

Título: Análise do Comportamento das usinas Corumbá e do descolamento entre CMOs do DECOMP e do DESSEM, para casos de programação diária de agosto de 2022**Nº de Páginas:** 35**Nº de Anexos:** 0**Dados do Cliente:**

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO - ONS

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

Responsável:

Tatiana Frade Goncalves Mundstock

Gerente da PEM (Gerência de Metodologias e Modelos Energéticos)

E-mail: tatiana@ons.org.br

Telefone: (21) 3444-9868

Departamento: Departamento de Sistemas Eletroenergéticos **Nº do PEP:** CPCT.GMOE21.211.001**Centro de Lucro:** C250000101**Centro de Custo:** C205000026**Resumo:** O objetivo do relatório foi apresentar uma análise detalhada da operação do modelo DESSEM para casos de programação diária da operação de agosto de 2022, onde se observou um comportamento inesperado para as usinas Corumbá I, Corumbá III e Corumbá IV, além de um descolamento entre os CMOs dos modelos DECOMP e DESSEM. Uma justificativa para essa operação foi a existência de cortes ativos, na função de custo futuro do DECOMP, com inclinações muito elevadas, e que pode ser contornada com a implementação de penalizações crescentes para violação de restrições no modelo DECOMP, Realizaram-se ainda análises adicionais, e sugerem-se estudos e desenvolvimentos no futuro para aprimorar o acoplamento entre os modelos DECOMP e DESSEM**Autores:**

André Luiz Diniz Souto Lima

Danielle de Freitas da Silva

Lílian Chaves Brandão dos Santos

Palavras-Chave:

Programação diária da operação, custo marginal de operação, função de custo futuro, penalização de restrições

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

CEPEL

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

PROJETO DESSEM

Análise do Comportamento das usinas Corumbá e do descolamento entre CMOs do DECOMP e do DESSEM, para casos de programação diária de agosto de 2022

Dezembro/2022

ÍNDICE

SUMÁRIO EXECUTIVO.....	4
1 INTRODUÇÃO – EMAIL DE SOLICITAÇÃO DO CASO	5
2 ANÁLISE DOS CASOS DO DESSEM (DIA 03) E RVO DO DECOMP	7
2.1 Cortes ativos da FCF do DECOMP na solução final.....	7
2.2 Avaliação dos valores da água da usina para o corte ativo do DECOMP	7
2.3 Motivação para a presença de cortes com valor da água bastante elevados na FCF do DECOMP	8
2.4 Análise dos valores da água de Corumbá I e Corumbá III.....	10
2.5 Análise do comportamento do DECOMP nas primeiras iterações da PDD.....	12
3 ANÁLISE DO USO DE PENALIDADES VARIÁVEIS (CRESCENTES) NO DECOMP – CASO DO	
DIA 03	14
3.1 Resultados comparativos com o modelo DECOMP	14
3.1.1 Relatório de convergência	14
3.1.2 Resultados de CMO	15
3.1.3 Função de Custo Futuro (FCF) construída para o DESSEM	15
3.1.4 Valores da água de Corumbá I e Corumbá III	16
3.2 Análise do comportamento do DECOMP nas primeiras iterações da PDD.....	17
3.3 Resultados comparativos com o DESSEM	18
3.3.1 Custo marginal de Operação.....	18
3.3.2 Impressão dos valores da água para usinas de Corumbá.....	18
3.3.3 Operação das usinas Corumbá I, III e IV.....	19
4 ANÁLISE DO CASO DO DIA 02.....	23
5 ANÁLISE DO DIA 04.....	26
6 EXTENSÃO DA ANÁLISE PARA OUTROS CASOS	29
6.1 Email do dia 30/05/2022, enviado pela CCEE: “Explicação do comportamento do Dessem do	
dia 28/05/2022”	29
6.2 Email do dia 19/07/2022, enviado pelo ONS: “Sombra DESSEM de junho de 2022”	29
6.3 Email do dia 01/08/2022, enviado pelo Santander: “Análise do caso 31/07”	30
6.4 Considerações	31
7 CONCLUSÕES	32
7.1 Adoção, no modelo DECOMP, da versão com penalização crescente de violação de restrições	32
7.2 Análise mais detalhada dos pontos de acoplamento obtidos nos modelos DECOMP e DESSEM	33
7.3 Análise da região de “atividade” de cada corte do DECOMP.....	33
7.4 Aprimoramento dos estudos de acoplamento entre os modelos DECOMP e DESSEM	33
8 REFERÊNCIAS	35

SUMÁRIO EXECUTIVO

Este relatório técnico apresenta uma análise detalhada da operação do modelo DESSEM para alguns casos de programação diária da operação de agosto de 2022.

Motivação: O Operador Nacional do Sistema Elétrico enviou, para análise do CEPEL, alguns casos do modelo DESSEM de agosto de 2022, onde se observou um comportamento inesperado para a operação das usinas Corumbá I, Corumbá III e Corumbá IV, além de um descolamento entre os custos marginais de operação (CMOs) fornecidos pelos modelos DECOMP (para a primeira semana, em patamares de carga) e pelo modelo DESSEM, em base horária. Dada a importância de entendimento dos resultados do modelo e dos preços publicados pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) para o mercado, foi solicitado que o CEPEL apresentasse uma análise do ocorrido.

Metodologia: Foram conduzidas as seguintes análises: (i) análise dos valores da água nos cortes ativos do DECOMP, onde se verificaram valores bastante elevados justamente para as três usinas cuja operação estava sendo questionada: Corumbá I, Corumbá III e Corumbá IV, além da usina de Mauá; (ii) análise da motivação para a presença desses valores elevados da água nos cortes, quando da construção dos cortes da função de custo futuro (FCF) pelo modelo DECOMP. Verificou-se que, ao longo do processo de convergência do algoritmo de Programação Dinâmica Dual (PDD) no DECOMP, houve violações de restrições aplicadas justamente para tais usinas; (iii) análise da inversão entre os valores da água para as usinas de Corumbá I, III e IV ao longo das cascatas, nas iterações iniciais do DECOMP; (iv) análise mais específica do comportamento do DECOMP nas primeiras iterações da PDD. Na sequência, conduziu-se o estudo do uso de uma funcionalidade recém implementada no modelo DECOMP, referente à aplicação de penalizações crescentes para violações de restrições ao longo das iterações da PDD, comparando-se, para os casos analisados, os resultados obtidos no DECOMP e no DESSEM com e sem essas penalizações. Finalmente, a análise foi estendida para outros casos anteriores do DESSEM, nos quais também havia sido identificado um descolamento entre os CMOs fornecidos pelos modelos DECOMP e DESSEM.

Resultados: Uma primeira conclusão foi de que a principal justificativa para essa operação não adequada das usinas de Corumbá foi a existência, na função de custo futuro do DECOMP, de cortes ativos com inclinações muito elevadas, provocadas por violações de restrições nas primeiras iterações de convergência da PDD no modelo DECOMP. Verificou-se que este comportamento pode ser contornado com a utilização da funcionalidade de penalizações crescentes para violação de restrições ao longo das iterações da PDD, que já está disponível no modelo DECOMP. Constatou-se também que, com a Função de Custo Futuro calculada pelo DECOMP com essa funcionalidade, os CMOs calculados pelo DESSEM e pelo DECOMP tornam-se muito mais próximos, o que sugere que, de fato, estes cortes com inclinações elevadas impactam também o custo marginal no DESSEM. Finalmente, sugere-se um estudo mais aprofundado do acoplamento entre os modelos DECOMP e DESSEM, compreendendo uma análise mais detalhada dos pontos de acoplamento obtidos nas execuções dos dois modelos ao final da primeira semana e a análise da região de "atividade" de cada corte do DECOMP. O CEPEL está desenvolvendo um módulo para realização desses cálculos, e os resultados desses estudos podem subsidiar eventuais aprimoramentos que aumentem a aderência entre os resultados dos dois modelos, tornando-os menos sensíveis a eventuais inviabilidades ocorridas nos estudos de caso com o DESSEM. Estes aprimoramentos podem envolver: (i) continuação do processo iterativo do modelo DECOMP, mesmo após este tendo atingido a convergência da PDD, porém impondo ao final da primeira semana pontos de operação obtidos a partir de uma execução do DESSEM; (ii) reexecução diária do modelo DECOMP a cada dia, considerando uma duração menor para a primeira semana (referente ao restante da semana) e atualizando os dados do problema, em particular os volumes iniciais e afluências previstas até o final da primeira semana; (iii) incorporação, na primeira semana do modelo DECOMP, de aspectos mais detalhados da operação diária da operação e que são considerados no modelo DESSEM; (iv) consideração de cenários semanais no modelo DECOMP, a partir da semana 2.

1 INTRODUÇÃO – EMAIL DE SOLICITAÇÃO DO CASO

O caso em análise origina-se de um email enviado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), referente a uma análise de caso com o modelo DESSEM, e que é reproduzido a seguir.

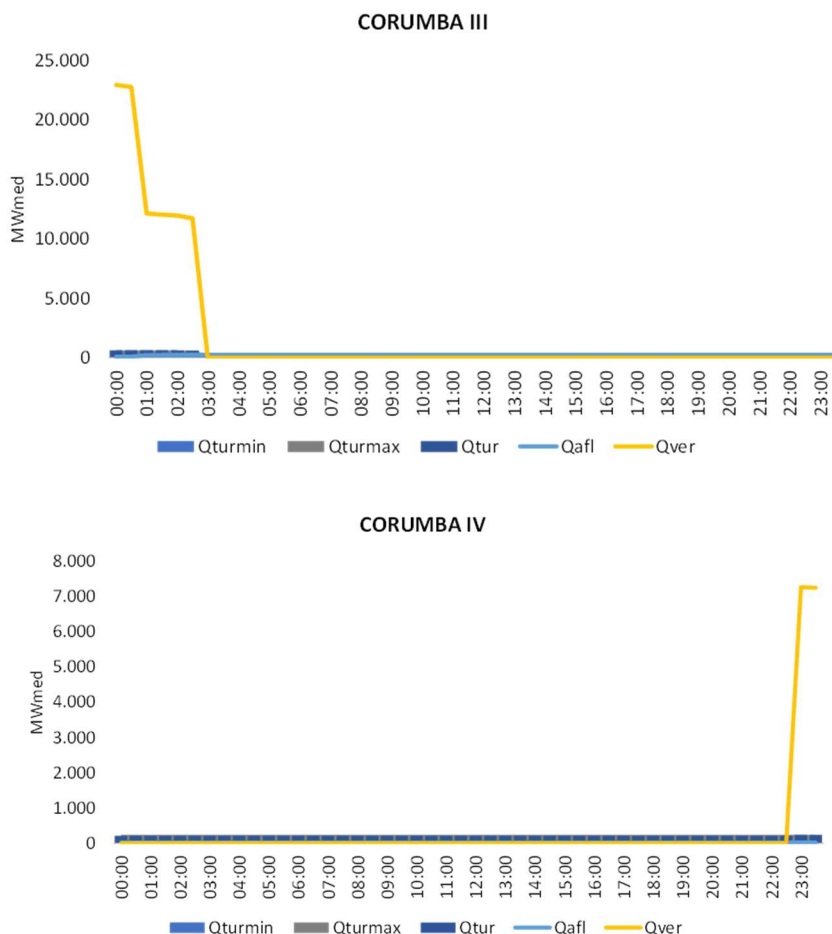
Título do email: “Comportamento inesperado para as usinas de Corumbá I, Corumbá III e Corumbá IV”

Data: 03/08/2022

Conteúdo:

Os casos do modelo DESSEM para os dias 03 e 04/08/2022 estão apresentando um comportamento inesperado para as usinas do rio Corumbá: UHEs Corumbá I, Corumbá III e Corumbá IV.

Primeiramente, destacamos a ocorrência de vertimentos elevados para as UHEs Corumbá III e Corumbá IV, conforme figuras abaixo:

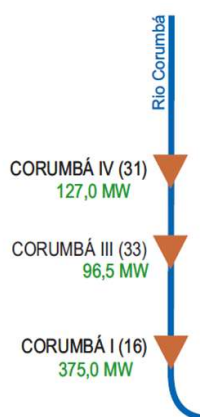


Destaca-se que nos dias anteriores (dia 02, por exemplo) não ocorria o vertimento dessas usinas e esse vertimento ocorrido não consiste em atendimento de restrições a jusante da usina, uma vez que a UHE Corumbá I permanece com a mesma operação permitindo ou não o vertimento das usinas a montante (Corumbá III e Corumbá IV).

A segunda observação se faz em relação a ordem de grandeza dos valores da água para essas usinas, por exemplo, para o primeiro estágio. Segue abaixo uma tabela com o valor da água para as usinas mencionadas:

Semi Hora	Número	Usina	Submercado	Fonte	VAgua
00:00	29	CORUMBA IV	SE	Hidreletrica	43.746,23
00:00	30	CORUMBA I	SE	Hidreletrica	66.802,07
00:00	203	CORUMBA III	SE	Hidreletrica	48.322,02

Cabe uma observação ao analisar os valores da água das usinas no qual o valor mais elevado ocorre de Corumbá I para Corumbá III e para Corumbá IV, que ocorre da usina mais a jusante até a montante, diferente do esperado com base na produtibilidade acumulada das usinas.



A última observação seria em relação ao aumento dos valores de PLD observados entre os dias 02 e 03/08/2022, que saiu da casa de R\$ 105/MWh para R\$ 120/MWh a partir desse dia. Não estamos necessariamente indicando que esteja associado a isso, mas as indicações acima foram algumas das diferenças observadas em relação ao dia 02 quando comparado ao dia 03.

Além disso, foi verificado a alteração dos cortes para acoplamento com o modelo DECOMP a partir do dia 03.

Estamos adicionando os decks do DECOMP da RV0, e os decks do DESSEM dos dias 02, 03 e 04. Talvez seja interessante realizar a análise sobre o dia 04, que tem demorado menos tempo que o dia 03.

Poderiam nos auxiliar na identificação dos motivos de ocorrência dessas operações e desse impacto no preço em torno de R\$ 15/MWh?

2 ANÁLISE DOS CASOS DO DESSEM (DIA 03) E RVO DO DECOMP

Foram realizadas algumas análises no caso original, detalhadas a seguir.

2.1 Cortes ativos da FCF do DECOMP na solução final

Através de consulta ao arquivo "PDO_OPERACAO.XXX", verificou-se que o único corte ativo do DECOMP nesta rodada foi o de número 35, que foi construído na primeira iteração do DECOMP¹, como mostrado na figura a seguir (a informação original do arquivo foi quebrada em colunas para facilitar a visualização).

10 - CORTES ATIVOS:

ITERACAO	MULTIPLICADOR	ITERACAO	MULTIPLICADOR
1	0.00000000	19	0.00000000
2	0.00000000	20	0.00000000
3	0.00000000	21	0.00000000
4	0.00000000	22	0.00000000
5	0.00000000	23	0.00000000
6	0.00000000	24	0.00000000
7	0.00000000	25	0.00000000
8	0.00000000	26	0.00000000
9	0.00000000	27	0.00000000
10	0.00000000	28	0.00000000
11	0.00000000	29	0.00000000
12	0.00000000	30	0.00000000
13	0.00000000	31	0.00000000
14	0.00000000	32	0.00000000
15	0.00000000	33	0.00000000
16	0.00000000	34	0.00000000
17	0.00000000	35	0.99783042
18	0.00000000		

Figura 2.1 – Cortes ativos do DECOMP na execução do caso original para o dia 03.

2.2 Avaliação dos valores da água da usina para o corte ativo do DECOMP

Em seguida, consultou-se o arquivo "PDO_ECO_FCF_CORTES_AJUSTES.XXX", para verificar os valores da água nas usinas do caso para este corte ativo, encontrando-se os resultados mostrados a seguir, onde são destacados os valores muito elevados encontrados².

¹ O DESSEM lê os cortes no arquivo "cortdeco.xxx" em ordem inversa a sua construção, o que faz que sejam armazenados do mais recente para o mais antigo

² Ressalta-se que, ao analisar os cortes do DECOMP eliminados pelo DESSEM antes da resolução do problema, o corte da iteração 2 do DECOMP havia sido eliminado, e também possuía valores muito elevados da água para essas mesmas usinas.

