

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL

Relatório Técnico



Nº/Ano: 4966/2015	Nº de Páginas: 22	Nº de Anexos:
Título: MODELAGEM DAS RESTRIÇÕES INTERNAS DE VARIAÇÃO (RIVAR) NO MODELO DESSEM-PAT.		
Departamento ou Divisão: Departamento de Otimização Energética e Meio Ambiente - DEA		
Área de Responsabilidade: B200	Conta de Apropriação: 1399	
Cliente: Centrais Elétricas Brasileiras S/A – Eletrobras Av. Presidente Vargas, 409 – 12º andar 20071-003 – Rio de Janeiro / RJ Atenção: Egidio Schoenberger	Equipe de Acompanhamento: Luis Ernesto Areias – Eletrobras Renata Leite Falcão - Eletrobras	
Resumo: Este Relatório descreve a modelagem das chamadas “Restrições Internas de variação” (RIVAR) para as variáveis do modelo DESSEM-PAT, no módulo de otimização. Estas restrições são motivadas pelo desejo de que as principais variáveis de operação do problema (geração hidroelétrica, geração térmica, vertimento) não sofram grandes oscilações nos seus valores horários ao longo do horizonte de estudo. Apresenta-se a formulação matemática dessas restrições e mostram-se os resultados de sua implementação em casos reais, onde se verifica a eficácia da metodologia.		
Autores: Tiago Norbiato dos Santos – PUC / RJ André Luiz Diniz Souto Lima – Cepel	Palavras-Chave: Programação diária da operação, programação linear, restrições de rampa.	Classificação: Controlado
Gerente de Projeto André Luiz Diniz Souto Lima Tel.: 2598-6046 Fax: 2598-6482 E-mail: diniz@cepel.br	Chefe do Departamento Maria Elvira Piñeiro Maceira Tel.: 2598-6454 Fax: 2598-6482 E-mail: elvira@cepel.br	
Aprovação Roberto Pereira Caldas Diretor de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação – DP 03/05/15		

CEPEL

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

Projeto DESSEM

Relatório Técnico nº 01/2015

**MODELAGEM DAS RESTRIÇÕES INTERNAS DE
VARIAÇÃO (RIVAR) NO MODELO DESSEM-PAT**

Janeiro / 2015

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	6
2. CONCEITUAÇÃO DA VARIAÇÃO NOS VALORES DAS VARIÁVEIS AO LONGO DO ESTUDO	8
3. DADOS PARA AS RESTRIÇÕES DE VARIAÇÃO INTERNA	10
3.1. Definição das restrições internas de variação.....	10
3.2. Validação e Processamento dos Dados.....	10
4. FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DAS RESTRIÇÕES INTERNAS DE VARIAÇÃO	12
4.1. Restrições inseridas no PL.....	13
4.2. Penalidades para as variáveis de folga.....	14
5. RELATÓRIOS DE SAÍDA.....	16
6. ESTUDO DE CASO	17
6.1. Dados gerais do estudo	17
6.2. Impacto no tempo computacional e o Custo.....	17
6.3. Sensibilidade do efeito das restrições com o valor da penalidade.....	18
6.4. Eficácia das restrições na diminuição das oscilações nos valores das variáveis .	19
7. CONCLUSÕES.....	20
8. REFERÊNCIAS.....	21

Siglas e Nomenclatura:

FCF	Função de Custo Futuro
Horizonte	Soma das durações de todos os períodos correspondes ao horizonte de tempo ao longo do qual se deseja realizar o planejamento para o sistema
ONS	Operador Nacional do Sistema
PDO	Programação Diária da Operação
Período	Cada intervalo de tempo na discretização do problema
PMO	Programação Mensal da Operação
RIVAR	Restrições internas de variação

Notação:

α	Custo Futuro avaliado por uma Função de Custo Futuro, construída pelo modelo de curto prazo – DECOMP;
π_i	Valor da água armazenada na usina i ao final do horizonte de estudo;
$c_{ri\text{vari}}$	Penalidade para as variáveis de folga das restrições de RIVAR;
GH_i^t	Geração da usina hidroelétrica i , no instante t ;
$h_{mont\ i}^t$	Altura de montante da usina i no instante t ;
I_i^t	Vazão incremental natural à usina hidroelétrica i , no instante t ;
M_i	Conjunto de usinas à montante da usina i ;
NH	Número de usinas hidroelétricas;
$NRIVAR$	Número de restrições de RIVAR;
Q_i^t	Turbinamento da usina hidroelétrica i , no instante t ;
$Q_{afl\ i}^t$	Vazão afluente da usina hidroelétrica i no instante t ;
$Q_{b\ i}^t$	Vazão bombeada pela usina de bombeamento i no instante t ;
$Q_{def\ i}^t$	Defluência da usina hidroelétrica i no instante t ;
QDv_i^t	Vazão de canal de desvio da usina i no instante t ;
RHS_i	Termo independente do corte da Função de Custo Futuro;
S_i^t	Vertimento da usina hidroelétrica i , no instante t ;
V_i^t	Volume armazenado da usina hidroelétrica i , ao final do instante t ;

1. INTRODUÇÃO

O programa DESSEM-PAT [1] é um modelo desenvolvido pelo CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica para ser utilizado como ferramenta de apoio para a otimização da Programação Diária da Operação (PDO) de sistemas hidrotérmicos, com um horizonte de até duas semanas e discretização temporal em patamares cronológicos de duração mínima de 1/2 hora. Além de representar o atendimento à demanda e à reserva de potência do sistema, o modelo DESSEM-PAT representa de forma detalhada a rede elétrica (carga por barra e restrições de limites de fluxo nos circuitos por um modelo linear DC, etc.), a operação das usinas hidroelétricas (balanço hídrico, função de produção não linear, tempo de viagem da água, restrições operativas de limite e variação, etc...), e os recursos de geração térmica (limites de capacidade e custos incrementais lineares de geração).

Este programa se insere no escopo do projeto DESSEM, desenvolvido pelo CEPEL desde 1998, no qual se incluem também dois outros programas: (i) o modelo DESSEM-UC, com horizonte de 1 dia e discretização semi-horária, que considera de forma detalhada as restrições de *unit commitment* das unidades geradoras ; (ii) o modelo SIMHIDR (Simulação Hidráulica), que simula a operação dos reservatórios a partir de um despacho já programado para a geração. No contexto de utilização dos modelos DESSEM-PAT e DESSEM-UC, o modelo SIMHIDR se torna um módulo preliminar, que tem por objetivo obter as condições do sistema no início do horizonte de otimização (por exemplo, volumes armazenados nos reservatórios e defluências passadas para usinas com tempo de viagem).

Este Relatório descreve a modelagem das chamadas “Restrições Internas de VARiação” (RIVAR) para as variáveis do modelo, no módulo de otimização. Estas restrições são motivadas pelo desejo de que as principais variáveis de operação do problema (geração hidroelétrica, geração térmica, vertimento) não sofram grandes oscilações nos seus valores horários ao longo do horizonte de estudo. Ressalta-se que isto não é uma “restrição” em si para o problema, mas apenas um “desejo”. Ou seja, procura-se manter os valores das variáveis o mais “flat” possível, porém variações nos seus valores serão sempre aceitas desde que leve a uma operação mais barata, já que o objetivo principal continua sendo o de minimização dos custos de operação.

Como uma operação mais controlada leva em geral a maiores custos, o “trade-off” entre custo de operação e oscilação no valor das variáveis é controlado por meio de penalidades, que são impostas às variações das variáveis ao longo do estudo.

Ressalta-se que experiências anteriores já foram realizadas no modelo DESSEM-PAT para representar esse desejo de se ter uma operação estável para as variáveis do problema, para os casos específicos de variação na geração hidroelétrica [2] ou de vertimento nos reservatórios [3]. Esse relatório descreve uma implementação de caráter geral, que abrange praticamente todas as variáveis de decisão do problema de otimização.

