

## TRATAMENTO DA PREVISÃO DE PRECIPITAÇÃO DO MODELO ETA PARA USO EM PREVISÃO HIDROLÓGICA

*Rogério Guimarães Saturnino Braga<sup>1</sup> & Marcio Catald<sup>2</sup>*

**RESUMO** - O ONS tem a responsabilidade de elaborar previsões de vazões naturais médias diárias, semanais e mensais para todos os locais de aproveitamentos hidroelétricos do SIN. A partir de 2006, modelos que incorporam previsões de precipitação, em um horizonte de até dez dias, vêm sendo gradativamente utilizados nas previsões para uma semana à frente. Desde então, o ONS vem acompanhando o desempenho desta modelagem, com base na comparação entre as vazões naturais previstas e observadas. Além disso, tem procurado minimizar os desvios ocasionados pela previsão de precipitação. O ONS possui o histórico de previsões do modelo ETA de 1996 a 2012. Com base neste histórico foi possível observar que, de uma maneira geral, a precipitação prevista tem um comportamento semelhante à observada, alterando apenas a magnitude, indicando que o modelo é capaz de determinar os fenômenos meteorológicos que ocorrem nas bacias, porém possui uma tendência (viés) de superestimar os totais observados. Além disto, foi observado que ocorrem erros maiores quando são previstos totais de chuva elevados. Sendo assim, o ONS utilizou uma abordagem estatística, baseada na permanência da precipitação observada e prevista, para minimizar estes erros. O uso desta metodologia trouxe ganhos ao desempenho de todos os modelos chuva-vazão analisados.

**Palavras-chaves:** ONS, previsão de vazões, modelo ETA.

**ABSTRACT** - The ONS has the responsibility to develop estimates of natural inflow average daily, weekly and monthly to all SIN's hydroelectric. Since 2006, models that incorporate precipitation's forecasts in a horizon of ten days, are gradually being used in natural inflow forecasts for a week ahead. Since then, the ONS has been monitoring the performance of this models, based on the comparison between the predicted and observed natural inflow. Moreover, it has sought to minimize the deviations caused by the precipitation forecast. The ONS has a history of ETA model forecasts from 1996 to 2012. Based on this history was observed that, in general, the forecast precipitation behavior is similar to that observed changing only its magnitude, indicating that the model is able to represent the weather phenomena that occur in the basins, but has a tendency (bias) to overestimate the observed totals. Furthermore, it was observed that biggest errors occur when the values of precipitation forecast are high. Thus, the ONS used a statistical approach based on the permanence curve of observed and predicted precipitation observed and expected to minimize these errors. The use of this methodology has brought gains to the performance of all rainfall-runoff models analyzed.

**Keywords:** ONS, inflow forecasting, ETA model.

### INTRODUÇÃO

O Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS tem como atribuição a elaboração da previsão de vazões naturais e a geração de cenários de afluências para todos os locais de aproveitamentos hidroelétricos do Sistema Interligado Nacional – SIN. Dentre as bacias

<sup>1</sup>Engenheiro Civil, Hidrólogo do Operador Nacional do Sistema Elétrico, Rua da Quitanda, 196, Centro, Rio de Janeiro – RJ. [rogeriobraga@ons.org.br](mailto:rogeriobraga@ons.org.br)

<sup>2</sup> Meteorologista do Operador nacional do Sistema Elétrico e Professor Adjunto da Universidade Federal Fluminense.

hidrográficas integrantes do SIN, as bacias do rio Uruguai, Iguçu, Alto/Médio Grande, Paraná (incremental a Itaipu), Paranaíba (incremental a São Simão) e São Francisco (incremental a Sobradinho e Três Marias) têm a previsão de suas vazões obtida através de modelagem chuva-vazão. Para que estes modelos produzam previsões de vazões mais próximas às observadas é imprescindível uma previsão de chuva de boa qualidade.

Desde 2006 o ONS investe no desenvolvimento de modelos que incorporam as previsões de precipitação obtidas pelo modelo ETA 40 km, disponibilizadas pelo CPTEC/INPE, em um horizonte de até dez dias. Além disso, tem procurado o aprimoramento da qualidade das previsões de precipitação, a partir da elaboração interna de análises de desempenho do modelo ETA ou através de contatos com o próprio CPTEC, procurando um maior conhecimento das características específicas das previsões deste modelo e de outros existentes no próprio CPTEC.