Usina			Usina			Usina			Usina			Usina		
#	Nome	π (\$/hm3)	#	Nome	π (\$/hm3)	#	Nome	π (\$/hm3)	#	Nome	π (\$/hm3)	#	Nome	π (\$/hm3)
1	CAMARGOS	-186,941	43	TRES IRMAOS	-58,379	98	MONTE CLARO	0,306	143	AIMORES	-14,535	241	SLT VERDINHO	-69,914
2	ITUTINGA	-179,855	45	JUPIA	-44,960	99	14 DE JULHO	0,000	144	MASCARENHAS	-6,303	249	OURINHOS	-77,438
4	FUNIL-GRANDE	-172,336	46	P, PRIMAVERA	-39,500	101	SAO JOSE	-14,149	148	IRAPE	-67,800	251	SERRA MESA	-87,587
6	FURNAS	-161,053	47	A,A, LAYDNER	-114,471	102	PASSO S JOAO	-8,158	153	SAO DOMINGOS	-49,453	252	CANA BRAVA	-109,843
7	M, DE MORAES	-135,562	48	PIRAJU	-97,640	103	FOZ CHAPECO	-14,244	154	ITAPEBI	-23,032	253	SAO SALVADOR	-97,216
8	ESTREITO	-124,175	49	CHAVANTES	-97,646	107	EDGARD SOUZA	-89,814	155	RETIRO BAIXO	-116,325	257	PEIXE ANGIC	-90,439
9	JAGUARA	-106,614	50	L_N, GARCEZ	-74,211	108	TRAICAO	-90,198	156	TRES MARIAS	-105,480	261	LAJEADO	-110,437
10	IGARAPAVA	-106,413	51	CANOAS II	-69,229	109	PEDREIRA	-159,821	162	QUEIMADO	-139,612	262	SALTO	-84,707
11	VOLTA GRANDE	-101,999	52	CANOAS I	-64,930	110	ERNESTINA	-23,631	169	SOBRADINHO	-90,419	267	ESTREITO TOC	-99,940
12	P, COLOMBIA	-93,995	57	MAUA	-5.406.359,956	111	PASSO REAL	-23,627	172	ITAPARICA	-82,634	272	CURUA-UNA	0,000
14	CACONDE	-138,991	61	CAPIVARA	-60,110	112	JACUI	-23,592	173	MOXOTO	-67,824	275	TUCURUI	-93,154
15	E, DA CUNHA	-116,994	62	TAQUARUCU	-47,620	113	ITAUBA	-23,840	174	P,AFONSO 123	-61,567	276	RONDON II	-17,546
16	A,S,OLIVEIRA	-94,341	63	ROSANA	-40,254	114	D, FRANCISCA	0,185	175	P,AFONSO 4	-67,824	277	BALBINA	-6,765
17	MARIMBONDO	-87,935	66	ITAIPU	-34,354	115	G, SOUZA	-207,619	178	XINGO	-34,748	278	MANSO	-15,457
18	A, VERMELHA	-72,036	71	STA CLARA PR	-157,724	117	GUARAPIRANGA	-167,807	180	TOCOS	-89,887	279	SAMUEL	-8,914
20	BATALHA	-160,993	72	FUNDAO	-130,709	118	BILLINGS	-167,897	181	SANTANA	-95,992	280	COARACY NUNE	-4,594
21	SERRA FACAO	-153,136	73	JORDAO	-101,837	119	HENRY BORDEN	-188,317	182	VIGARIO	-110,546	281	PONTE PEDRA	-71,935
24	EMBORCACAO	-135,657	74	G,B, MUNHOZ	-140,309	120	JAGUARI	-120,295	183	FONTES A	-89,887	283	STA CLARA MG	-15,030
25	NOVA PONTE	-174,706	76	SEGREDO	-101,832	121	PARAIBUNA	-135,551	184	FONTES BC	-89,887	284	FERREIRA GOM	-4,595
26	MIRANDA	-146,247	77	SLT,SANTIAGO	-72,305	122	SANTA BRANCA	-116,303	189	P, CAVALO	-32,744	285	JIRAU	-8,843
27	CAPIM BRANC1	-126,783	78	SALTO OSORIO	-42,016	123	FUNIL	-106,142	190	B, ESPERANCA	-13,266	286	STO ANT JARI	0,539
28	CAPIM BRANC2	-117,337	82	SALTO CAXIAS	-22,866	124	LAIJES	-89,887	192	GUILMAN-AMOR	-84,052	287	STO ANTONIO	-5,663
29	CORUMBA IV	-76.374,689	83	BAIXO IGUACU	-4,561	125	STA CECILIA	-89,376	193	SA CARVALHO	-50,912	288	BELO MONTE	-27,420
30	CORUMBA I	-76.373,754	86	BARRA GRANDE	-97,857	126	PICADA	-102,407	195	JAUURU	-30,638	290	ESPORA	-66,764
31	ITUMBARA	-104,244	88	SAO ROQUE	-137,005	127	SOBRAGI	-64,444	196	GUAPORE	-59,692	304	ITIQUEIRA I	-65,705
32	CACH,DOURADA	-83,179	89	GARIBALDI	-137,479	129	SIMPLICIO	-41,040	203	CORUMBA III	-76.368,805	305	ITIQUEIRA II	-40,298
33	SAO SIMAO	-77,557	90	CAMPOS NOVOS	-125,543	130	ILHA POMBOS	-8,912	204	CACH,CALDEIR	-9,075	310	DARDANELOS	-28,948
34	I, SOLTEIRA	-57,886	91	MACHADINHO	-73,159	131	NILO PECANHA	-110,546	215	SALTO PILAO	0,000	311	CACU	-84,396
37	BARRA BONITA	-90,352	92	ITA	-48,816	133	P, PASSOS	-23,337	217	ROSAL	-55,884	312	B, COQUEIROS	-75,949
38	A,S, LIMA	-84,346	93	PASSO FUNDO	-89,410	134	SALTO GRANDE	-61,615	227	SINOP	-39,788	314	PIMENTAL	-27,414
39	IBITINGA	-78,527	94	MONJOLINHO	-20,864	135	P, ESTRELA	-34,297	228	COLIDER	-31,600	315	FOZ R, CLARO	-65,372
40	PROMISSAO	-74,114	95	QUEBRA QUEIX	-33,676	139	CANDONGA	-19,971	229	TELES PIRES	-24,978			
42	NAVANHANDAVA	-67,406	97	CASTRO ALVES	0,354	141	BAGUARI	-19,956	230	SAO MANOEL	-7,978			

Figura 2.2 - Valores da água no corte ativo da FCF do DECOMP acessado pelo DESSEM para o dia 3.

Observam-se valores bastante elevados justamente para as três usinas cuja operação está sendo questionada: Corumbá I, Corumbá III e Corumbá IV, além da usina de Mauá.

2.3 Motivação para a presença de cortes com valor da água bastante elevados na FCF do DECOMP

Em geral, mesmo em casos que são viáveis para o problema como um todo resolvido pelo DECOMP, podem ocorrer muitas inviabilidades nas restrições operativas dos períodos 2 em diante, especialmente nos cenários do segundo mês. Isto ocorre porque, como no primeiro passo *forward* do algoritmo de Programação Dinâmica Dual (PDD) o DECOMP ainda não tem nenhuma informação sobre o custo futuro (além do seu horizonte de estudo), o modelo irá privilegiar a geração hidrelétrica, deplecionando bastante os reservatórios. Com isso, pode haver insuficiência de água em períodos futuros do próprio horizonte do DECOMP para atender tanto a restrições “estáticas” do próprio período, como defluência mínima, geração mínima, etc., como restrições que possuem acoplamento temporal mais explícito, como armazenamentos mínimos, cujo atendimento depende fortemente da operação dos períodos anteriores.

Quando o modelo viola determinada restrição ao longo da PDD, aplica-se um valor muito alto de penalidade. Quando a violação dessa restrição pode ser reduzida com um acréscimo de armazenamentos em determinados reservatórios no início do período, esta penalidade afeta o valor da água e, na recursão backward da PDD, o modelo DECOMP irá construir cortes da FCF com inclinações muito elevadas para esses reservatórios que necessitam de mais armazenamento. Ressalta-se que esse procedimento é natural (e esperado), pois, é o artifício que faz com que, ao longo das iterações, as violações sejam “corrigidas” e as operações dos períodos anteriores passem a ser ajustadas para que as restrições não sejam violadas em períodos posteriores³. Esta questão é ilustrada na Figura 2.3, que mostra as violações ocorridas nos primeiros 50 cenários do segundo mês, na 1ª iteração da PDD.

³ Se o problema como um todo for viável, a aplicação de um valor suficientemente alto de penalização para violação das restrições é capaz de fazer com que, em iterações futuras da PDD, alcance-se uma solução viável.

ITERACAO	FWD (1)/BWD (0)	ESTAGIO	CENARIO	RESTRICAO VIOLADA	VIOLACAO
1	1	6	4	IRRIGACAO, USINA MAUA	1,00000000 m3/s
1	1	6	4	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 3	42,92786913 m3/s
1	1	6	5	IRRIGACAO, USINA MAUA	1,00000000 m3/s
1	1	6	5	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 2	12,02808717 m3/s
1	1	6	5	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 3	77,97542011 m3/s
1	1	6	9	IRRIGACAO, USINA MAUA	1,00000000 m3/s
1	1	6	9	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 3	58,12064022 m3/s
1	1	6	13	IRRIGACAO, USINA MAUA	1,00000000 m3/s
1	1	6	13	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 1	9,82358295 m3/s
1	1	6	13	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 2	13,02488210 m3/s
1	1	6	13	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 3	77,97542011 m3/s
1	1	6	14	IRRIGACAO, USINA MAUA	1,00000000 m3/s
1	1	6	14	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 3	73,28931491 m3/s
1	1	6	15	IRRIGACAO, USINA MAUA	1,00000000 m3/s
1	1	6	15	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 3	46,97606190 m3/s
1	1	6	17	IRRIGACAO, USINA MAUA	1,00000000 m3/s
1	1	6	17	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 3	57,09654383 m3/s
1	1	6	20	IRRIGACAO, USINA MAUA	1,00000000 m3/s
1	1	6	20	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 3	42,92786913 m3/s
1	1	6	23	IRRIGACAO, USINA MAUA	1,00000000 m3/s
1	1	6	23	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 1	13,02488210 m3/s
1	1	6	23	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 2	22,40990317 m3/s
1	1	6	23	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 3	77,97542011 m3/s
1	1	6	26	RESTRICAO ELETRICA 61 PATAMAR 3 (L, INF)	1,57708201 MWmed
1	1	6	26	IRRIGACAO, USINA MAUA	1,00000000 m3/s
1	1	6	26	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 1	13,02488210 m3/s
1	1	6	26	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 2	31,36990317 m3/s
1	1	6	26	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 3	77,97542011 m3/s
1	1	6	33	IRRIGACAO, USINA MAUA	1,00000000 m3/s
1	1	6	33	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 1	6,28674084 m3/s
1	1	6	33	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 2	13,02488210 m3/s
1	1	6	33	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 3	77,97542011 m3/s
1	1	6	34	IRRIGACAO, USINA MAUA	1,00000000 m3/s
1	1	6	34	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 1	13,02488210 m3/s
1	1	6	34	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 2	40,32990317 m3/s
1	1	6	34	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 3	77,97542011 m3/s
1	1	6	36	IRRIGACAO, USINA MAUA	1,00000000 m3/s
1	1	6	36	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 3	53,04835106 m3/s
1	1	6	37	IRRIGACAO, USINA MAUA	1,00000000 m3/s
1	1	6	37	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 3	57,09654383 m3/s
1	1	6	42	IRRIGACAO, USINA MAUA	1,00000000 m3/s
1	1	6	42	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 3	6,49413419 m3/s
1	1	6	45	IRRIGACAO, USINA MAUA	1,00000000 m3/s
1	1	6	45	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 3	42,92786913 m3/s
1	1	6	46	IRRIGACAO, USINA MAUA	1,00000000 m3/s
1	1	6	46	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 1	13,02488210 m3/s
1	1	6	46	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 2	31,36990317 m3/s
1	1	6	46	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 3	77,97542011 m3/s
1	1	6	48	IRRIGACAO, USINA MAUA	1,00000000 m3/s
1	1	6	48	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 3	30,78329082 m3/s
1	1	6	49	IRRIGACAO, USINA MAUA	1,00000000 m3/s
1	1	6	49	RHQ 183: VAZAO DEFLUENTE (L, INF), PATAMAR 3	30,78329082 m3/s
1	1	6	50	RESTRICAO ELETRICA 61 PATAMAR 2 (L, INF)	8,24962923 MWmed
1	1	6	50	RESTRICAO ELETRICA 61 PATAMAR 3 (L, INF)	9,63043945 MWmed
1	1	6	50	RESTRICAO ELETRICA 181 PATAMAR 3 (L, INF)	1,92567337 MWmed

Figura 2.3 - Violações ocorridas nos primeiros 50 cenários do 2º mês na 1ª iteração da PDD, para a rv0 do DECOMP.

No total, houve 441 violações, que se concentraram nas restrições mostradas na tabela a seguir.

Tabela 2.1 - Lista de todas as violações ocorridas nos cenários do 2º mês nas duas primeiras iterações da PDD, para o caso da rv0 no modelo DECOMP

Restrição violada	Valor de violação	# ocorrências da violação
Restrição de vazão (RHQ) 183, que corresponde a uma defluência mínima de 78,8 m³/s para a UHE Mauá	40,4 m³/s em média	162
Irrigação da usina de Mauá , em 1m³/s	1 m³/s	105
Restrição elétrica especial (RE) 61, que corresponde a uma geração mínima de 80 MW em cada patamar para a UHE de Corumbá I	entre 0,5 e 10MW	15
Restrição elétrica especial (RE) 181, que corresponde a uma geração mínima de 45 MW para a UHE Corumbá IV	entre 0,8 e 2MW	5
Restrição elétrica especial (RE) 285, que corresponde a uma geração mínima de 15,1 MW para a UHE Quebra Queixo	0,277 MW	1
Restrição de armazenamento (RHV) 15, que corresponde a um volume mínimo de 1239,0 hm³ para a usina de Barra Bonita	120,6 hm³ em média	153

Observa-se que, dentre as violações, encontram-se algumas restrições para as usinas de Mauá, Corumbá I e Corumbá IV. Ressalta-se que, apesar de a magnitude da inviabilidade impactar no quanto os estágios anteriores devem “ajustar” a sua operação para atender à restrição nos cenários, independentemente desse valor de violação o valor unitário de volume adicional para atender à restrição assumirá o valor unitário de violação no DECOMP (6.497.000 \$/MWh)⁴, conforme mostrado na Figura 2.4. Este valor é calculado internamente pelo modelo, tendo o custo de déficit como balizador, porém com aplicação de um fator que garanta que o modelo somente irá violar uma restrição quando for estritamente necessário.

Penalidade para as folgas no periodo	1	---	0.6497E+07	(\$/MWh)
Penalidade para as folgas no periodo	2	---	0.6497E+07	(\$/MWh)
Penalidade para as folgas no periodo	3	---	0.6497E+07	(\$/MWh)
Penalidade para as folgas no periodo	4	---	0.6497E+07	(\$/MWh)
Penalidade para as folgas no periodo	5	---	0.6497E+07	(\$/MWh)
Penalidade para as folgas no periodo	6	---	0.6497E+07	(\$/MWh)

Figura 2.4 - Valor da penalidade de violação de restrições operativas no DECOMP, impresso no arquivo “relato.xxx”.

A partir da aplicação deste valor da água, espera-se que, ao longo das iterações do DECOMP, as violações ao longo das iterações reduzam, tanto em magnitude quanto em quantidade de ocorrência. Isto é observado no arquivo “inviab_unic.xxx”, cujas violações apontadas nas últimas 10 iterações da PDD são mostradas na figura a seguir.

27	1	6	50	RESTRICAO ELETTRICA	181	PATAMAR	3	(L, INF)	0,00370381	MWmed
27	1	6	142	RESTRICAO ELETTRICA	181	PATAMAR	3	(L, INF)	0,00370381	MWmed
27	1	6	204	RESTRICAO ELETTRICA	181	PATAMAR	3	(L, INF)	0,00370381	MWmed
27	1	6	241	RESTRICAO ELETTRICA	181	PATAMAR	3	(L, INF)	0,00370381	MWmed
29	1	6	46	RHV 15: VOLUME ARMAZENADO	(L, INF)				0,00219858	Hm3
30	1	6	50	RESTRICAO ELETTRICA	181	PATAMAR	3	(L, INF)	0,00035030	MWmed
30	1	6	142	RESTRICAO ELETTRICA	181	PATAMAR	3	(L, INF)	0,00035030	MWmed
30	1	6	204	RESTRICAO ELETTRICA	181	PATAMAR	3	(L, INF)	0,00035030	MWmed
30	1	6	241	RESTRICAO ELETTRICA	181	PATAMAR	3	(L, INF)	0,00035030	MWmed
31	1	6	50	RESTRICAO ELETTRICA	181	PATAMAR	3	(L, INF)	0,21231002	MWmed
31	1	6	142	RESTRICAO ELETTRICA	181	PATAMAR	3	(L, INF)	0,21231002	MWmed
31	1	6	204	RESTRICAO ELETTRICA	181	PATAMAR	3	(L, INF)	0,21231002	MWmed
31	1	6	241	RESTRICAO ELETTRICA	16	PATAMAR	3	(L, INF)	0,58943447	MWmed
31	1	6	241	RESTRICAO ELETTRICA	181	PATAMAR	3	(L, INF)	0,21231002	MWmed
33	1	6	50	RESTRICAO ELETTRICA	181	PATAMAR	3	(L, INF)	0,00057614	MWmed
33	1	6	142	RESTRICAO ELETTRICA	181	PATAMAR	3	(L, INF)	0,00057614	MWmed
33	1	6	204	RESTRICAO ELETTRICA	181	PATAMAR	3	(L, INF)	0,00057614	MWmed
33	1	6	241	RESTRICAO ELETTRICA	181	PATAMAR	3	(L, INF)	0,00057614	MWmed
34	1	6	46	RHV 15: VOLUME ARMAZENADO	(L, INF)				0,00047190	Hm3
36	1	6	46	RHV 15: VOLUME ARMAZENADO	(L, INF)				0,00009248	Hm3

Figura 2.5 – Violações ocorridas nas últimas 10 iterações da execução da rv0 do DECOMP.