O relatório está organizado da seguinte forma: no capítulo 2, faz-se uma descrição conceitual das oscilações das variáveis ao longo do estudo e no capítulo 4 representa-se a formulação matemática das restrições internas de variação, que também são comumente chamadas de “restrições de bang-bang”. No capítulo 3, descrevem-se os dados de entrada e no capítulo 5 os arquivos de saída associadas às funcionalidades descritas neste relatório. No capítulo 6, apresenta-se um estudo de caso ilustrativo de aplicação dessas funcionalidades com o sistema real brasileiro e no capítulo 7 apresentam-se as principais conclusões desse estudo.

Ressalta-se que, embora a metodologia seja a mesma para os programas DESSEM-PAT e DESSEM-UC, um enfoque maior será dado para a utilização dessa funcionalidade no módulo de otimização do modelo DESSEM-PAT.

2. CONCEITUAÇÃO DA VARIAÇÃO NOS VALORES DAS VARIÁVEIS AO LONGO DO ESTUDO

Como o modelo DESSEM-PAT está relacionado ao problema de Programação Diária da Operação (PDO), os períodos consistem em intervalos que podem variar desde meia hora até um conjunto de horas, de forma a perfazer até 5 patamares de carga diários¹. Portanto, os valores das variáveis do problema (ex: volume armazenado, geração hidroelétrica, vertimento, geração térmica, intercâmbio, bombeamento, energia de contratos de importação / exportação) correspondem a médias tomadas durante curtos intervalos de tempo.

Consideremos, por exemplo, que a variável GH_i^t represente a geração da usina hidroelétrica i , no instante de tempo t , (de forma análoga, a variável GH_i^{t-1} é a geração hidroelétrica da mesma usina no instante anterior, $t-1$). Como a variável tempo (que, em essência, é contínua) foi discretizada, então GH_i^t e GH_i^{t-1} representam a geração média nos intervalos t e $t-1$, respectivamente, e define-se por ΔGH_i^t a variação de geração ocorrida para a usina i do intervalo $t-1$ para o intervalo t . Sendo Δ_t a duração do intervalo t , a rampa de variação de geração $R_{GH_i}^t$ para essa usina entre os instantes $t-1$ e t é definida como sendo:

$$R_{GH_i}^t = \frac{GH_i^t - GH_i^{t-1}}{\Delta_t}, \quad (2.1)$$

conforme ilustra a linha tracejada grossa na Figura 2.1

¹ No modelo DESSEM-UC, representam-se 24 ou 48 intervalos de tempo para cada dia do estudo.

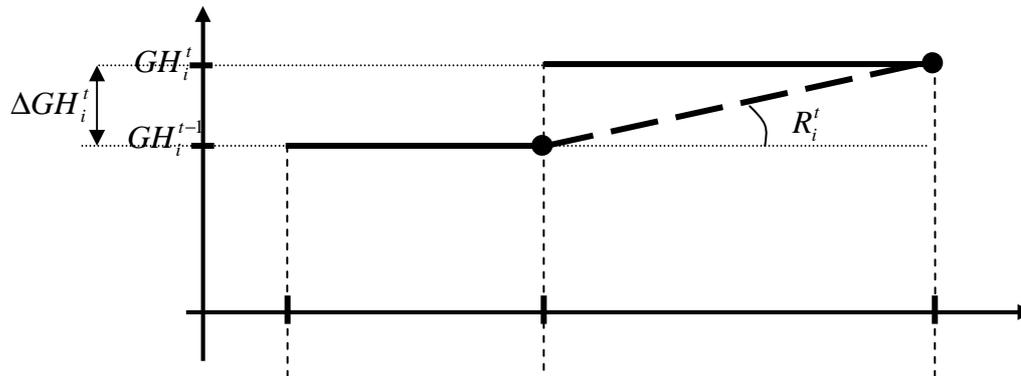


Figura 2.1 Representação esquemática da variação na geração hidroelétrica entre dois instantes de tempo consecutivos ao longo do horizonte de estudo