Em 2012, o ONS elaborou estudos para uma análise mais abrangente de desempenho do modelo ETA 40 que mostraram uma nítida tendência das previsões deste modelo apresentar erros maiores quando da previsão de totais de chuva mais elevados, principalmente em bacias da região SE/CO [ONS (2013)].

Uma vez constatada esta tendência, o ONS procurou desenvolver um aprimoramento da metodologia de remoção de viés da previsão de precipitação, já utilizada nos modelos de previsão de vazões uma semana à frente nas bacias do alto/médio rio Grande [Braga et al. (2009)], do rio Paranapanema [ONS(2009)] e do rio São Francisco [Paiva et al. (2009)].

## **METODOLOGIA ORIGINAL DE REMOÇÃO DE VIÉS DA PREVISÃO**

### **Precipitação prevista pelo modelo ETA**

O modelo numérico regional ETA 40 [Black (1994); Cataldi et al. (2007)] é executado operacionalmente no Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC e possui resolução espacial de 40 km x 40 km. A precipitação média diária prevista em cada sub-bacia foi calculada a partir de média aritmética dos valores previstos para os pontos de grade localizados dentro da sub-bacia. A precipitação prevista utilizada para fins de comparação com a chuva observada foi sempre para um horizonte de nove ou dez dias à frente, em um período mínimo de oito anos, com previsões efetuadas sempre com início às quartas-feiras.

### **Precipitação observada**

Para a definição da precipitação média observada em cada bacia, procurou-se trabalhar com uma rede de estações pluviométricas mais densa possível. Desta forma, com base no período de dados a ser utilizado em cada estudo, foi realizada uma ampla pesquisa de estações existentes e, posteriormente, uma coleta de dados junto à ANA, INMET e agentes de geração de energia elétrica.

A análise de consistência dos dados pluviométricos foi realizada tanto em nível diário, por meio de Análise de Agrupamento (clusters) e Componentes Principais (ACP), quanto em nível médio anual, por meio de comparação entre estações vizinhas e com base na topografia da área da bacia. Entre as estações selecionadas para o estudo, não foi identificada qualquer inconsistência significativa.

### **Identificação de viés da previsão de precipitação**

Quando comparados os valores médios de precipitação prevista e de precipitação observada, verifica-se, em várias sub-bacias, uma tendência de superestimativa dos valores previstos, principalmente naquelas situadas na região Sudeste e/ou que possuem desníveis mais acentuados.

Analisando a figura 1, elaborada com os dados de precipitação total média observada e prevista nos dez primeiros dias de cada previsão para a sub-bacia de Três Marias, por exemplo, percebe-se que a precipitação prevista tem um comportamento semelhante à observada, alterando apenas a magnitude, indicando que o modelo foi capaz de reproduzir os fenômenos meteorológicos que ocorreram na bacia, porém possui uma tendência (viés) a superestimar os totais previstos, o que difere de acordo com o período do ano.

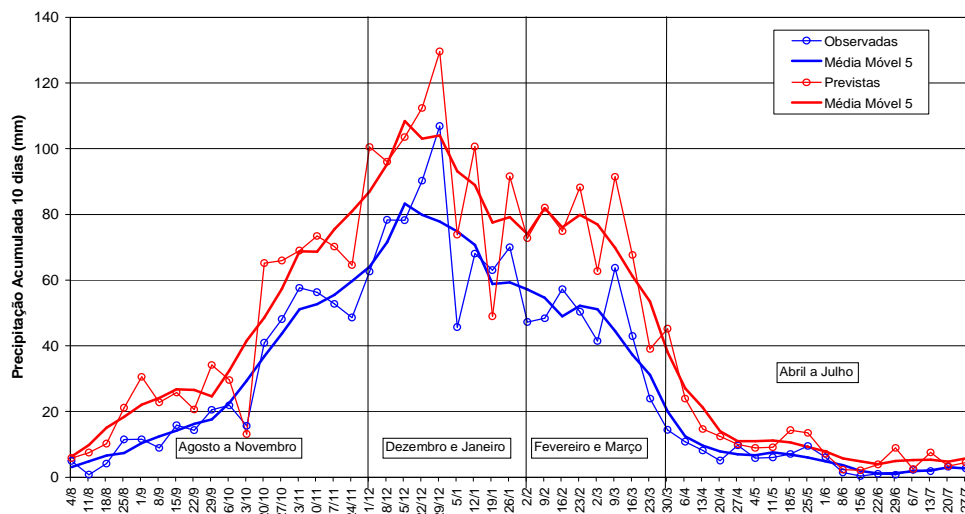


Figura 1 –Precipitação média prevista e observada a montante de Três Marias

### Remoção de viés da previsão de precipitação

A metodologia utilizada para a identificação e remoção do viés das previsões de precipitação, em cada sub-bacia e em cada período, foi a seguinte:

- Obtenção dos totais de precipitação observada e prevista nos primeiros nove dias de cada previsão.
- Definição de períodos distintos para remoção do viés, considerando as características climáticas sazonais da região.
- Elaboração de curvas de permanência de precipitação observada e prevista, para cada período.
- Elaboração de gráficos de precipitação prevista versus precipitação observada, plotando-se pontos de mesma frequência da curva de permanência.
- Ajuste de uma equação de segundo grau aos pontos do gráfico, passando pela origem e limitado aos valores de precipitação prevista maiores do que a precipitação observada.
- Cálculo da precipitação diária prevista com remoção de viés para todo o horizonte da previsão, por meio das equações (1) e (2):

$$P_{pre(t)} = P_{ETA(t)} \times \frac{P_{totpre\ 9dias}}{P_{tot\ ETA\ 9dias}} \quad (1)$$

$$P_{totpre\ 9dias} = a \times \left( P_{tot\ ETA\ 9dias} \right)^2 + b \times \left( P_{tot\ ETA\ 9dias} \right) \quad (2)$$

- $P_{pre(t)}$ : precipitação diária prevista com remoção de viés, para cada dia de previsão (mm).  
 $P_{ETA(t)}$  : precipitação diária prevista pelo modelo ETA, para cada dia de previsão (mm).  
 $P_{totpre9dias}$ : precipitação total prevista com remoção de viés, para os 9 primeiros dias (mm).  
 $P_{totETA9dias}$ : precipitação total prevista pelo modelo ETA, para os 9 primeiros dias (mm).  
a e b: constantes da equação de segundo grau obtida para remoção de viés.

O comportamento da chuva verificada e prevista após a remoção do viés é vistona Figura 2.

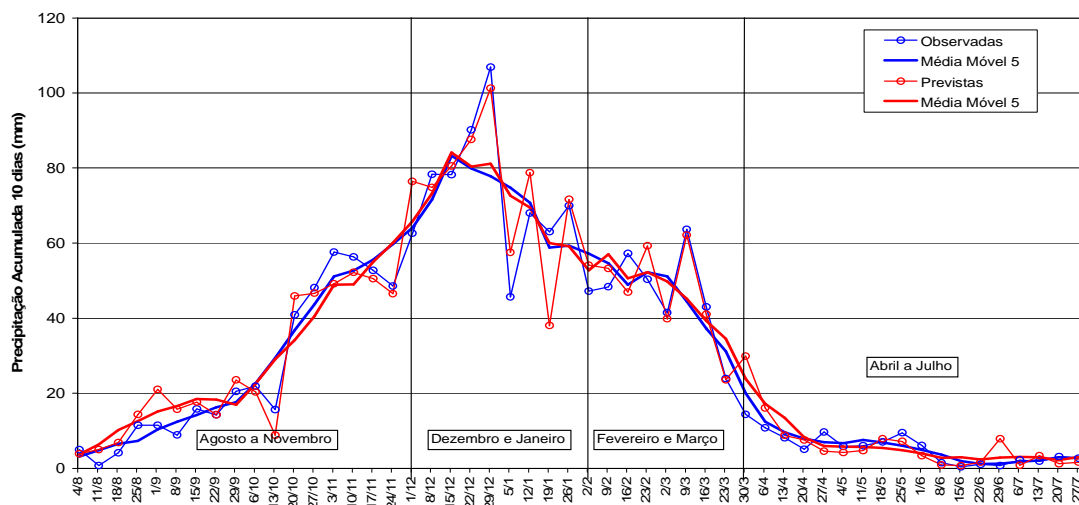


Figura 2 –Precipitação média prevista e observada a montante de Três Marias – Após remoção de viés

## ANÁLISE DE DESEMPENHO DO MODELO ETA 40

A análise de desempenho do modelo ETA 40[ONS (2013)] foi realizada para diversas bacias do SIN, a partir de históricos de previsões de precipitação realizadas sempre às quartas-feiras, para precipitação acumulada de 10 dias, totalizando 305 previsões.