A seguir, particulariza-se a análise para as usinas de Corumbá I, III e IV, que foram aquelas para as quais observaram-se os maiores problemas.

2.4 Análise dos valores da água de Corumbá I e Corumbá III

Outro aspecto que foi questionado é a “inversão” nos valores da água das usinas Corumbá I e Corumbá III na Figura 2.2, pois o valor da água está maior para a usina Corumbá I, que é a usina de jusante. A Tabela 2.2 lista os valores da água para essas usinas em todos os cortes do DECOMP, onde se observa que as únicas situações em que se verificou essa inversão foram nos cortes das iterações 1 e 2, que são os que possuem valores elevados da água para “corrigir” as inviabilidades no DECOMP.

⁴ Para restrições hidráulicas, este valor de penalidade é convertido para a unidade de \$/hm³, variando para cada usina com base na soma das produtividades médias de todas as usinas a jusante na cascata, até o oceano.

Tabela 2.2 - Valores da água de Corumbá I e Corumbá III nos cortes do DECOMP.

Corte	Usina	Váguas (10 ³ \$/hm ³)	Diferença (10 ³ \$/hm ³)		Corte	codusih	Usina	Váguas (10 ³ \$/hm ³)	Diferença (\$/hm ³)	
1	CORUMBA I	-116.805,04	invertida	-3193,78	21	30	CORUMBA I	-105,11	OK	7,8779
	CORUMBA III	-113.611,26					CORUMBA III	-112,99		
2	CORUMBA I	-105.550,13	invertida	-11,5959	22	30	CORUMBA I	-105,10	OK	7,88872
	CORUMBA III	-105.538,53					CORUMBA III	-112,99		
3	CORUMBA I	-112,97	OK	9,12184	23	30	CORUMBA I	-105,32	OK	7,93129
	CORUMBA III	-122,09					CORUMBA III	-113,26		
4	CORUMBA I	-113,25	OK	8,25418	24	30	CORUMBA I	-105,25	OK	7,94383
	CORUMBA III	-121,50					CORUMBA III	-113,20		
5	CORUMBA I	-113,10	OK	8,37353	25	30	CORUMBA I	-105,19	OK	7,8951
	CORUMBA III	-121,47					CORUMBA III	-113,08		
6	CORUMBA I	-113,13	OK	8,34593	26	30	CORUMBA I	-105,17	OK	7,90606
	CORUMBA III	-121,48					CORUMBA III	-113,08		
7	CORUMBA I	-113,11	OK	8,49009	27	30	CORUMBA I	-105,58	OK	7,98359
	CORUMBA III	-121,60					CORUMBA III	-113,56		
8	CORUMBA I	-113,51	OK	8,63316	28	30	CORUMBA I	-105,58	OK	7,98347
	CORUMBA III	-122,14					CORUMBA III	-113,56		
9	CORUMBA I	-113,36	OK	8,66785	29	30	CORUMBA I	-105,57	OK	7,98745
	CORUMBA III	-122,03					CORUMBA III	-113,56		
10	CORUMBA I	-113,39	OK	8,63579	30	30	CORUMBA I	-105,55	OK	7,9672
	CORUMBA III	-122,03					CORUMBA III	-113,52		
11	CORUMBA I	-105,07	OK	7,91388	31	30	CORUMBA I	-105,58	OK	7,98859
	CORUMBA III	-112,98					CORUMBA III	-113,56		
12	CORUMBA I	-105,09	OK	7,87724	32	30	CORUMBA I	-105,48	OK	7,94404
	CORUMBA III	-112,96					CORUMBA III	-113,43		
13	CORUMBA I	-105,08	OK	7,87685	33	30	CORUMBA I	-105,52	OK	7,96694
	CORUMBA III	-112,96					CORUMBA III	-113,49		
14	CORUMBA I	-105,08	OK	7,88608	34	30	CORUMBA I	-105,47	OK	7,95668
	CORUMBA III	-112,96					CORUMBA III	-113,43		
15	CORUMBA I	-105,08	OK	7,88402	35	30	CORUMBA I	-105,48	OK	7,93977
	CORUMBA III	-112,96					CORUMBA III	-113,42		
16	CORUMBA I	-105,08	OK	7,8777	36	30	CORUMBA I	-105,47	OK	7,93868
	CORUMBA III	-112,96					CORUMBA III	-113,41		
17	CORUMBA I	-105,08	OK	7,87888	37	30	CORUMBA I	-105,47	OK	7,948
	CORUMBA III	-112,96					CORUMBA III	-113,42		
18	CORUMBA I	-105,08	OK	7,88513	38	30	CORUMBA I	-105,52	OK	7,9394
	CORUMBA III	-112,96					CORUMBA III	-113,46		
19	CORUMBA I	-105,08	OK	7,88441	39	30	CORUMBA I	-105,50	OK	7,95574
	CORUMBA III	-112,96					CORUMBA III	-113,46		
20	CORUMBA I	-105,11	OK	7,88218			CORUMBA I	-105,11		
	CORUMBA III	-112,99					CORUMBA III	-112,99		

Uma análise preliminar indica que essa inversão está relacionada à ocorrência de violações para restrições operativas de Corumbá I nas iterações do DECOMP, conforme indicado na Tabela 2.1 (note que não há violações para a usina de Corumbá III), visto que estas violações elevadas ocorrem justamente nas primeiras iterações. Entretanto, em princípio, uma unidade adicional de água na usina de Corumbá III também ajudaria a atender a restrição elétrica que havia sido violada para a usina de Corumbá I no DECOMP (o que motiva o valor elevado da água também para Corumbá III). Portanto, a

existência desta violação em si, por si só não justificaria esta inversão, a menos que Corumbá I estivesse em sua geração ou turbinamento máximo no DECOMP, mas neste caso a diferença entre os valores da água, em módulo, deveria ser da natureza das penalidades de vertimento e turbinamento.

Em relação á questão da inversão de valores da água possivelmente está relacionada à violação da restrição ocorrida no DECOMP, porém uma análise mais detalhada seria objeto de estudo no próprio DECOMP. De qualquer forma, ressalta-se que tal inversão só ocorre nos cortes onde os valores da água não representam o valor “econômico” em si de geração, mas sim valores “artificiais” oriundos do uso de penalidades para violação de restrições no DECOMP.

2.5 Análise do comportamento do DECOMP nas primeiras iterações da PDD

É importante avaliar como a operação do DECOMP se comportou nas primeiras iterações da PDD, onde só consultava os cortes iniciais. Estes resultados foram obtidos a partir de análise interna do caso pelo CEPEL, já que a operação ao longo das iterações não é impressa pelo DECOMP para o usuário.

Na sequência, mostra-se como variou a operação das usinas Corumbá I, III e IV e do CMO do sistema:

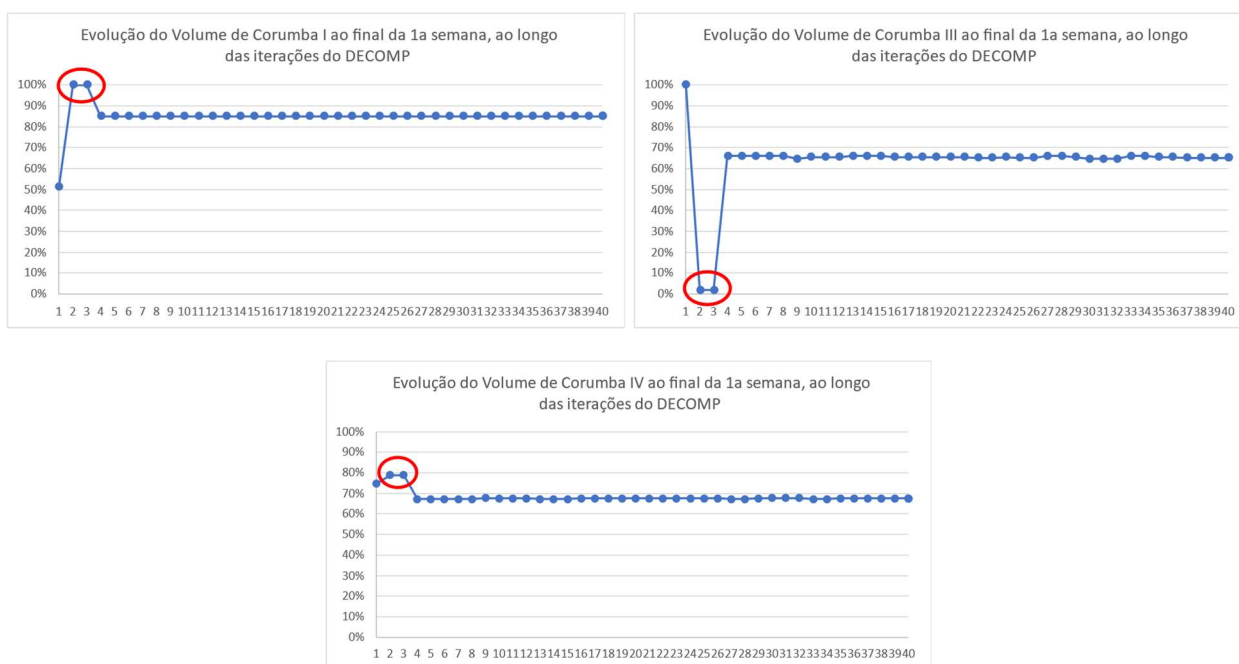


Figura 2.6 - Evolução do armazenamento de Corumbá I, III e IV ao longo das iterações de PDD do DECOMP.

Mostra-se também como evoluiu o CMO da primeira semana ao longo das iterações do DECOMP.

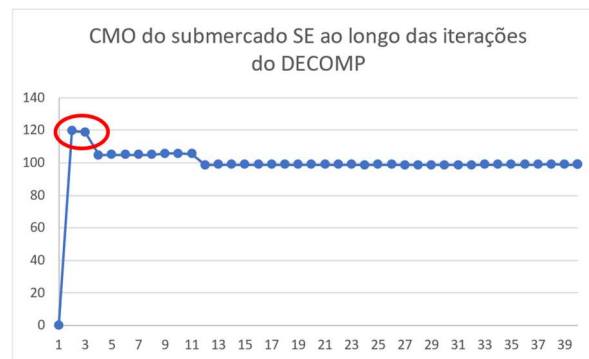


Figura 2.7 - Evolução do CMO ao longo das iterações de PDD do DECOMP.

Destacam-se os seguintes comportamentos nas iterações 2 e 3 da PDD, que se assemelham aos obtidos na rodada com o DESSEM:

- Elevado e reduzido armazenamento, respectivamente, nas usinas de Corumbá I e Corumbá III;
- Um valor de CMO em torno de R\$120,00/MWh.

Além disso, verificou-se também um vertimento em Corumbá III de 130,4 m³/s, em média, nas iterações 2 e 3 de PDD do DECOMP.

Os resultados indicam que, tanto os volumes finais dessas usinas como os CMOs obtidos pelo DESSEM, estão condizentes, de certa forma, com os resultados obtidos pelo DECOMP quando este tinha apenas os cortes das primeiras iterações. É importante lembrar que, embora o DESSEM considere diversas restrições e características que não estão presentes no DECOMP (cronologia horária, tempo de viagem, rede elétrica (caso ONS)), o valor da água em si é fortemente influenciado pelo sinal vindo da função de custo futuro do DECOMP.

Um ponto importante, que deve ser estudado é: por quê o DESSEM acionou justamente o primeiro corte do DECOMP? Uma explicação pode ser o fato de o DESSEM ter “visitado” regiões de armazenamento um pouco distintos do DECOMP, para os quais talvez a FCF do DECOMP não estivesse tão bem representada. Este aspecto deve ser mais bem investigado no futuro.

Ressalta-se que o objetivo do DECOMP não é construir uma política de operação para o DESSEM (como é o caso do NEWAVE para o DECOMP), mas sim encontrar a solução ótima do problema que resolve. Para tal, irá construir tão somente os cortes que sejam suficientes para se representar acuradamente a FCF dos estágios na região próxima à solução ótima, cujo espectro tende a reduzir cada vez mais ao longo das iterações da PDD. Neste sentido, consideramos que é importante um estudo mais aprofundado de estratégias para que o DECOMP “explore” uma região mais ampla, e a consideração de cenários a partir da segunda semana pode trazer bons resultados neste sentido.

De qualquer forma, é importante pensarmos em estratégias de curtíssimo prazo para tratar o problema, e uma delas é evitar que o DECOMP construa cortes com inclinações muito elevadas, que podem “perturbar” a operação e, eventualmente, afetar o CMO. Entretanto, estes valores de penalidades devem ser sempre suficientes para garantir que as restrições operativas sejam atendidas, quando possível.

3 Análise do uso de penalidades variáveis (crescentes) no DECOMP – caso do dia 03

Nesta seção mostram-se os resultados obtidos utilizando-se uma versão alternativa do DECOMP, onde se aplica um valor mais baixo de penalidade para violações das restrições na primeira iteração da PDD, e este valor vai sendo aumentado ao longo das iterações futuras, na medida que for necessário. Observa-se que a estratégia é exata do ponto de vista matemático, contanto que o valor de penalidade seja sempre crescente (de forma a garantir cortes sempre válidos) e ao final, atinja um valor alto o suficiente para que se atendam todas as restrições (no caso de o problema ser viável). Esta estratégia também deve ter o cuidado de “reinicializar” o procedimento de cálculo do limite superior sempre que o valor da penalidade seja aumentado, passando a considerar o mínimo valor dentro os encontrados nas próximas iterações. Os detalhes metodológicos e funcionais dessa estratégia serão descritos em outro documento.

3.1 Resultados comparativos com o modelo DECOMP

Mostram-se a seguir os resultados obtidos com o modelo DECOMP adotando-se essa estratégia, comparando com os resultados obtidos com a versão anterior. Daqui em diante essas duas variantes de execução do DECOMP serão denominadas de “Penal” e “Original”, respectivamente.

3.1.1 Relatório de convergência

A Figura 3.1 mostra os relatórios de convergência do modelo DECOMP nas duas versões, onde, no caso com penalidade crescente, as linhas com “*****” indicam as iterações onde o valor de penalidade foi aumentado, fazendo-se com que o limite superior tenha sido reinicializado com o valor “+∞”. Como esperado, os intervalos de otimalidade em ambas as rodadas para o critério de otimalidade adotado (10⁻³%) apresentam uma clara interseção entre si, o que evidencia a exatidão do método proposto. Evidentemente, análises mais exaustivas devem ser realizadas contemplando um conjunto maior de casos e situações operativas, e apertando-se o gap de otimalidade.