De forma geral, ao longo deste documento denotaremos por Δx_i^t a variação no valor de uma variável (geração termoelétrica, vertimento, etc.) entre os instantes $t-1$ e t . A rampa de variação dessa variável, $R_{x_i}^t$, segue expressão semelhante à (2.1), como mostrado abaixo:

$$R_{x_i}^t = \frac{x_i^t - x_i^{t-1}}{\Delta_t} \quad (2.2)$$

Como os intervalos de tempo no problema de PDO são muito curtos, é razoável que não se deseje uma oscilação grande nos valores das variáveis de um período para o outro, já que o tempo disponível para realizar uma “manobra” nos componentes do sistema seria pequeno. Quando há alguma condição física ou operacional que limite de fato variações nas variáveis acima de determinado valor, devem ser impostas restrições operativas de variação no problema, que são definidas no arquivo OPERUH (vide [1], seção III.9).

Entretanto, muitas vezes tais variações, apesar de serem possíveis do ponto de vista operativo, são indesejáveis na prática, pois podem provocar uma operação não usual ou desgastes nos equipamentos, cujos impactos são difíceis de serem quantificados ou contabilizados financeiramente.. Nesse caso, propõem-se a inclusão das chamadas “restrições internas de variação”, identificadas pelo mnemônico RIVAR e descritas nos capítulos seguintes.

3. DADOS PARA AS RESTRIÇÕES DE VARIAÇÃO INTERNA

Nesta seção, descrevem-se os dados de entrada necessários para utilizar as restrições internas de variação para as variáveis do problema de PDO. Uma descrição mais detalhada do formato desses dados é feita no Manual do Usuário do Modelo [1].

3.1. Definição das restrições internas de variação

A indicação para inclusão destas restrições é feita nos registros RIVAR do arquivo ENT-DADOS.XXX. Podem-se impor restrições para todas as entidades (usinas hidroelétricas, usinas termoeletricas, etc.) associadas a cada variável ou a uma entidade específica. Uma vez inserida a restrição, esta é aplicada para todo o horizonte de otimização, com exceção do primeiro período, por não se dispor de valores anteriores para referência da restrição.

Tabela 3.1 - Dados de entrada para as restrições internas de variação.

Dado	Notação	Localização dos dados	
		Interface ENCAD	Arquivos texto
Identificação do tipo de variável cuja variação está sendo controlada.	--	Menu: “Configurações do Caso” => “Opções avançadas” => Restrições Internas de variação (RIVAR)	Registros RIVAR
Identificação dos elementos (usinas hidroelétricas, termoeletricas, etc.) para os quais o controle deve ser aplicado.	-		
Valor da penalidade associado à variável de folga na restrição (opcional).	$C_{ri\ var}$		

Observações:

- O valor de penalidade pode ser fornecido individualmente por variável, sendo opcional. Caso não seja fornecido, adota-se o valor default de $10^{-8}/(\text{unidade da variável})$;
- Pode-se, através de um único registro, inserir uma restrição para todos os elementos associados à determinada entidade (por exemplo, todas as usinas hidroelétricas, no caso de variação de vertimento);

3.2. Validação e Processamento dos Dados

Não há nenhuma validação ou processamento especial para estes dados, apenas a verificação se o valor de penalidade (caso informado) não é negativo. É possível informar um valor de penalidade nulo. Neste caso, a restrição fica sem efeito, porém são gerados os relatórios de acompanhamento na variação dos valores das variáveis (PDO_OPER_RIVAR), que podem ser úteis para fins de comparação com o caso em que efetivamente se aplica tal penalidade.

4. FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DAS RESTRIÇÕES INTERNAS DE VARIAÇÃO

Nesta seção, apresenta-se a formulação matemática das restrições internas de variação (RIVAR), que podem ser de 3 tipos, de acordo com a variável cuja variação deseja ser controlada:

➤ **Tipo 1:** restrições de variação para **variáveis de potência**, mensuradas em MW/h:

- Geração de uma usina hidroelétrica (GH);
- Geração de uma unidade termoeletrica (GT);
- Intercâmbio entre subsistemas (Int).

➤ **Tipo 2:** restrições de variação para **variáveis de vazão**, mensuradas em (m³/s)/h:

- Vazão turbinada (Q), vazão vertida (S), vazão desviada (Qdv), vazão total defluente; ($Qdef=Q+S$), ou vazão afluenta (Qaf) de uma usina hidroelétrica;
- Vazão bombeada (Qb) de uma usina elevatória.

➤ **Tipo 3:** restrições de variação para **variáveis de volume de água**, mensuradas em (hm³/h):

- Volume armazenado no reservatório (V);
- Cota de montante (h_{mont}), cujo volume associado é obtido a partir do polinômio cota \times volume do reservatório;

Na seção 4.1 descrevem-se as restrições que devem ser impostas ao PL e na seção 4.2 discutem-se as penalidades que devem ser adotadas às variáveis de folga introduzidas nessas restrições, de forma a calibrar o seu efeito.

4.1. Restrições inseridas no PL

As restrições consideradas neste relatório são ditas “soft”, porque não representam uma condição de fato que deve ser atendida para os valores das variáveis envolvidas. Ou seja, não se quer **impor** que não haja variações no valor de uma variável de um período para outro, mas apenas se **deseja** que tais variações não ocorram. De forma abstrata, a restrição RIVAR para uma variável x é formulada pelo conjunto de restrições abaixo:

$$\begin{cases} x_i^t - x_i^{t-1} - f_{x_i}^+ + f_{x_i}^- = 0 \\ f_{x_i}^+, f_{x_i}^- \geq 0 \end{cases} \quad (4.1)$$

Onde x_i^t denota o valor da variável no instante t , e $f_{x_i}^+, f_{x_i}^-$ indicam as flutuações para mais ou para menos, respectivamente, no valor da variável de um instante para o outro.

Observa-se que as restrições do tipo (4.1) não diminuem a região viável para os valores das variáveis originais x do problema, visto que qualquer diferença entre x_i^t e x_i^{t-1} é permitida, bastando acionar as variáveis de folga $f_{x_i}^+$ e $f_{x_i}^-$, conforme x_i^t seja maior ou menor que x_i^{t-1} , respectivamente. Entretanto, como as variáveis de folga possuem certo custo na função objetivo (vide seção 4.2), seria desejável que a restrição (4.1) seja respeitada sem ativar as variáveis de folga.

Porém, como o custo unitário das variáveis de folga é várias ordens de grandeza inferior do que os custos reais de operação do sistema, pode ser economicamente vantajoso “pagar” esse custo para se ter uma variação no valor de x que leve a um custo de operação global mais baixo. Nesse caso, o modelo irá ativar as variáveis de folga, pois o objetivo principal do problema de otimização é o de minimização de custos. Por outro lado, em caso de indiferença em termos de custo, o modelo irá optar por soluções com um menor distanciamento entre os valores de x para períodos consecutivos, podendo levar a uma operação mais “flat” para o sistema. Em resumo, pode-se dizer que as restrições RIVAR representam um “desejo” de que as variáveis x_i^t e x_i^{t-1} assumam o mesmo valor, mas não uma obrigação para tal.

