo** de processamento para **aumentar** o refinamento da política operativa;
3. Adequação do **critério de parada**;
4. Impedir a sensibilidade do modelo individualizado a variação implícita da semente quando se insere uma usina na modelagem individualizada.
Nova versão que evita alterações implícitas das sementes causadas por **inclusão de novas UHEs**;

Estruturais: Como dar robustez em relação à mudança de semente?

1. O CEPEL vem realizando pesquisas para aprimorar a PDDE, do ponto de vista metodológico, de forma a dar mais robustez para os resultados quanto à semente, como a **reamostragem dos cenários backward**.
2. **Aprimoramento da técnica de amostragem**: incorporação de técnicas de extratificação como hipercubo latino.

Equipes NEWAVE e GEVAZP

Cristiane Cruz

+55 21 2598-6454

criscruz@cepel.br

newave@cepel.br

gevazp@cepel.br

www.cepel.br

 /company/eletrobrascepel  /cepeloficial  /cepeloficial