ORIGINAL					PENAL				
It	Zinf (1.0E+03 \$)	Zsup (1.0E+03 \$)	GAP (%)	TEMPO	It	Zinf (1.0E+03 \$)	Zsup (1.0E+03 \$)	GAP (%)	TEMPO
1	1775772.2	439051301.6	24624.5289872	00:02:051	1	36226102.8	62002996.0	71.1555790	00:01:431
2	1788627.1	439051301.6	24446.8333221	00:03:121	2	36335912.2	62002996.0	70.6383358	00:02:181
3	57331752.1	439051301.6	665.8082748	00:03:561	3	57335051.2	57782812.1	0.7809549	00:02:291
4	57332123.2	205982099.4	259.2786868	00:04:421	4	57335061.6	*****	0.2E+15	00:02:451
5	57335611.7	64095794.7	11.7905482	00:05:191	5	57340965.3	57784323.8	0.7731969	00:02:561
6	57335650.5	59639927.4	4.0189251	00:05:551	6	57356508.3	57784323.8	0.7458883	00:03:131
7	57335834.5	58550029.0	2.1176889	00:06:271	7	57356624.6	57431066.9	0.1297884	00:03:231
8	57342531.4	58009201.9	1.1626108	00:07:081	8	57356727.1	57404206.7	0.0827794	00:03:281
9	57357040.1	58009201.9	1.1370215	00:08:001	9	57371867.1	*****	0.2E+15	00:03:351
10	57357077.1	57482763.4	0.2191297	00:08:501	10	57373807.1	57407335.6	0.0584388	00:03:451
11	57392647.3	57400590.7	0.0138405	00:09:311	11	57373874.4	57407335.6	0.0583213	00:03:561
12	57394285.9	57400590.7	0.0109852	00:10:161	12	57393047.1	57407335.6	0.0248959	00:04:031
13	57394286.6	57400590.7	0.0109838	00:10:501	13	57393223.0	57407335.6	0.0245894	00:04:111
14	57394307.3	57400590.7	0.0109478	00:11:301	14	57393233.1	*****	0.2E+15	00:04:171
15	57394307.5	57400590.7	0.0109475	00:12:071	15	57393612.4	57402615.8	0.0156870	00:04:221
16	57394307.8	57400590.7	0.0109470	00:12:371	16	57393637.4	57402615.8	0.0156434	00:04:291
17	57394311.6	57400590.7	0.0109403	00:13:161	17	57393651.8	57402362.4	0.0151770	00:04:341
18	57394634.1	57400590.7	0.0103784	00:13:531	18	57394173.9	57401528.3	0.0128139	00:04:401
19	57394637.6	57398505.7	0.0067395	00:14:361	19	57395021.9	*****	0.2E+15	00:04:471
20	57394643.7	57398136.5	0.0060857	00:15:111	20	57395608.8	5740120.6	0.0252838	00:04:571
21	57394691.8	57398136.5	0.0060019	00:15:521	21	57396106.1	57400159.1	0.0070614	00:05:051
22	57394694.7	57398136.5	0.0059967	00:16:351	22	57396316.1	57398274.0	0.0034113	00:05:101
23	57395022.3	57398136.5	0.0054260	00:17:121	23	57396318.1	57398274.0	0.0034078	00:05:181
24	57395025.1	57398136.5	0.0054211	00:17:521	24	57396322.3	*****	0.2E+15	00:05:241
25	57395206.3	57398136.5	0.0051054	00:18:271	25	57396406.9	57402886.4	0.0112890	00:05:401
26	57396300.0	57398136.5	0.0031998	00:19:091	26	57396409.8	57398016.7	0.0027995	00:05:511
27	57396307.9	57398042.8	0.0030227	00:19:501	27	57396543.9	57398012.9	0.0025593	00:06:041
28	57396684.3	57398042.8	0.0023670	00:20:321	28	57396555.0	57397791.4	0.0021542	00:06:151
29	57396971.7	57397986.0	0.0017672	00:21:151	29	57397224.4	*****	0.2E+15	00:06:231
30	57396977.5	57397830.4	0.0014860	00:21:531	30	57397226.5	57398509.2	0.0022349	00:06:341
31	57396998.0	57397830.4	0.0014502	00:22:351	31	57397288.9	57397727.6	0.0007643	00:06:551
32	57397011.1	57397775.9	0.0013326	00:23:141					
33	57397126.2	57397775.9	0.0011320	00:23:511					
34	57397137.6	57397775.9	0.0011122	00:24:291					
35	57397160.7	57397775.9	0.0010719	00:25:031					
36	57397164.6	57397552.6	0.0006760	00:25:391					

Figura 3.1 _ Relatórios de convergência do DECOMP na versão original (esquerda) e na versão com penalidade crescente (direita).

3.1.2 Resultados de CMO

A Figura 3.1 mostra os custos marginais de operação obtidos em ambas as rodadas.

ORIGINAL						PENAL					
CUSTO MARGINAL DE OPERAÇÃO (\$/MWh)						CUSTO MARGINAL DE OPERAÇÃO (\$/MWh)					
Ssis	Sem_01	Sem_02	Sem_03	Sem_04	Sem_05	Ssis	Sem_01	Sem_02	Sem_03	Sem_04	Sem_05
Pat_1	98.95	99.02	99.23	98.29	97.57	Pat_1	98.78	98.98	99.37	98.31	97.55
Pat_2	98.37	97.99	98.49	97.41	96.58	Pat_2	98.39	97.98	98.51	97.41	96.59
Pat_3	96.87	97.09	96.71	95.71	95.14	Pat_3	97.02	97.18	96.85	95.72	95.19
Med_SE	97.91	97.96	97.96	96.97	96.25	Med_SE	97.92	97.98	98.08	96.98	96.27
Pat_1	98.95	99.02	99.23	98.29	97.57	Pat_1	98.78	98.98	99.37	98.31	97.55
Pat_2	98.37	97.99	98.49	97.41	96.58	Pat_2	98.39	97.98	98.51	97.41	96.59
Pat_3	96.87	97.09	96.71	95.71	95.14	Pat_3	97.02	97.18	96.85	95.72	95.19
Med_S	97.91	97.96	97.96	96.97	96.25	Med_S	97.92	97.98	98.08	96.98	96.27
Pat_1	98.95	99.02	99.23	98.29	97.57	Pat_1	98.78	98.98	99.37	98.31	97.55
Pat_2	98.37	97.99	98.49	97.41	96.58	Pat_2	98.39	97.98	98.51	97.41	96.59
Pat_3	96.87	97.09	96.71	95.71	95.14	Pat_3	97.02	97.18	96.85	95.72	95.19
Med_NE	97.91	97.96	97.96	96.97	96.25	Med_NE	97.92	97.98	98.08	96.98	96.27
Pat_1	98.95	99.02	99.23	98.29	97.57	Pat_1	98.78	98.98	99.37	98.31	97.55
Pat_2	98.37	97.99	98.49	97.41	96.58	Pat_2	98.39	97.98	98.51	97.41	96.59
Pat_3	96.87	97.09	96.71	95.71	95.14	Pat_3	97.02	97.18	96.85	95.72	95.19
Med_N	97.91	97.96	97.96	96.97	96.25	Med_N	97.92	97.98	98.08	96.98	96.27
Pat_1	98.95	99.02	99.23	98.29	97.57	Pat_1	98.78	98.98	99.37	98.31	97.55
Pat_2	98.37	97.99	98.49	97.41	96.58	Pat_2	98.39	97.98	98.51	97.41	96.59
Pat_3	96.87	97.09	96.71	95.71	95.14	Pat_3	97.02	97.18	96.85	95.72	95.19
Med_FC	97.91	97.96	97.96	96.97	96.25	Med_FC	97.92	97.98	98.08	96.98	96.27

Figura 3.2 – Resultados de Custo Marginal de Operação obtidos com as versões do DECOMP original (esquerda) e com penalidade crescente (direita).

Novamente verifica-se a grande aderência entre os resultados dos dois modelos. É importante, ainda, realizar análises mais exaustivas das diferenças entre as duas rodadas no DECOMP, observando diversas variáveis operativas. Para esta análise, pode-se considerar a utilização de um gap de otimalidade muito baixo, para reduzir a ocorrência de diferenças devido a soluções de mesmo custo, que de qualquer forma, existem.

3.1.3 Função de Custo Futuro (FCF) construída para o DESSEM

Ao consultar, na rodada do modelo DESSEM (vide seção 3.3), o arquivo PDO_ECO_FCFCORTES que contém os cortes construídos pelo DECOMP nesta versão "Penal", não mais se verificaram os elevados valores da água para as usinas Corumbá I, II e III. A Figura 3.3 lista os valores da água elevados que foram encontrados, que podem estar associados a outras restrições específicas que foram violadas ao longo do processo iterativo de convergência do DECOMP.

ICUT	TP,ENTID	ID,ENT	NomeEntid	TP,COEF	ILAG	IPAT	Val,Coef	Unid
1	USIH	57	MAUJA	VARM	0	0	-53358,97942	(1000\$/hm3)
1	USIH	119	HENRY BORDEN	VARM	0	0	-116484,7239	(1000\$/hm3)
2	USIH	57	MAUJA	VARM	0	0	-53355,43014	(1000\$/hm3)
3	USIH	119	HENRY BORDEN	VARM	0	0	-116470,2981	(1000\$/hm3)
4	USIH	119	HENRY BORDEN	VARM	0	0	-116470,2986	(1000\$/hm3)
6	USIH	119	HENRY BORDEN	VARM	0	0	-232787,6914	(1000\$/hm3)
7	USIH	119	HENRY BORDEN	VARM	0	0	-232787,6809	(1000\$/hm3)
11	USIH	119	HENRY BORDEN	VARM	0	0	-465410,3491	(1000\$/hm3)
12	USIH	119	HENRY BORDEN	VARM	0	0	-465410,3631	(1000\$/hm3)
14	USIH	108	TRACAO	VARM	0	0	-207850,5712	(1000\$/hm3)
14	USIH	109	PEDREIRA	VARM	0	0	-207850,5711	(1000\$/hm3)
14	USIH	119	HENRY BORDEN	VARM	0	0	-465410,5174	(1000\$/hm3)
15	USIH	119	HENRY BORDEN	VARM	0	0	-465410,5142	(1000\$/hm3)
16	USIH	119	HENRY BORDEN	VARM	0	0	-930680,092	(1000\$/hm3)
17	USIH	119	HENRY BORDEN	VARM	0	0	-930679,8958	(1000\$/hm3)
19	USIH	119	HENRY BORDEN	VARM	0	0	-930680,7252	(1000\$/hm3)
21	USIH	119	HENRY BORDEN	VARM	0	0	-1861220,024	(1000\$/hm3)
22	USIH	119	HENRY BORDEN	VARM	0	0	-1861220,024	(1000\$/hm3)
23	USIH	119	HENRY BORDEN	VARM	0	0	-1861219,99	(1000\$/hm3)
24	USIH	119	HENRY BORDEN	VARM	0	0	-1861219,906	(1000\$/hm3)
25	USIH	119	HENRY BORDEN	VARM	0	0	-1861219,915	(1000\$/hm3)
27	USIH	119	HENRY BORDEN	VARM	0	0	-3722298,226	(1000\$/hm3)
28	USIH	119	HENRY BORDEN	VARM	0	0	-3722298,224	(1000\$/hm3)
29	USIH	119	HENRY BORDEN	VARM	0	0	-3722298,224	(1000\$/hm3)
30	USIH	119	HENRY BORDEN	VARM	0	0	-3722298,228	(1000\$/hm3)
32	USIH	119	HENRY BORDEN	VARM	0	0	-7444454,877	(1000\$/hm3)
33	USIH	119	HENRY BORDEN	VARM	0	0	-7444454,878	(1000\$/hm3)
34	USIH	119	HENRY BORDEN	VARM	0	0	-7444454,878	(1000\$/hm3)

Figura 3.3 - Valores da água elevados obtidos nos cortes do DECOMP, para a rodada com a penalização variável (índices baixos referem-se aos cortes mais antigos).

3.1.4 Valores da água de Corumbá I e Corumbá III

Assim como foi feito para o caso original, avaliam-se os valores da água de Corumbá I e Corumbá III nos cortes do DECOMP, com a utilização de penalização crescente. Os resultados, mostrados na Tabela 3.1., indicam o mesmo padrão verificado anteriormente:

- Não houve inversão dos valores da água para os cortes construídos em situações “normais”, onde não há violação de restrições no DECOMP e o valor da água reflete o valor “econômico” da geração;
- Houve inversão apenas na iteração inicial, em que o DECOMP está “resolvendo” as violações ocorridas no primeiro passo forward, através da construção de cortes de Benders.

Como a inversão ocorrida na iteração 1 é de ordem de grande bem inferior ao do caso original, reforça-se o indício de que esteja relacionada à violação da restrição, conforme discutido ao final da seção 3.1.4. Esta questão ainda está em análise pelo CEPEL.

Tabela 3.1 - Valores da água de Corumbá I e Corumbá III nos cortes do DECOMP para o caso com penalidade crescente no DECOMP.

Corte	Usina	Vágua (10 ³ \$/hm ³)	Diferença (10 ³ \$/hm ³)		Corte	codusih	Usina	Vágua (10 ³ \$/hm ³)	Diferença (10 ³ \$/hm ³)	
1	CORUMBA I	-1.023,09	invertida	-0,70814	17	30	CORUMBA I	-105,18	OK	7,89424
	CORUMBA III	-1.022,38					CORUMBA III	-113,08		
2	CORUMBA I	-811,78	OK	11,09694	18	30	CORUMBA I	-105,12	OK	7,877
	CORUMBA III	-822,88					CORUMBA III	-113,00		
3	CORUMBA I	-113,10	OK	8,39224	19	30	CORUMBA I	-105,57	OK	8,00642
	CORUMBA III	-121,49					CORUMBA III	-113,58		
4	CORUMBA I	-113,09	OK	8,40035	20	30	CORUMBA I	-105,35	OK	7,95128
	CORUMBA III	-121,49					CORUMBA III	-113,30		
5	CORUMBA I	-113,50	OK	8,41978	21	30	CORUMBA I	-105,37	OK	7,94847
	CORUMBA III	-121,92					CORUMBA III	-113,32		
6	CORUMBA I	-113,39	OK	8,39255	22	30	CORUMBA I	-105,36	OK	7,93184
	CORUMBA III	-121,78					CORUMBA III	-113,29		
7	CORUMBA I	-113,39	OK	8,64615	23	30	CORUMBA I	-105,34	OK	7,9445
	CORUMBA III	-122,04					CORUMBA III	-113,29		
8	CORUMBA I	-113,37	OK	8,66597	24	30	CORUMBA I	-105,34	OK	7,9436
	CORUMBA III	-122,03					CORUMBA III	-113,28		
9	CORUMBA I	-113,34	OK	8,71583	25	30	CORUMBA I	-105,33	OK	7,94841
	CORUMBA III	-122,06					CORUMBA III	-113,28		
10	CORUMBA I	-107,02	OK	8,0951	26	30	CORUMBA I	-105,35	OK	7,93396
	CORUMBA III	-115,12					CORUMBA III	-113,29		
11	CORUMBA I	-108,54	OK	8,21494	27	30	CORUMBA I	-105,38	OK	7,94161
	CORUMBA III	-116,76					CORUMBA III	-113,32		
12	CORUMBA I	-105,11	OK	8,28041	28	30	CORUMBA I	-105,44	OK	7,97172
	CORUMBA III	-113,39					CORUMBA III	-113,41		
13	CORUMBA I	-105,11	OK	7,88181	29	30	CORUMBA I	-105,54	OK	7,96014
	CORUMBA III	-112,99					CORUMBA III	-113,50		
14	CORUMBA I	-105,11	OK	7,89869	30	30	CORUMBA I	-105,55	OK	7,95895
	CORUMBA III	-113,01					CORUMBA III	-113,51		
15	CORUMBA I	-105,10	OK	7,88969	31	30	CORUMBA I	-105,53	OK	7,96491
	CORUMBA III	-112,99					CORUMBA III	-113,50		
16	CORUMBA I	-105,12	OK	7,87676	32	30	CORUMBA I	-105,54	OK	7,96714
	CORUMBA III	-112,99					CORUMBA III	-113,50		

3.2 Análise do comportamento do DECOMP nas primeiras iterações da PDD

É importante avaliar como a operação do DECOMP com a metodologia de penalidade crescente se comportou nas primeiras iterações da PDD, onde só consultava os cortes iniciais.

Na sequência, mostra-se como variou a operação das usinas Corumbá I, III e IV:

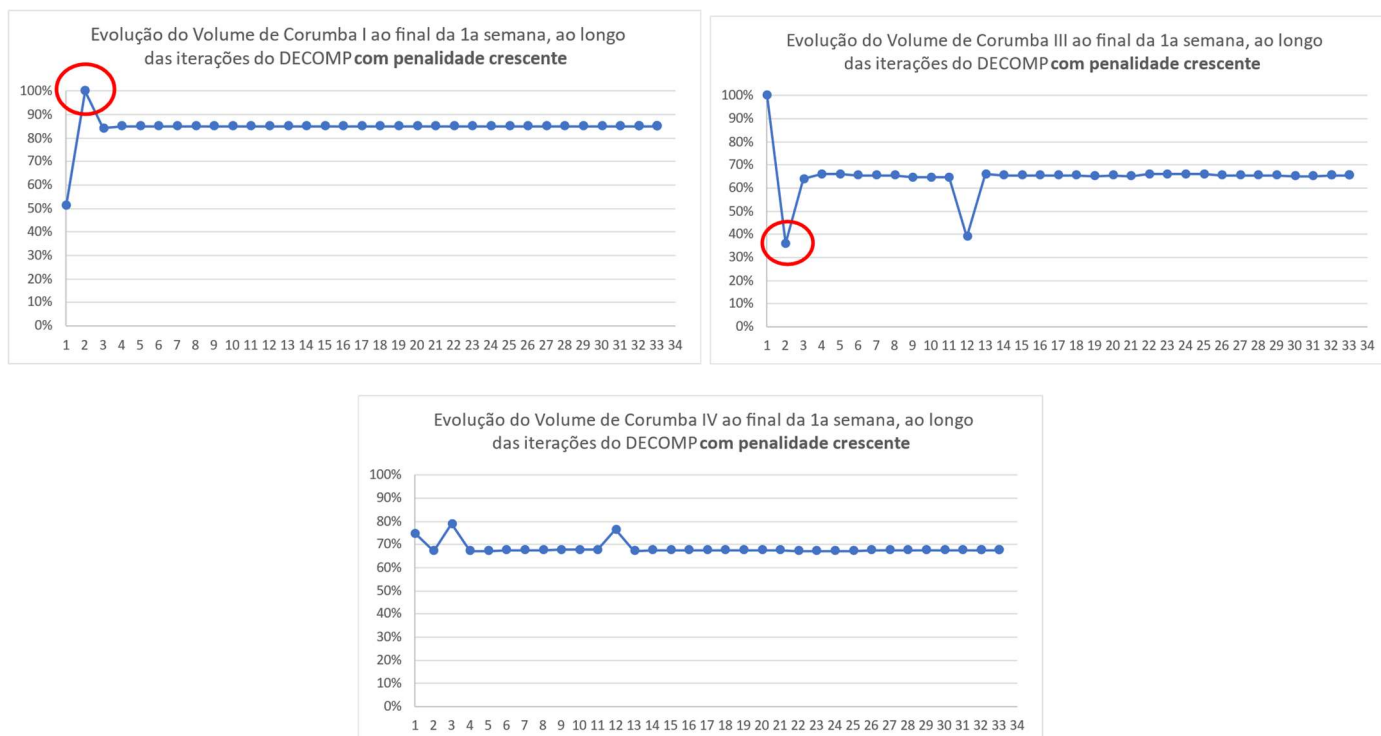


Figura 3.4 - Evolução do armazenamento de Corumbá I, III e IV ao longo das iterações de PDD do DECOMP com penalidade crescente.