4.2. Penalidades para as variáveis de folga

São inseridos os seguintes custos na função objetivo do PL, para cada intervalo de tempo, do problema de PDO:

$$\sum_{i=1}^{NRIVAR} c_{ri\ vari} (f_{xi}^+ + f_{xi}^-) \quad (4.2)$$

Onde NRIVAR é o número total de restrições inseridas no problema e $c_{ri\ vari}$ é o custo unitário associado a cada variável. Supondo que o valor numérico de uma penalidade seja c , as unidades aplicadas serão:

- c R\$/MW, para variáveis de potência;
- c R\$/(m³/s), para variáveis de vazão de água;
- $c \times 1000$ R\$/(hm³), para variáveis de volume.

O fator 1000 no último tipo de variável tem o objetivo de melhor equilibrar o valor final dos custos associados a essas penalidades, devido ao fato de que 1 hm³ de variação ao longo de 1 hora corresponde a uma quantidade muito maior de água do que 1m³/s defluído durante esse tempo. Por exemplo, suponha que a evolução na geração de determinada usina se deu conforme o gráfico abaixo:

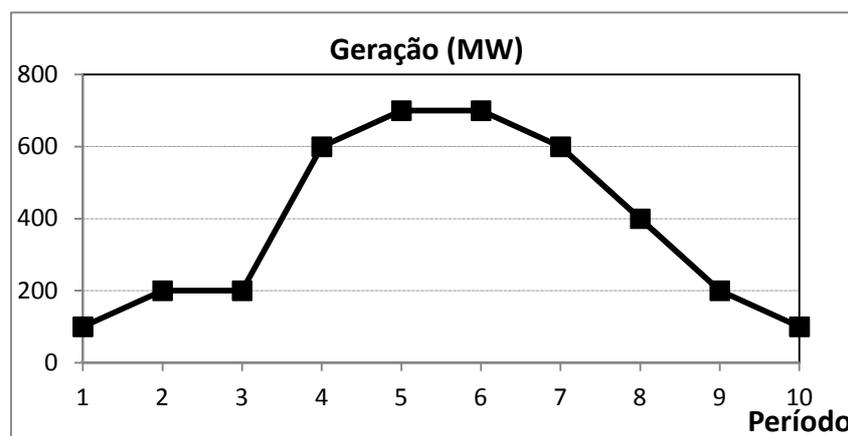


Figura 4-1 - Exemplo de variações no valor de uma variável ao longo do estudo.

A variação total ao longo dos 10 períodos foi de $(100+0+400+100+0+100+200+200+100) = 1200$ MW. Se for adotado um valor de penalidade de 10^{-4} R\$/MW, o custo total de penalidade de variação para essa variável será de R\$0,12.

Ressalta-se que o custo das variáveis de folga deve ser algumas ordens de magnitude inferior do que os custos reais de operação do sistema (geração térmica e déficit de energia), de forma a não afetar a operação ótima do ponto de vista econômico. Ou seja, elas devem atuar **apenas em caso de indiferença**, ou seja, quando a aproximação dos valores de x em intervalos de tempo consecutivos não comprometer “significativamente” o custo de operação do sistema.

O valor da penalidade é, portanto, abstrato e pouco intuitivo, devendo ser calibrado de forma a equilibrar melhor o *trade-off* entre o custo verdadeiro de operação (custo de geração térmica, déficit e custo futuro) e as variações verificadas nos valores das variáveis cujas oscilações devem ser evitadas. Essa análise é apresentada na seção 6.3.

5. RELATÓRIOS DE SAÍDA

Os relatórios referentes à funcionalidade de restrições internas de variação (RIVAR) são mostrados nos arquivos relacionados a seguir:

PDO_ECO_RIVAR: Reprodução dos dados de entrada referentes às restrições RIVAR, indicando os tipos de variáveis e a lista de entidades para as quais o controle de variação está sendo aplicado, com o valor de penalidade associado;

PDO_OPER_RIVAR: Relatório com o comportamento das variáveis cujas variações desejou-se controlar por meio das restrições RIVAR. Além da variação absoluta e percentual ocorrida em cada período, apresenta-se também o valor de variação média horária para cada variável, ao longo de todo o horizonte de estudo;

6. ESTUDO DE CASO

Nesta seção ilustra-se a modelagem das restrições internas de variação (RIVAR) no módulo de otimização do modelo DESSEM-PAT, quando executado no modo “Estágio Único”. O estudo de caso foi fornecido pelo ONS, e corresponde aos dados referente à Revisão 3 de Setembro/Octubre de 2012 do Programa Mensal da Operação (PMO) realizado pelo Operador Nacional do Sistema (ONS) utilizando o modelo DECOMP. Os dados desse modelo foram convertidos para o modelo DESSEM-PAT utilizando o conversor de dados DECODESS [4].

Esse estudo chamou a atenção do ONS devido às grandes oscilações verificadas nos valores de intercâmbio entre subsistemas de um intervalo de tempo para o outro. A fim de avaliar isoladamente o efeito da aplicação das restrições RIVAR nos resultados deste caso, os testes foram realizados sem o aprimoramento recente realizado no modelo DESSEM-PAT referente à consideração da água na calha do rio no acoplamento com o modelo DECOMP [5].

6.1. Dados gerais do estudo

O estudo contém uma série de dados referentes à configuração do sistema, restrições operativas e rede elétrica, sendo impossível listar todos eles. As características gerais do estudo são descritas a seguir:

- Número de subsistemas: 5 (Sendo 1 fictício);
- Número de usinas hidroelétricas: 143;
- Número de usinas termoelétricas: 87;
- Tamanho da rede elétrica: aproximadamente 6849 linhas de transmissão e 4942 barras elétricas;
- Número de períodos de tempo: 28 períodos, ao longo de 7 dias;

6.2. Impacto no tempo computacional e o Custo

Foram realizados estudos considerando as seguintes variantes para as restrições RIVAR:

- 1) Sem a adição dessas restrições;
- 2) Adicionando as restrições do caso (3), porém com penalidade igual a zero;
- 3) Adicionando as restrições para as variáveis de turbinamento, vertimento e geração térmica;
- 4) Adicionando as restrições apenas para as variáveis de Intercâmbio;

A Tabela 6.1 mostra os resultados para estes casos.

Tabela 6.1 - Impacto das restrições de RIVAR no tempo computacional e no custo total de operação

Caso	Tempo de CPU (seg)	Custo Total de Operação (10 ⁶ R\$)
Sem Restrição de RIVAR (1);	492	36.722.650,3
Com RIVAR, sem penalidade (2);	1066	36.722.650,2
Com RIVAR, com penalidade (3);	1026	36.723.711,2
Com RIVAR para os intercâmbios (4);	518	36.724.120,1

Como esperado, o tempo computacional foi razoavelmente superior com a inclusão das restrições de RIVAR, devido ao aumento do tamanho do problema matemático a ser resolvido. Ressalta-se, entretanto, que nos casos (2) e (3) foram inseridas restrições de RIVAR para **todas as usinas hidroelétricas** (duas variáveis para cada: turbinamento e vertimento) e para **todas as usinas térmicas** (uma variável para cada: geração).

O custo também aumentou devido às novas restrições, porém o aumento não ultrapassou 0,01% do valor original, mostrando o baixo impacto no custo total de operação desta abordagem. A diferença de custo total de operação entre os casos (1) e (2) é devido apenas a aproximação numérica, visto que o problema em si é o mesmo, pois as folgas para as restrições de RIVAR possuem valor nulo na função objetivo.

6.3. Sensibilidade do efeito das restrições com o valor da penalidade

Neste estudo, as restrições de RIVAR para os intercâmbios tiveram o valor da penalidade gradativamente aumentado desde 10⁻³ até 10³, com passos de potências de 10. A Tabela 6.2 mostra o tempo computacional, o custo total de operação e a média de variação nos intercâmbios. Pode-se ver que, com o aumento do valor da penalidade, a média de variação nos intercâmbios reduz, porém o custo total de operação aumenta.