E mostra-se também como evoluiu o CMO da primeira semana ao longo das iterações do DECOMP.

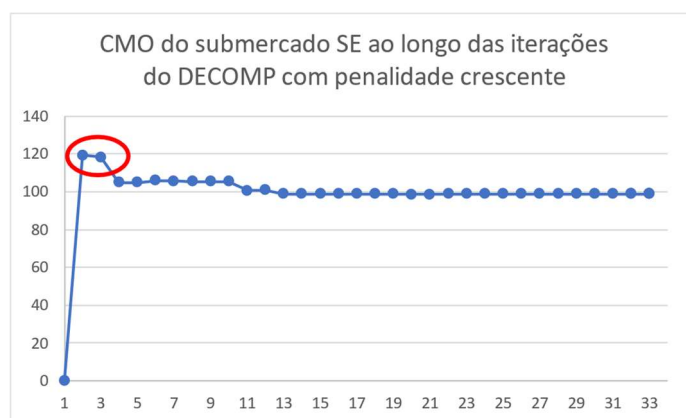


Figura 3.5 - Evolução do CMO ao longo das iterações de PDD do DECOMP com penalidade crescente.

Em comparação com a rodada original do DECOMP, nota-se que, em relação a iteração 3, houve uma diferença significativa na operação dos reservatórios, em que seus percentuais de armazenamento tiveram um comportamento mais regular dentro da curva de evolução das iterações, conforme o desejado. Em particular, na iteração 2 houve uma redução do abatimento do reservatório de Corumbá III, de 0% para aproximadamente 36%, a usina de Corumbá I continuou com um armazenamento em 100% e Corumbá IV passou de 79% para 67%. O comportamento do CMO ao longo das iterações se manteve em relação ao caso original.

3.3 Resultados comparativos com o DESSEM

Na sequência, mostram-se resultados comparativos da execução do modelo DESSEM com o mesmo caso referente ao dia 03, porém utilizando duas FCF distintas do DECOMP: a original e a obtida como resultado da versão do DECOMP com penalidade crescente. Inicialmente, avaliam-se os dois resultados que haviam sido mais questionados na rodada original: o CMO e a operação das usinas de Corumbá. Na sequência, analisam-se também os resultados de armazenamento e geração para outras usinas do sistema.

3.3.1 Custo marginal de Operação

Apresenta-se na Figura 3.6 os valores de custo marginal de operação, onde se verifica que, com a rodada utilizando os cortes do DECOMP com a penalidade crescente, há uma maior aproximação entre os valores de CMO do DESSEM (em torno de R\$120/MWh) e o valor fornecido pelo DECOMP.

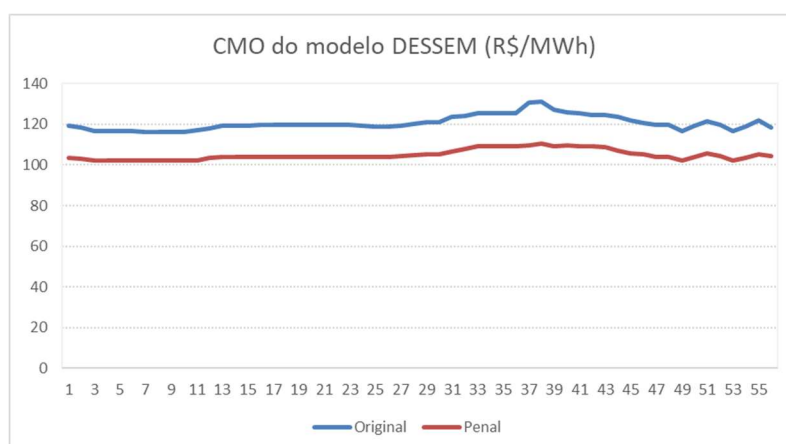


Figura 3.6 - Comparação entre os CMOs obtidos com o DESSEM para o submercado SE, para o caso original e o caso com os cortes da FCF do DECOMP com penalidade crescente.

3.3.2 Impressão dos valores da água para usinas de Corumbá

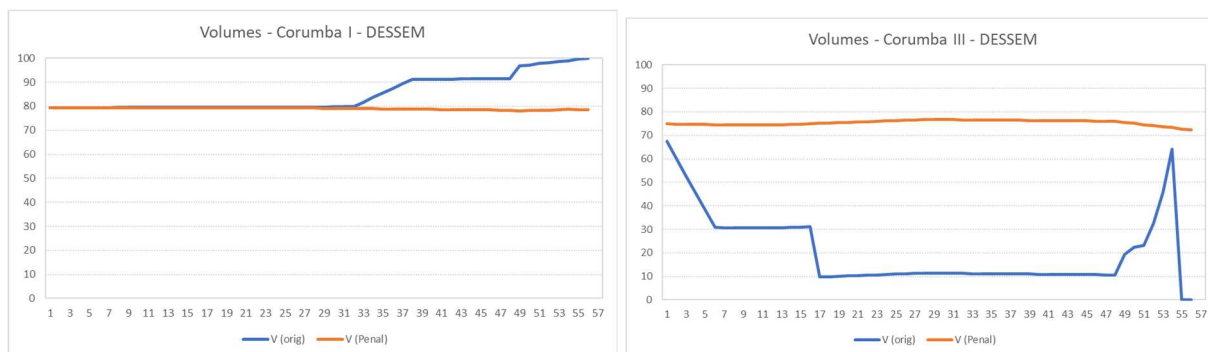
Com esta versão com penalidade incremental, observaram-se valores da água para as usinas Corumbá I, Corumbá III e Corumbá IV compatíveis com o custo marginal de operação, conforme ilustrado na figura abaixo, que corresponde a um trecho do arquivo "pdo_oper_usih", para o primeiro dia de estudo.

IPER	USIH	NomeUsih	Ghid (MW)	Ghmax (MW)	Pinst (MW)	ValorAgua (\$/MWh)	IPER	USIH	NomeUsih	Ghid (MW)	Ghmax (MW)	Pinst (MW)	ValorAgua (\$/MWh)	IPER	USIH	NomeUsih	Ghid (MW)	Ghmax (MW)	Pinst (MW)	ValorAgua (\$/MWh)
1	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	95,23	17	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	94,61	33	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	95,89
1	30	CORUMBA I	147,89	375,00	375,00	99,25	17	30	CORUMBA I	147,50	375,00	375,00	99,04	33	30	CORUMBA I	374,89	375,00	375,00	100,04
2	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	98,11	17	203	CORUMBA III	0,00	0,00	96,45	97,38	33	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	98,86
2	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	95,16	18	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	94,82	34	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	96,69
2	30	CORUMBA I	147,87	375,00	375,00	99,15	18	30	CORUMBA I	147,48	375,00	375,00	99,31	34	30	CORUMBA I	374,89	375,00	375,00	101,06
2	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	98,02	18	203	CORUMBA III	0,00	0,00	96,45	97,62	34	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	99,80
3	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	95,07	19	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	94,89	35	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	96,28
3	30	CORUMBA I	147,84	375,00	375,00	99,04	19	30	CORUMBA I	147,45	375,00	375,00	99,40	35	30	CORUMBA I	374,89	375,00	375,00	100,53
3	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	97,92	19	203	CORUMBA III	0,00	0,00	96,45	97,70	35	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	99,32
4	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	95,03	20	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	94,92	36	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	96,33
4	30	CORUMBA I	147,82	375,00	375,00	98,98	20	30	CORUMBA I	147,43	375,00	375,00	99,44	36	30	CORUMBA I	374,89	375,00	375,00	100,58
4	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	97,87	20	203	CORUMBA III	0,00	0,00	96,45	97,74	36	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	99,37
5	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	95,03	21	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	94,91	37	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	96,62
5	30	CORUMBA I	147,79	375,00	375,00	98,98	21	30	CORUMBA I	147,40	375,00	375,00	99,42	37	30	CORUMBA I	374,89	375,00	375,00	100,96
5	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	97,87	21	203	CORUMBA III	0,00	0,00	96,45	97,72	37	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	99,71
6	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	95,05	22	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	94,93	38	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	96,63
6	30	CORUMBA I	147,77	375,00	375,00	99,00	22	30	CORUMBA I	147,38	375,00	375,00	99,45	38	30	CORUMBA I	374,89	375,00	375,00	100,96
6	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	97,89	22	203	CORUMBA III	0,00	0,00	96,45	97,75	38	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	99,72
7	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	94,96	23	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	94,92	39	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	96,48
7	30	CORUMBA I	147,75	375,00	375,00	98,89	23	30	CORUMBA I	147,36	375,00	375,00	99,43	39	30	CORUMBA I	374,89	375,00	375,00	100,77
7	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	97,80	23	203	CORUMBA III	0,00	0,00	96,45	97,73	39	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	99,55
8	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	95,04	24	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	94,93	40	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	96,01
8	30	CORUMBA I	147,72	375,00	375,00	98,98	24	30	CORUMBA I	147,33	375,00	375,00	99,45	40	30	CORUMBA I	374,89	375,00	375,00	100,16
8	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	97,88	24	203	CORUMBA III	0,00	0,00	96,45	97,75	40	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	98,99
9	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	95,04	25	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	94,90	41	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	96,04
9	30	CORUMBA I	147,70	375,00	375,00	98,98	25	30	CORUMBA I	147,31	375,00	375,00	99,40	41	30	CORUMBA I	374,89	375,00	375,00	100,20
9	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	97,88	25	203	CORUMBA III	0,00	0,00	96,45	97,71	41	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	99,03
10	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	95,06	26	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	94,89	42	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	96,05
10	30	CORUMBA I	147,67	375,00	375,00	99,01	26	30	CORUMBA I	147,28	375,00	375,00	99,39	42	30	CORUMBA I	374,89	375,00	375,00	100,21
10	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	97,91	26	203	CORUMBA III	0,00	0,00	96,45	97,70	42	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	99,04
11	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	95,00	27	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	94,86	43	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	96,10
11	30	CORUMBA I	147,65	375,00	375,00	98,94	27	30	CORUMBA I	147,26	375,00	375,00	99,35	43	30	CORUMBA I	374,89	375,00	375,00	100,26
11	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	97,84	27	203	CORUMBA III	0,00	0,00	96,45	97,66	43	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	99,09
12	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	95,07	28	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	95,34	44	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	96,11
12	30	CORUMBA I	147,62	375,00	375,00	99,02	28	30	CORUMBA I	147,21	375,00	375,00	99,97	44	30	CORUMBA I	374,89	375,00	375,00	100,27
12	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	97,92	28	203	CORUMBA III	0,00	0,00	96,45	98,22	44	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	99,10
13	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	94,60	29	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	95,54	45	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	95,82
13	30	CORUMBA I	147,60	375,00	375,00	99,03	29	30	CORUMBA I	147,16	375,00	375,00	99,60	45	30	CORUMBA I	374,89	375,00	375,00	99,90
13	203	CORUMBA III	0,00	0,00	96,45	97,36	29	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	98,46	45	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	98,77
14	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	94,60	30	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	95,55	46	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	95,73
14	30	CORUMBA I	147,57	375,00	375,00	99,03	30	30	CORUMBA I	147,11	375,00	375,00	99,61	46	30	CORUMBA I	374,89	375,00	375,00	99,78
14	203	CORUMBA III	0,00	0,00	96,45	97,36	30	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	98,47	46	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	98,66
15	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	94,39	31	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	95,51	47	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	95,48
15	30	CORUMBA I	147,55	375,00	375,00	98,75	31	30	CORUMBA I	147,05	375,00	375,00	99,55	47	30	CORUMBA I	374,89	375,00	375,00	99,45
15	203	CORUMBA III	0,00	0,00	96,45	97,12	31	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	98,42	47	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	98,36
16	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	94,39	32	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	95,81	48	29	CORUMBA IV	129,20	129,20	129,20	95,60
16	30	CORUMBA I	147,53	375,00	375,00	98,76	32	30	CORUMBA I	147,00	375,00	375,00	99,94	48	30	CORUMBA I	374,89	375,00	375,00	99,61
16	203	CORUMBA III	0,00	0,00	96,45	97,12	32	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	98,77	48	203	CORUMBA III	96,45	96,45	96,45	98,50

Figura 3.7 - Trecho do arquivo "pdo_oper_usih", com os valores da água para a usina de Corumbá I, III e IV, executando-se a versão do DECOMP com penalidade crescente.

3.3.3 Operação das usinas Corumbá I, III e IV

A seguir, mostram-se resultados comparativos da operação das usinas de Corumbá I, III e IV. Verifica-se um comportamento bem mais suave quando se utilizou a FCF com a versão com penalidade crescente, para a qual, conforme mostrado na Figura 3.3, não constam valores elevados da água para essas usinas.



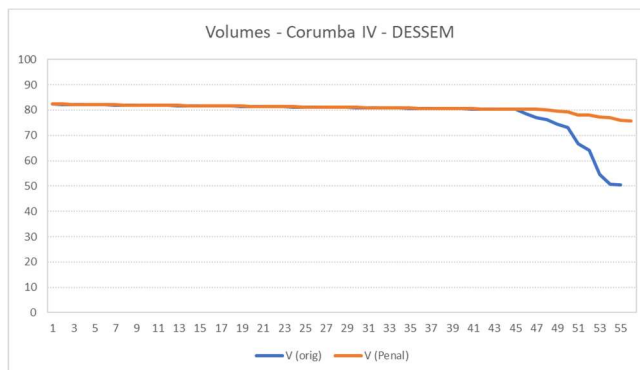


Figura 3.8 - Evolução dos armazenamentos das Usinas Corumbá nos períodos do DESSEM, para o caso original e o caso com os cortes da FCF do DECOMP com penalidade crescente.

Em seguida, apresentam-se os resultados de geração das três usinas nas duas rodadas do DESSEM, onde se observa:

- uma elevação na geração de Corumbá I, que está associada ao fato de não operar mais com 100% de armazenamento no final do estudo, devido à ausência dos cortes com coeficientes elevados na FCF do DECOMP;
- uma operação mais estável de Corumbá III, que está associada à ausência de vertimentos abruptos que ocorriam em alguns períodos no caso original.

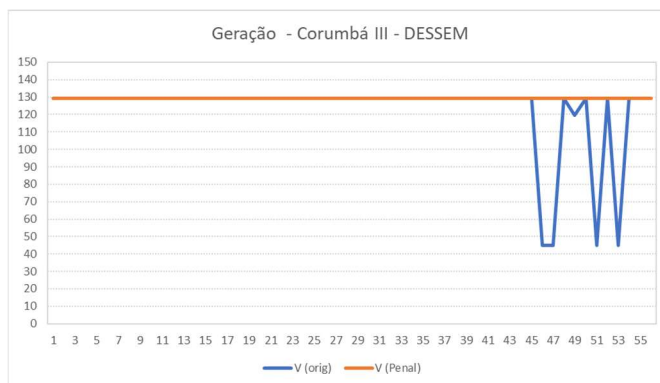
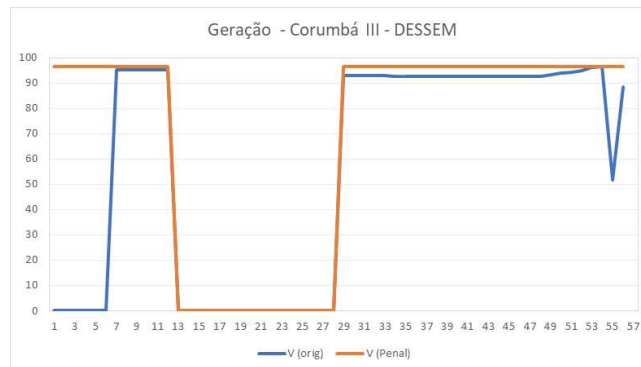
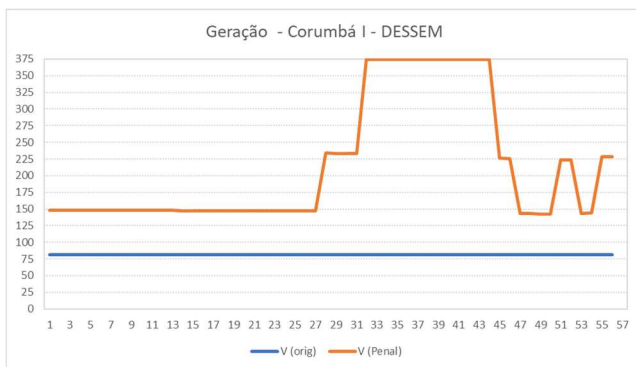


Figura 3.9 - Evolução da geração das Usinas Corumbá nos períodos do DESSEM, para o caso original e o caso com os cortes da FCF do DECOMP com penalidade crescente.

Além disso, não se observaram vertimentos na operação dessas usinas ao longo do horizonte do DESSEM na rodada com a FCF da variante “Penal” do DECOMP.

A título de verificação do impacto em outros reservatórios do sistema, mostra-se também a evolução do armazenamento de Itumbiara, Itaparica, Furnas e G.B. Munhoz⁵.

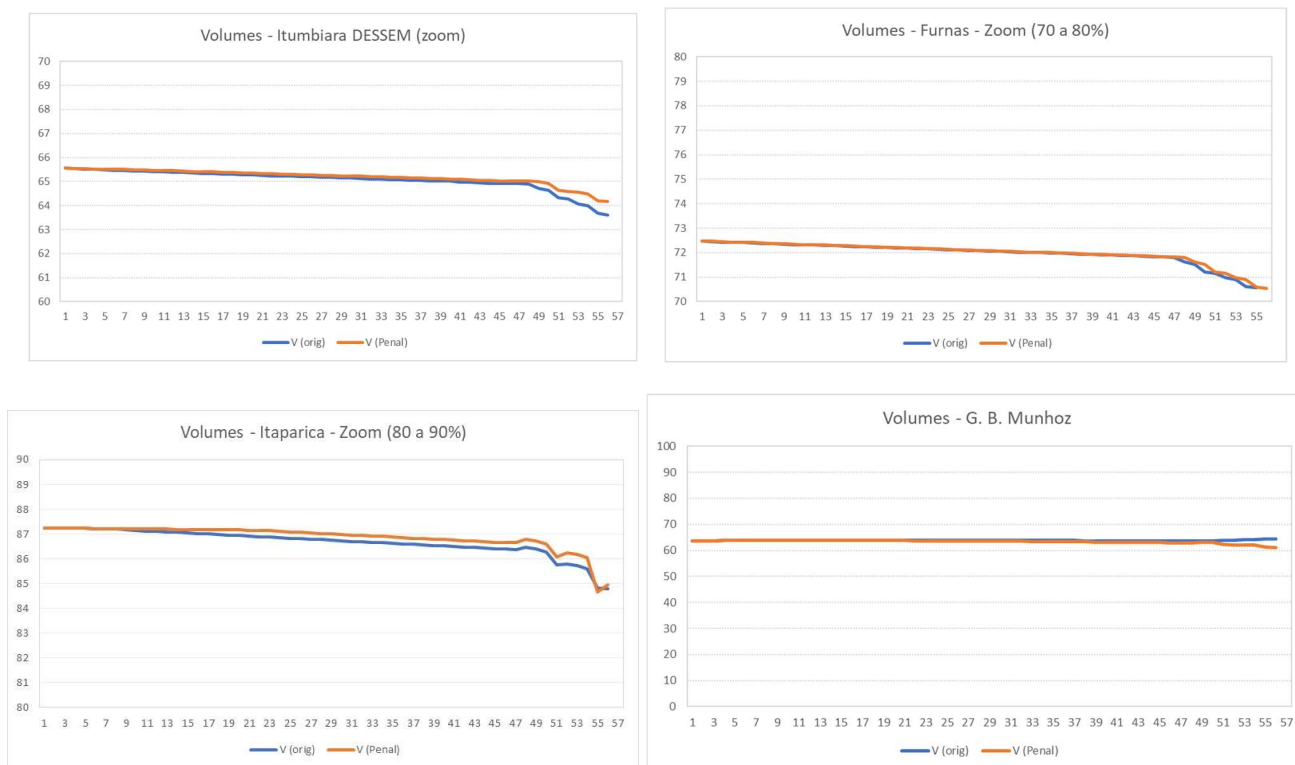


Figura 3.10 - Evolução dos armazenamentos de outras quatro usinas nos períodos do DESSEM, para o caso original e o caso com os cortes da FCF do DECOMP com penalidade crescente.

A seguir, comparam-se as gerações de outras usinas nos dois casos, onde a maior diferença (em termos de nível médio de geração) foi para a usina de Tucuruí, e o resultado mais próximo entre os dois casos foi o da usina de Itaipu.

⁵ Atenta-se para o “zoom” que foi feito nos gráficos, para realçar as diferenças, quando muito pequenas.

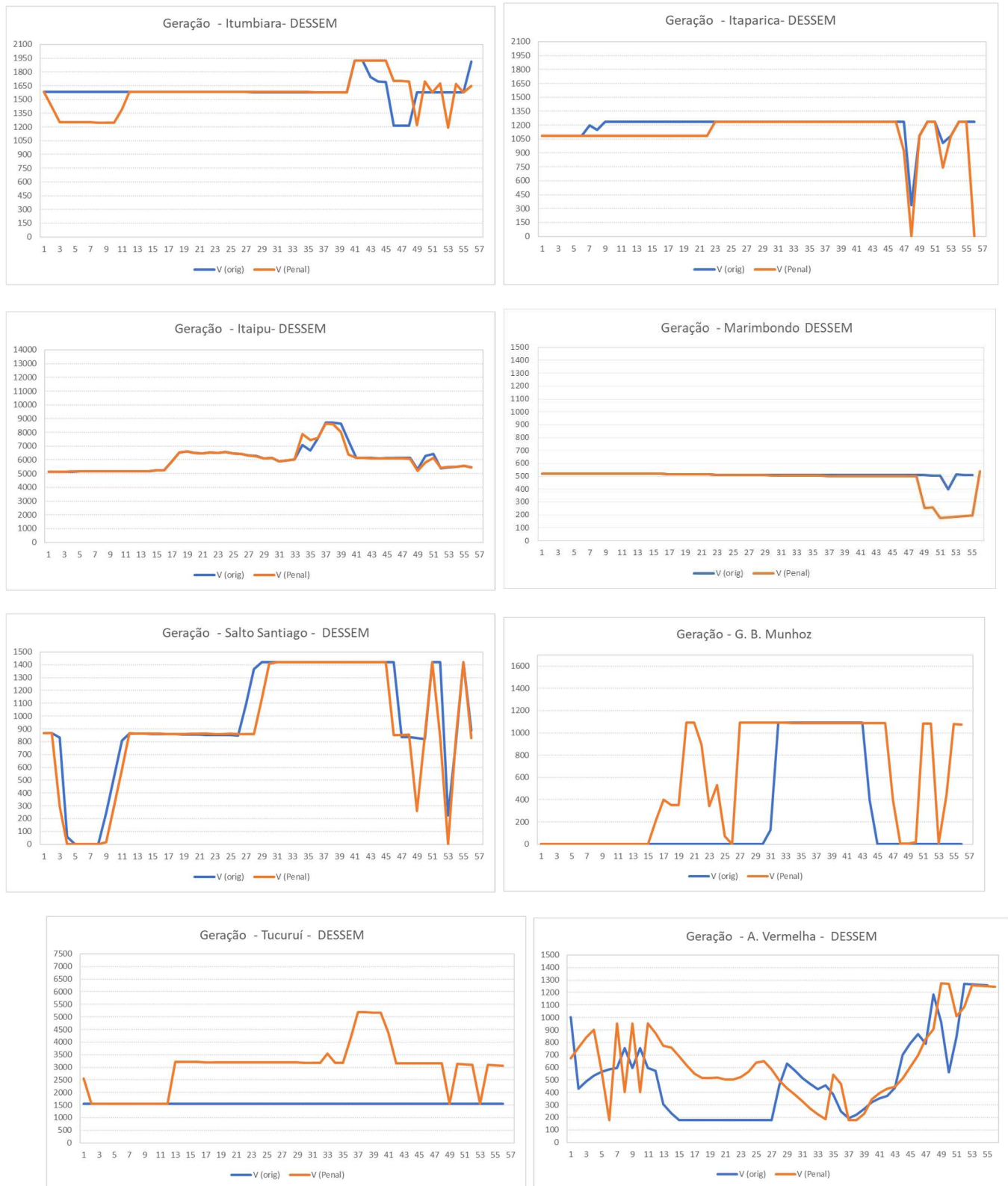


Figura 3.11 - Evolução da geração de outras usinas nos períodos do DESSEM, para o caso original e o caso com os cortes da FCF do DECOMP com penalidade crescente

4 ANÁLISE DO CASO DO DIA 02

Apesar de no caso do dia 02 não terem sido constatados problemas com elevados valores da água, também é importante a análise do impacto do uso dos cortes do DECOMP com penalidade crescente para este caso.

Através de consulta ao arquivo "PDO_OPERACAO.XXX", conforme a Figura 4.1, verificou-se que os cortes ativos no DESSEM utilizando o DECOMP "original" foram os de número 30, 31, 32 e 35 (em ordem inversa, representam as primeiras iterações do DECOMP). Utilizando o DECOMP com penalidade crescente o único corte ativo foi o de número 23. Em ambos os casos, os cortes ativos não possuem valores bastante elevados para os coeficientes para as usinas de Corumbá I, III e IV.

Cortes ativos no Original				Cortes ativos no Penal			
ITERACAO	MULTIPLICADOR	ITERACAO	MULTIPLICADOR	ITERACAO	MULTIPLICADOR	ITERACAO	MULTIPLICADOR
1	0.00000000	19	0.00000000	1	0.00000000	19	0.00000000
2	0.00000000	20	0.00000000	2	0.00000000	20	0.00000000
3	0.00000000	21	0.00000000	3	0.00000000	21	0.00000000
4	0.00000000	22	0.00000000	4	0.00000000	22	0.00000000
5	0.00000000	23	0.00000000	5	0.00000000	23	<u>0.99783042</u>
6	0.00000000	24	0.00000000	6	0.00000000	24	0.00000000
7	0.00000000	25	0.00000000	7	0.00000000	25	0.00000000
8	0.00000000	26	0.00000000	8	0.00000000	26	0.00000000
9	0.00000000	27	0.00000000	9	0.00000000	27	0.00000000
10	0.00000000	28	0.00000000	10	0.00000000	28	0.00000000
11	0.00000000	29	0.00000000	11	0.00000000	29	0.00000000
12	0.00000000	30	<u>0.37291772</u>	12	0.00000000	30	0.00000000
13	0.00000000	31	<u>0.00800195</u>	13	0.00000000	31	0.00000000
14	0.00000000	32	<u>0.61689944</u>	14	0.00000000	32	0.00000000
15	0.00000000	33	0.00000000	15	0.00000000		
16	0.00000000	34	0.00000000	16	0.00000000		
17	0.00000000	35	<u>0.00001131</u>	17	0.00000000		
18	0.00000000			18	0.00000000		

Figura 4.1 – Cortes ativos do DECOMP no caso original e penalidade crescente na execução do para o dia 02.

Apresenta-se na Figura 4.2 os valores de custo marginal de operação, onde se verifica que, ao utilizar os cortes do DECOMP, o CMO médio em todo o período foi de R\$105,21/MWh, enquanto, ao utilizar os cortes do DECOMP com penalidade crescente, obteve-se um CMO médio de R\$101,33/MWh, mais próximo do CMO fornecido pelo DECOMP, que foi de R\$98,84/MWh para o caso original e de R\$98,78/MWh para o caso penal.

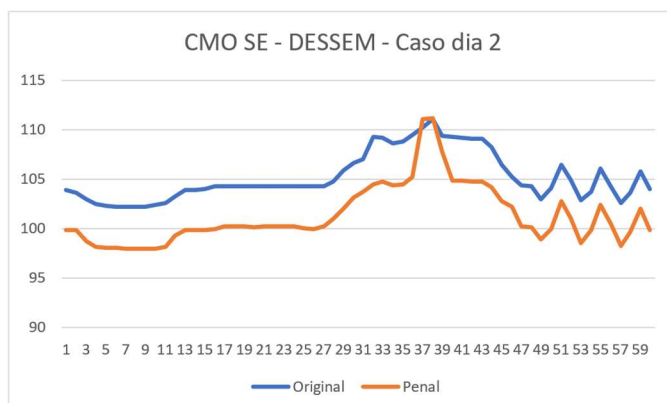


Figura 4.2 - Comparação entre os CMOs obtidos com o DESSEM para o submercado SE no dia 02, para o caso original e o caso com os cortes da FCF do DECOMP com penalidade crescente.

Observa-se também a redução dos valores da água para as usinas de Corumbá I, Corumbá III e Corumbá IV, na comparação entre a metodologia original e a penalidade crescente. Ambas as curvas de valores da água estão compatíveis com o custo marginal de operação, conforme ilustrado na figura abaixo, que corresponde a um trecho do arquivo "pdo_oper_usih".

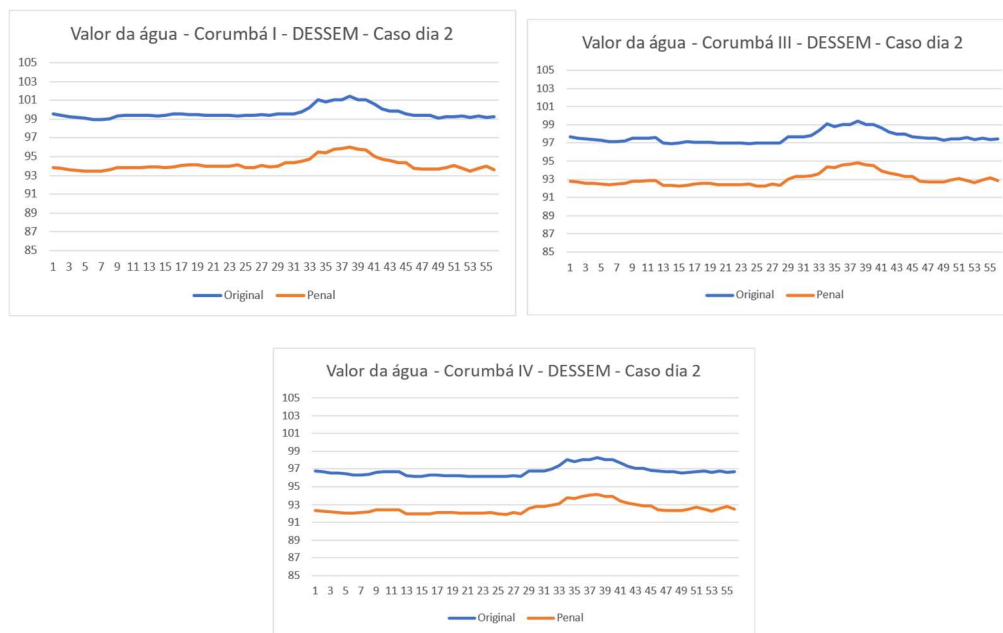
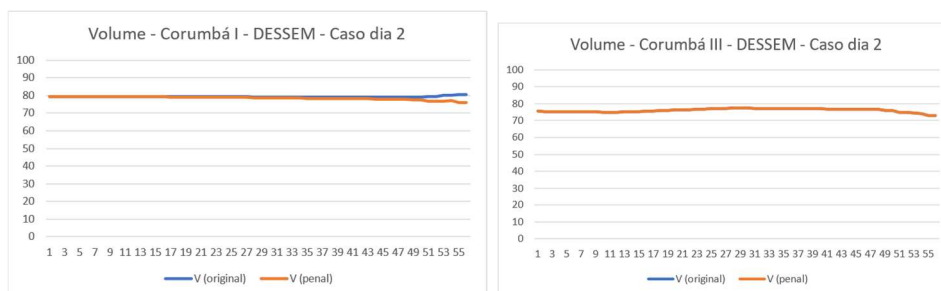


Figura 4.3 - Evolução dos valores da água das Usinas Corumbá no DESSEM para o dia 02, para o caso original e o caso com os cortes da FCF do DECOMP com penalidade crescente.

A seguir, mostram-se resultados comparativos da operação das usinas de Corumbá I, III e IV. Verifica-se um comportamento similar em ambas as abordagens, conforme mostrado na Figura 4.4. Isto se deve à não ocorrência de nenhum corte ativo com coeficientes de grande dimensão para as respectivas usinas.