Tabela 6.2 - Resultados para estudo de variação da penalidade para restrições de RIVAR para os intercâmbios.

Penalidade	Custo Total (1000\$)	Tempo de CPU (s)	Media de variação (MW)
Sem Rivar	36.722.650,3	390	1.948
10 ⁻³	36.724.120,1	604	1.859
10 ⁻²	36.734.275,5	1.258	992
10 ⁻¹	36.795.914,8	955	841
1	37.071.289,5	1.357	585
10	39.232.752,3	941	636
10 ²	43.651.269,0	975	386
10 ³	43.651.269,0	879	385

6.4. Eficácia das restrições na diminuição das oscilações nos valores das variáveis

A Figura 6.1 mostra o efeito da utilização das restrições de RIVAR. Nota-se que a operação no recebimento de energia do subsistema Nordeste é mais bem comportado quando comparado a operação em que não se utiliza a funcionalidade RIVAR, pois as variações se mantiveram na maior parte do tempo entre -1000 e 0 MW.

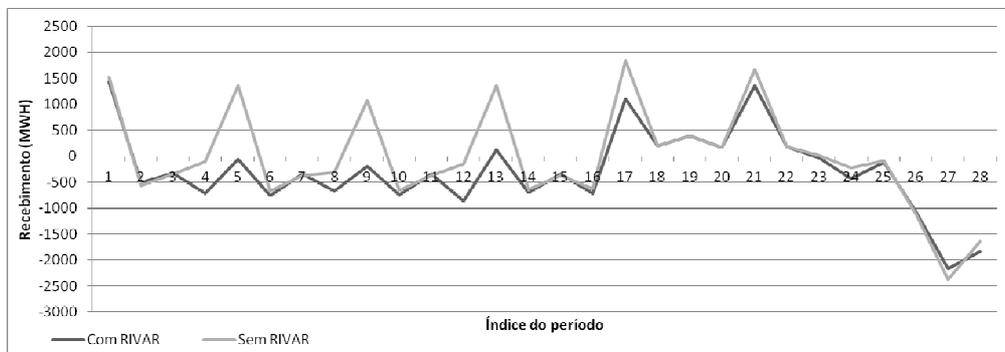


Figura 6.1 - Comparação no recebimento do Subsistema Nordeste com e sem a funcionalidade RIVAR

7. CONCLUSÕES

Este relatório teve por objetivo descrever as restrições internas de variação (RIVAR) recentemente implementadas no modelo DESSEM-PAT, que buscam obter uma operação mais "suave" para as variáveis operativas do sistema. Com isso evita-se, quando possível e a um baixo custo, variações sensíveis na operação de determinadas entidades (ex: usinas hidroelétricas, usinas termoelétricas) e variáveis (ex: turbinamento, geração termoelétrica). Ressalta-se que tais restrições não impossibilitam que variáveis possam alternar seus valores ao longo do horizonte de estudo, apenas se incorpora no problema o "desejo" de que, em caso de indiferença em termos de custo, tais oscilações sejam evitadas. A eficácia dessa metodologia é ilustrada em testes reais com o sistema brasileiro.

8. REFERÊNCIAS

- [1] CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, “Manual do Usuário – Modelo DESSEM-PAT, versão 8.4”, Janeiro 2013.
- [2] CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, “Análise das variações nas gerações das usinas hidroelétricas”, Nota Técnica nº1, CEPEL, Setembro / 2002.
- [3] CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, “Modelagem do Vertimento e Desvio das Usinas Hidroelétricas nos modelos SIMHIDR e DESSEM-PAT”, Relatório Técnico CEPEL nº 1005/2011, Novembro/2011.
- [4] CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, “Conversor de casos do modelo DECOMP para o modelo DESSEM-PAT - Manual do Usuário”, versão 5.4, Agosto/2012.
- [5] CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, “Acoplamento entre os modelos DESSEM e DECOMP considerando o tempo de viagem da água - Relatório Técnico CEPEL, Outubro/2014.