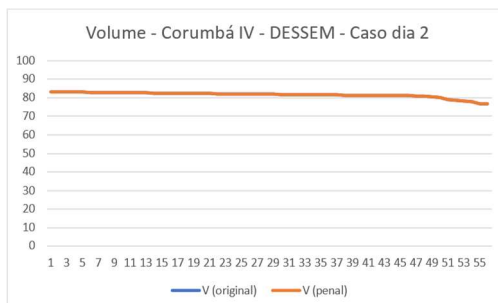


Figura 4.4 - Evolução dos armazenamentos das Usinas Corumbá no DESSEM para o dia 02, para o caso original e o caso com os cortes da FCF do DECOMP com penalidade crescente.

Em seguida, apresentam-se os resultados de geração das três usinas nas duas rodadas do DESSEM, onde se observa uma elevação na geração de Corumbá I, e uma operação semelhante em ambas as abordagens para Corumbá III e IV. De qualquer forma, observa-se que em ambas as operações não se observam comportamentos anômalos, e as diferenças podem ser fruto de soluções de mesmo custo total para o sistema, dentro do intervalo de otimalidade.

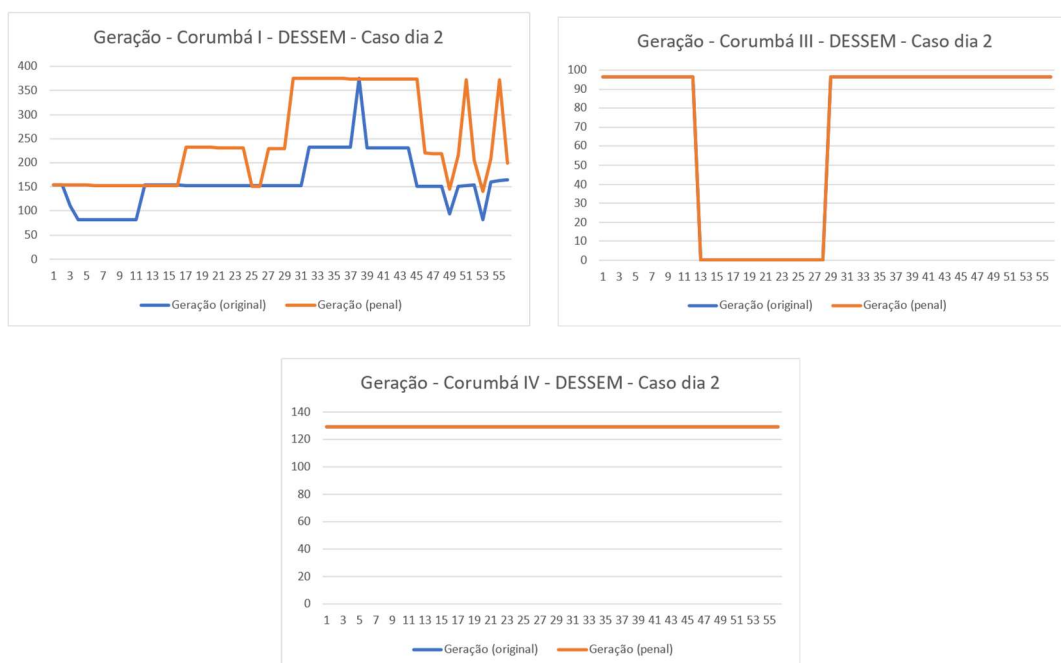


Figura 4.5 - Evolução da geração das Usinas Corumbá nos períodos do DESSEM no dia 02, para o caso original e o caso com os cortes da FCF do DECOMP com penalidade crescente.

5 ANÁLISE DO DIA 04

No caso do dia 04 foram constatados problemas com elevados valores da água. Portanto, apresenta-se a seguir a análise do impacto do uso dos cortes do DECOMP com penalidade crescente.

Através de consulta ao arquivo "PDO_OPERACAO.XXX", conforme a Figura 5.1, verificou-se que o único corte ativo no DESSEM utilizando o DECOMP "original" é o de número 35 (primeira iteração do DECOMP). Utilizando o DECOMP com penalidade crescente o único corte ativo é o de número 23. Como visto anteriormente, para o caso do dia 03, o corte de número 35 obtido com o DECOMP "original" possui coeficientes com valores elevados, já o corte de número 23 obtido com o DECOMP "penal" possui coeficientes dentro da normalidade para as usinas de Corumbá I, III e IV.

Cortes ativos no Original				Cortes ativos no Penal			
ITERACAO	MULTIPLICADOR	ITERACAO	MULTIPLICADOR	ITERACAO	MULTIPLICADOR	ITERACAO	MULTIPLICADOR
1	0.00000000	19	0.00000000	1	0.00000000	19	0.00000000
2	0.00000000	20	0.00000000	2	0.00000000	20	0.00000000
3	0.00000000	21	0.00000000	3	0.00000000	21	0.00000000
4	0.00000000	22	0.00000000	4	0.00000000	22	0.00000000
5	0.00000000	23	0.00000000	5	0.00000000	23	<u>0.99783042</u>
6	0.00000000	24	0.00000000	6	0.00000000	24	0.00000000
7	0.00000000	25	0.00000000	7	0.00000000	25	0.00000000
8	0.00000000	26	0.00000000	8	0.00000000	26	0.00000000
9	0.00000000	27	0.00000000	9	0.00000000	27	0.00000000
10	0.00000000	28	0.00000000	10	0.00000000	28	0.00000000
11	0.00000000	29	0.00000000	11	0.00000000	29	0.00000000
12	0.00000000	30	0.00000000	12	0.00000000	30	0.00000000
13	0.00000000	31	0.00000000	13	0.00000000	31	0.00000000
14	0.00000000	32	0.00000000	14	0.00000000	32	0.00000000
15	0.00000000	33	0.00000000	15	0.00000000		
16	0.00000000	34	0.00000000	16	0.00000000		
17	0.00000000	35	<u>0.99783042</u>	17	0.00000000		
18	0.00000000			18	0.00000000		

Figura 5.1 – Cortes ativos do DECOMP no caso original e penalidade crescente na execução do para o dia 04.

Apresenta-se na Figura 5.2 os valores de custo marginal de operação, onde se verifica que, ao utilizar os cortes do DECOMP, o CMO médio em todo o período foi de R\$120,02/MWh, enquanto, ao utilizar os cortes do DECOMP com penalidade crescente, obteve-se um CMO médio de R\$100,82/MWh, mais próximo do CMO fornecido pelo DECOMP de R\$98,84/MWh para o caso original e de R\$98,78/MWh para o caso penal.

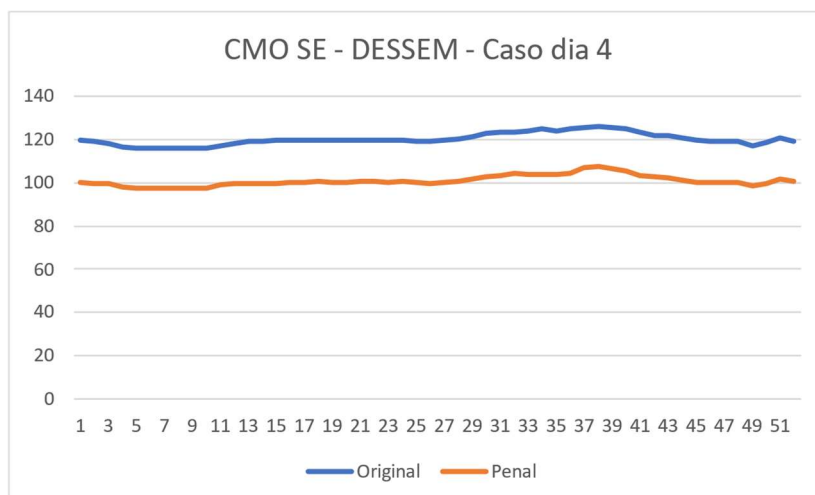


Figura 5.2 - Comparação entre os CMOs obtidos com o DESSEM para o submercado SE no dia 04, para o caso original e o caso com os cortes da FCF do DECOMP com penalidade crescente.

Com esta versão com penalidade crescente, observaram-se valores da água para as usinas Corumbá I, Corumbá III e Corumbá IV compatíveis com o custo marginal de operação, diferente da versão original, que possui elevados valores da água, conforme ilustrado na figura abaixo, que corresponde a um trecho do arquivo "pdo_oper_usih". Note que, pela diferença de magnitude entre os valores, as unidades utilizadas foram diferentes para ambas as curvas, como mostrado nas escalas dos eixos verticais.

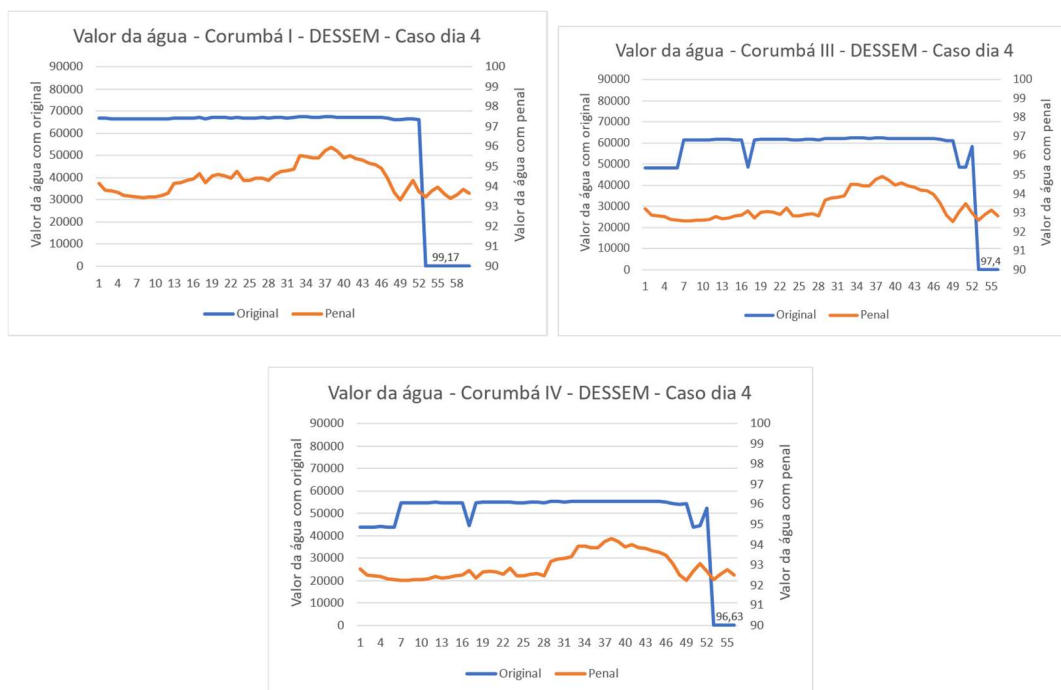
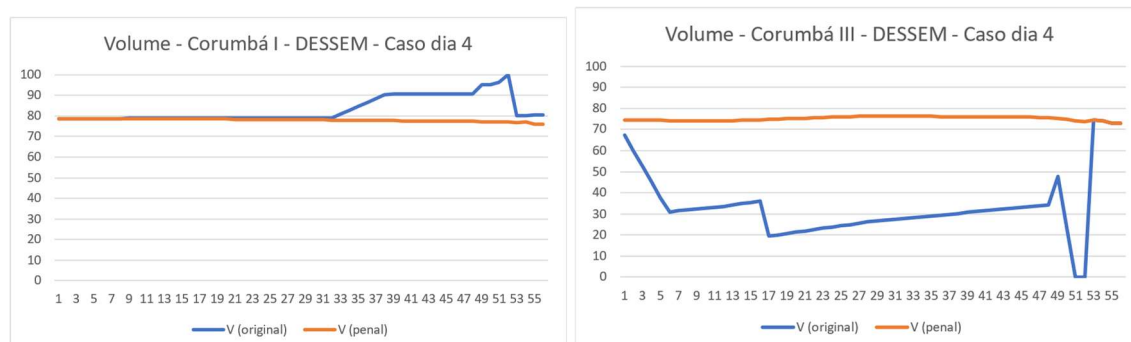


Figura 5.3 - Evolução dos valores da água das Usinas Corumbá no DESSEM no dia 04, para o caso original e o caso com os cortes da FCF do DECOMP com penalidade crescente.

A seguir, mostram-se resultados comparativos da operação das usinas de Corumbá I, III e IV. Verifica-se um comportamento bem mais suave quando se utilizou a FCF com a versão com penalidade crescente, para a qual, conforme mostrado na Figura 5.4, não constam valores elevados da água para essas usinas.



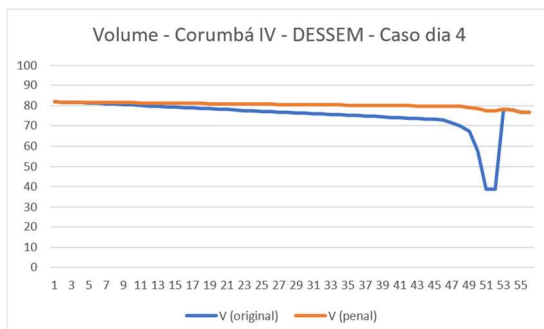


Figura 5.4 - Evolução dos armazenamentos das Usinas Corumbá no DESSEM no dia 04, para o caso original e o caso com os cortes da FCF do DECOMP com penalidade crescente.

Em seguida, apresentam-se os resultados de geração das três usinas nas duas rodadas do DESSEM, onde se observa:

- uma elevação na geração de Corumbá I, que está associada ao fato de não operar mais com 100% de armazenamento no final do estudo, devido à ausência dos cortes com coeficientes elevados na FCF do DECOMP;
- uma operação mais estável de Corumbá III e IV, que está associada à ausência de vertimentos abruptos que ocorriam em alguns períodos no caso original.

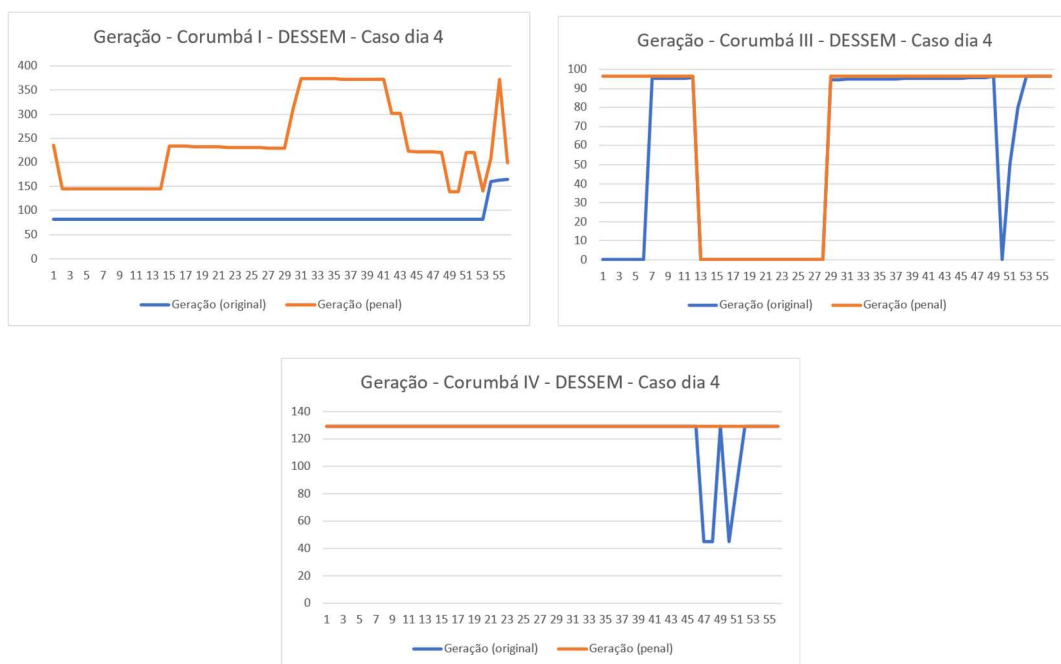


Figura 5.5 - Evolução da geração das Usinas Corumbá nos períodos do DESSEM no dia 04, para o caso original e o caso com os cortes da FCF do DECOMP com penalidade crescente.

6 EXTENSÃO DA ANÁLISE PARA OUTROS CASOS

Alguns casos recentes foram encaminhados pelo CEPEL, com alguns questionamentos referentes a diferenças de CMO obtidas entre as execuções com os modelos DESSEM e DECOMP. Para estes casos, o CEPEL irá executar novamente o deck respectivo do DECOMP com a versão com penalidade crescente, e reprocessar o caso do DESSEM com a nova função de custo futuro. Os resultados comparativos serão mostrados a seguir.

6.1 Email do dia 30/05/2022, enviado pela CCEE: “Explicação do comportamento do Dessem do dia 28/05/2022”

Neste caso, questionou-se a obtenção de valores de CMO inferiores no DESSEM (em torno de R\$3,00/MWh) em relação ao DECOMP (em torno de R\$40,00), para o caso CCEE. Uma análise inicial com utilização da versão com penalidade crescente, para a parametrização implementada inicialmente é mostrada na

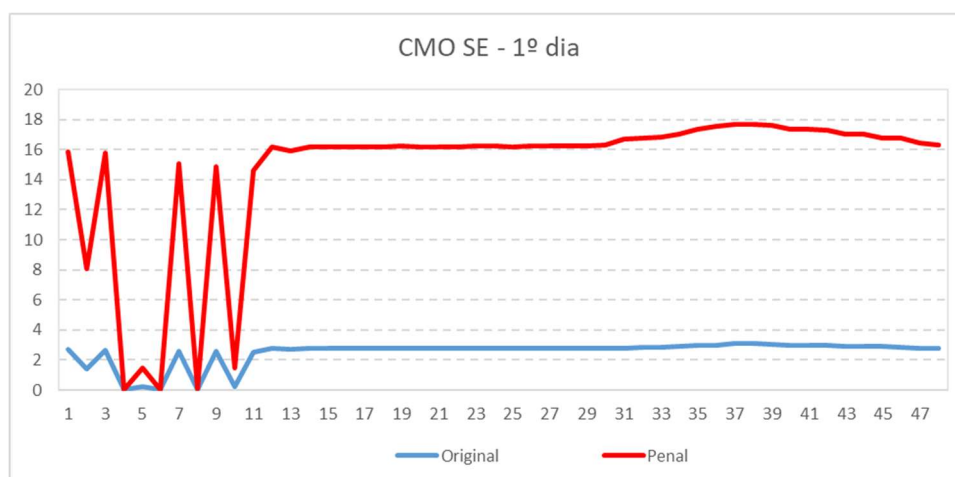


Figura 6.1 – CMO do submercado SE para o caso DESSEM-CCEE de 28/05/2022, com os cortes originais do DECOMP (azul) e com os cortes com penalidade crescente (vermelho).

Uma análise mais detalhada deste caso é apresentada em [1].

6.2 Email do dia 19/07/2022, enviado pelo ONS: “Sombra DESSEM de junho de 2022”

Neste caso, questionou-se a obtenção de valores de CMO nulos para diversos dias do DESSEM referentes à semana operativa da rv0 do DECOMP de Junho, para os casos de PMO sombra. Ao executar um desses casos (dia 28/05) utilizando os cortes do DECOMP oficiais e com penalidade crescente, obtiveram-se os valores mostrados na Figura 6.2. . Embora a versão com penalização incremental foi capaz de elevar o CMO em mais de 10 vezes, continuaram sendo obtidos valores muito próximos de zero.

Os resultados mais detalhados deste caso estão descritos em [2]

IPER	Pat	SIST	Cmarg	IPER	Pat	SIST	Cmarg
1	LEVE	SE	0.04	1	LEVE	SE	0.45
1	LEVE	S	0.04	1	LEVE	S	0.45
1	LEVE	NE	0.04	1	LEVE	NE	0.45
1	LEVE	N	0.04	1	LEVE	N	0.45
1	LEVE	FC	0.00	1	LEVE	FC	0.00
2	LEVE	SE	0.01	2	LEVE	SE	0.26
2	LEVE	S	0.01	2	LEVE	S	0.26
2	LEVE	NE	0.01	2	LEVE	NE	0.26
2	LEVE	N	0.01	2	LEVE	N	0.26
2	LEVE	FC	0.00	2	LEVE	FC	0.00
3	LEVE	SE	0.01	3	LEVE	SE	0.45
3	LEVE	S	0.01	3	LEVE	S	0.45
3	LEVE	NE	0.01	3	LEVE	NE	0.45
3	LEVE	N	0.01	3	LEVE	N	0.45
3	LEVE	FC	0.00	3	LEVE	FC	0.00
4	LEVE	SE	0.00	4	LEVE	SE	0.00
4	LEVE	S	0.00	4	LEVE	S	0.00
4	LEVE	NE	0.00	4	LEVE	NE	0.00
4	LEVE	N	0.00	4	LEVE	N	0.00
4	LEVE	FC	0.00	4	LEVE	FC	0.00
5	LEVE	SE	0.00	5	LEVE	SE	0.09
5	LEVE	S	0.00	5	LEVE	S	0.08
5	LEVE	NE	0.00	5	LEVE	NE	0.09
5	LEVE	N	0.00	5	LEVE	N	0.09
5	LEVE	FC	0.00	5	LEVE	FC	0.00
6	LEVE	SE	0.00	6	LEVE	SE	0.00

Figura 6.2 - Comparação entre os CMOs obtidos utilizando os cortes da versão oficial do DECOMP (esquerda) e os cortes com penalização incremental (direita).

6.3 Email do dia 01/08/2022, enviado pelo Santander: "Análise do caso 31/07"

Neste caso questionaram-se as diferenças entre os CMOs obtidos pelo DESSEM nas rodadas CCEE e ONS (em torno de R\$103 na primeira e R\$98 na segunda), sendo que em ambos os casos, na rodada de DECOMP, o CMO situou-se próximo a R\$98. Ao executar esses casos nas versões original e com penalização crescente do DECOMP, de fato verificou-se que a versão com penalização crescente resultou em valores de CMOs mais compatíveis com o DECOMP, e com a rodada do caso ONS do DESSEM.

Caso DECOMP Original				Caso DECOMP com penalidade crescente			
IPER	Pat	SIST	Cmarg	IPER	Pat	SIST	Cmarg
1	LEVE	SE	103.19	1	LEVE	SE	98.89
1	LEVE	S	103.19	1	LEVE	S	98.89
1	LEVE	NE	103.19	1	LEVE	NE	98.89
1	LEVE	N	103.19	1	LEVE	N	98.89
1	LEVE	FC	103.19	1	LEVE	FC	98.89
2	LEVE	SE	102.76	2	LEVE	SE	98.18
2	LEVE	S	102.76	2	LEVE	S	98.18
2	LEVE	NE	102.76	2	LEVE	NE	98.18
2	LEVE	N	102.76	2	LEVE	N	98.18
2	LEVE	FC	102.76	2	LEVE	FC	98.18
3	LEVE	SE	101.50	3	LEVE	SE	98.08
3	LEVE	S	101.50	3	LEVE	S	98.08
3	LEVE	NE	101.50	3	LEVE	NE	98.08
3	LEVE	N	101.50	3	LEVE	N	98.08
3	LEVE	FC	101.50	3	LEVE	FC	98.08
4	LEVE	SE	101.26	4	LEVE	SE	97.37
4	LEVE	S	101.26	4	LEVE	S	97.37
4	LEVE	NE	101.26	4	LEVE	NE	97.37
4	LEVE	N	101.26	4	LEVE	N	97.37
4	LEVE	FC	101.26	4	LEVE	FC	97.37
5	LEVE	SE	101.01	5	LEVE	SE	97.02
5	LEVE	S	101.01	5	LEVE	S	97.02
5	LEVE	NE	101.01	5	LEVE	NE	97.02
5	LEVE	N	101.01	5	LEVE	N	97.02
5	LEVE	FC	101.01	5	LEVE	FC	97.02
6	LEVE	SE	100.91	6	LEVE	SE	96.93
6	LEVE	S	100.91	6	LEVE	S	96.93
6	LEVE	NE	100.91	6	LEVE	NE	96.92
6	LEVE	N	100.91	6	LEVE	N	96.93
6	LEVE	FC	100.91	6	LEVE	FC	96.93
7	LEVE	SE	100.89	7	LEVE	SE	96.95

Figura 6.3 CMOs obtidos para o caso CCEE, com os cortes originais do DECOMP X cortes com penalização crescente.

6.4 Considerações

Embora o uso da penalidade crescente no DECOMP não tenha sido suficiente para responder a todos os questionamentos nestes três casos, as análises realizadas casos mostram comportamentos menos abruptos e mais próximos ao do DECOMP para todos os casos. Ressalta-se ainda que outros aspectos, além do acoplamento entre o DECOMP e DESSEM, podem estar ocasionando diferenças entre os três modelos, como por exemplo a presença de restrições operativas no DESSEM, como mostrado na análise do segundo caso [2]. De qualquer forma, acredita-se que, com um aprofundamento dos estudos para um melhor acoplamento entre o DECOMP e o DESSEM, seja possível obter resultados mais aderentes entre os modelos de forma mais geral.

7 CONCLUSÕES

Esta Nota Técnica tem como objetivo analisar o comportamento operativo das usinas Corumbá I, III e IV em casos do DESSEM no início de agosto de 2022, acoplando com a função de custo futuro (FCF) do DECOMP para a revisão rv0 de agosto de 2022. As análises realizadas até o momento, embora ainda não sejam conclusivas, apontaram para a importância de refinar a função de custo futuro que o modelo DECOMP calcula para o modelo DESSEM, especialmente para as regiões de volume ao final da primeira semana que podem ser potencialmente visitadas pelo DESSEM. Ressalta-se que, atualmente, a FCF do DECOMP é o principal resultado do modelo para fins dos processos de Programa Mensal da Operação (PMO) e Formação do Preço de Liquidação das Diferenças (PLD), visto que tanto o despacho do sistema como o preço horário são dados pelo modelo DESSEM.

As investigações até o momento mostram que os principais aspectos questionados em relação aos casos analisados estão relacionados a valores da água bastante elevados na FCF obtida em iterações iniciais do DECOMP, decorrentes de violações ocorridas durante o processo de resolução do problema por Programação Dinâmica Dual (PDD). Desta forma, como alternativa de implantação mais imediata para tratar essa questão, sugere-se estudar a utilização de um possível aprimoramento, já implementado pelo CEPEL no modelo DECOMP, no tratamento de penalização de violações operativas durante a PDD, que consiste na utilização de penalidades crescentes ao longo das iterações da PDD, e que está descrito na seção 7.1. Entretanto, como a análise mais ampla para outros casos apontou que esta estratégia não é suficiente para tratar todas as questões que surgem em relação ao acoplamento entre o DECOMP e o DESSEM, propõem-se procedimentos adicionais, mais sofisticados, e que são descritos na seção 7.4, e que podem ser realizadas tendo como subsídio as análises descritas nas seções 7.2 e 7.3.

7.1 Adoção, no modelo DECOMP, da versão com penalização crescente de violação de restrições

Embora a utilização da penalidade crescente no modelo DECOMP não seja suficiente para contornar todas as questões levantadas até então referentes ao acoplamento entre os modelos DECOMP e o DESSEM, recomenda-se estudo e avaliação de se aplicar a funcionalidade oficialmente no DECOMP, pelo fato de evitar a construção de cortes com inclinações muito elevadas, que traz duas vantagens:

- evitar a utilização de valores muito altos da água nos cortes para o DESSEM, visto que estes cortes podem, eventualmente, ser acessados pelo DESSEM;
- tornar o problema mais bem condicionado tanto no DECOMP como no DESSEM, produzindo a potencial vantagem de levar a um menor tempo para resolução do problema em ambos os modelos.

O CEPEL irá elaborar um relatório técnico detalhando questões metodológicas e operacionais em relação a essa funcionalidade. Naturalmente, esta versão com penalidade crescente necessita passar por um processo de validação, onde os seguintes pontos necessitariam ser analisados:

- verificação do intervalo do gap de otimalidade em relação à versão oficial, com uma tolerância mais apertada ($10^{-7}\%$), que devem ser não disjuntos para casos sem consideração da soleira de vertedouro e desvio;
- verificação da eficácia da metodologia em eliminar soluções inviáveis, ou seja, todo caso que seja viável para o problema como um todo deve ser identificado como viável pela estratégia de PDD;
- comparação mais rigorosa dos resultados obtidos pelo DECOMP em relação à versão oficial, os quais, em princípio, não deveriam variar sensivelmente;

- comparação dos resultados obtidos no DESSEM com as funções de custo futuro das versões original e com penalidade, de forma a identificar as vantagens do uso da versão com penalidade crescente, como verificado no presente caso;
- definição da regra para aumento da penalização ao longo das iterações da PDD no modelo DECOMP, de forma a garantir o atendimento a todas as restrições, se o caso como um todo for viável

7.2 Análise mais detalhada dos pontos de acoplamento obtidos nos modelos DECOMP e DESSEM

Tendo como base as variantes desse caso, além dos casos discutidos na seção 6, pretende-se fazer uma análise mais minuciosa das distâncias entre os pontos de acoplamento obtidos pelos modelos DECOMP (versão original e com penalização crescente) e DESSEM. A distância entre esses pontos pode ser um fator das diferenças obtidas nas execuções entre os dois modelos, ou mesmo na execução do modelo DESSEM utilizando duas funções de custo futuro do DECOMP construídas para um mesmo caso, porém com estratégias distintas de tratamento das penalidades para violações de restrições. Esta análise poderá compreender, entre outros aspectos:

- impressão, pelo DECOMP, dos pontos de acoplamento ao final da primeira semana, ao longo das iterações da PDD, além do ponto de acoplamento ao término do processo de convergência;
- comparação dos pontos obtidos pelo DECOMP com os pontos em que o DESSEM acopla na FCF do DECOMP, ao longo das diversas recursões para resolução do problema no DESSEM;

Na análise do segundo item acima, pretende-se calcular uma “distância” entre os pontos de acoplamento (pode ser com base na métrica Euclidiana) e, com base em estudos comparativos entre os casos, identificar aqueles nos quais os pontos de acoplamento do DECOMP mais se distanciam dos obtidos no DESSEM, e se estas ocorrências estão relacionadas a diferenças maiores entre os CMOs obtidos nos dois modelos.

7.3 Análise da região de “atividade” de cada corte do DECOMP

Esta é uma análise mais detalhada dos cortes do DECOMP, do ponto de vista “geométrico”. Pretende-se identificar a região em que cada corte fica ativo, no domínio das variáveis de estado da FCF do DECOMP (volumes armazenados e defluências anteriores para usinas com tempo de viagem), de forma a ter uma ideia da amplitude da “dominância” de cada corte. Embora esta análise possa ser pouco intuitiva, pode trazer alguns insights no sentido de identificar regiões de armazenamento das usinas que estão mais susceptíveis a atingir cortes obtidos em iterações mais antigas do DECOMP.

7.4 Aprimoramento dos estudos de acoplamento entre os modelos DECOMP e DESSEM

A versão com penalização crescente obteve um desempenho satisfatório para resolver algumas questões que surgiram quando o DESSEM acoplava com cortes construídos em iterações iniciais do DECOMP, que possuíam inclinações elevadas para o valor da água de algumas usinas. Entretanto, esta versão, por si só, pode não ser suficiente para resolver de forma plena outras questões que surgem pelo fato de o modelo DESSEM acoplar com o DECOMP em regiões de volume que possam diferir de forma mais significativa em relação ao ponto de acoplamento do próprio DECOMP, ao final da primeira semana. Neste sentido, é importante que se desenvolvam estratégias para aprimorar a construção da função de custo futuro do DECOMP no ponto em que o DESSEM se acopla. Do ponto de vista metodológico, algumas alternativas neste sentido podem ser pensadas, em ordem crescente de complexidade de implementação e operacionalização:

-
- continuar o processo iterativo do modelo DECOMP, porém impondo ao final da primeira semana pontos de operação obtidos a partir da execução do DESSEM, de forma a obrigar o DECOMP a refinar a função de custo futuro nos pontos desejados;
 - reexecutar o modelo DECOMP a cada dia, considerando uma duração menor para a primeira semana (referente ao restante da semana) e atualizando os dados do problema (volumes iniciais, aflúncias previstas para a primeira semana). Isto faria com que o problema do DECOMP na primeira semana se aproxime mais do que está sendo resolvido pelo DESSEM, o que favoreceria, em princípio, pontos de acoplamento mais próximos em ambos os modelos;
 - incorporar, na primeira semana do modelo DECOMP, aspectos mais detalhados da operação diária da operação. Em princípio, poderia-se representar, na primeira semana, diversos períodos cronológicos no mesmo estágio (da PDD), de forma a aproximar a representação do problema na primeira semana do DECOMP com a representação do problema no DESSEM.
 - como sugestão das instituições, utilizar cenários a partir da 2ª semana operativa do DECOMP.

As questões metodológicas de cada uma dessas estratégias devem ser discutidas com mais detalhes, assim como os aspectos operacionais e os impactos nos procedimentos para execução do modelo DECOMP.

8 REFERÊNCIAS

- [1] CEPEL, Nota Técnica, Análise de caso - email de 30/05/2022: "Explicação do comportamento do Dessem do dia 28/05/2022", enviada em 15/08/2022.
- [2] CEPEL, Nota Técnica, Análise de caso - email de 19/07/2022: "Sombra DESSEM de junho de 2022, enviada em 26/07/2022 (atualização em 15/08/2022).
- [3] CEPEL, Nota Técnica, Análise de caso – email de 01/08/2022: "Análise do caso 31/07", enviada em 15/08/2022.