Dentre os vários índices de desempenho utilizados no estudo, destaca-se o denominado Razão de Alarme Falso (FAR), que indica a probabilidade de não observar chuva acima de um determinado limite, dado que o sistema de previsão previu chuva acima deste limite. O índice FAR é calculadopela equação (3), sendo que os termos a e b são oriundos da tabela 1.

$$FAR = \left( \frac{b}{a + b} \right) \quad (3)$$

Tabela 1 - Tabela de contingência 2 x 2

Evento		Observação	
		Sim	Não
Previsão	Sim	a	b
	Não	c	d

Este índice indica a probabilidade de uma previsão acima de um determinado limiar não ocorrer. Ou seja, se um modelo faz dez previsões acima de um limiar de 200 mm, e em nenhuma das vezes isso ocorre, o índice FAR vai ser igual a 1, o que indica que o modelo não possuiabilidade para prever totais de precipitação acima deste limiar. Caso contrário, se todas as

observações de precipitação estiverem acima do limiar previsto pelo modelo, o índice FAR vai ser igual a 0, indicando uma previsão isenta de superestimação do modelo atmosférico.

Para a avaliação deste índice, as previsões do modelo ETA 40 foram divididas em limiares (percentuais) definidos com base na precipitação observada para cada época do ano e para cada trecho de bacia analisada. Na tabela 2 estão os limiares de precipitação observada selecionados em alguns trechos de bacias do SIN para o trimestre Dezembro-Janeiro-Fevereiro (DJF).

Tabela 2 - Limiares de precipitação (mm) selecionados para o trimestre DJF

Bacia	Sub-bacia	Limiares de Precipitação (mm)				
		P20	P40	P60	P80	P90
Grande	Montante de Furnas	33	52	72	107	124
	Jusante de Furnas	36	58	77	106	131
Paranapanema	Montante de Capivara	30	42	62	82	103
	Jusante de Capivara	25	41	58	83	108
São Francisco	Montante de Três Marias	27	47	65	91	117

A partir da definição destes limiares foram obtidos os valores do índice FAR para cada trecho de bacia e para cada trimestre do ano. Os resultados para o trimestre DJF são mostrados na tabela 3.

Tabela 3 - Valores do índice FAR do modelo ETA 40 para o trimestre DJF

Bacia	Sub-bacia	FAR				
		P20	P40	P60	P80	P90
Grande	Montante de Furnas	0,14	0,32	0,52	0,69	0,80
	Jusante de Furnas	0,16	0,32	0,47	0,70	0,87
Paranapanema	Montante de Capivara	0,16	0,25	0,33	0,54	0,75
	Jusante de Capivara	0,18	0,36	0,56	0,60	-
São Francisco	Montante de Três Marias	0,16	0,29	0,46	0,63	0,83

Observa-se que, de uma maneira geral, a probabilidade de superestimar a precipitação prevista aumenta para maiores valores de precipitação. Desta forma, fica nítida a necessidade da realização de esforços para a correção, em algumas bacias, das previsões do modelo ETA 40 para limiares altos de precipitação, tendo em vista que na maioria das vezes elas não se realizam.

## METODOLOGIA PROPOSTA

A premissa básica da metodologia proposta foi, após a aplicação da remoção de viés apresentada em [Braga et al. (2009)], adotar limites para os valores de precipitação prevista em função da curva de permanência da precipitação observada, tanto para dados diários como para os totais do horizonte da previsão. Para definição do limite da precipitação diária prevista, optou-se pela adoção do valor correspondente a 5% da curva de permanência da precipitação diária observada em cada sub-bacia, considerando, em todos os casos, o período referente aos dois meses mais chuvosos do ano. Para os limites dos totais de nove dias, foi avaliada, com base em simulações dos modelos de previsão de vazões, a consequência da adoção de valores correspondentes às permanências de 5, 10, 15, 20 e 25% da precipitação média observada em cada local e em cada período do ano.

Na Figura 3 é apresentada a curva de permanência da precipitação média diária observada na sub-bacia de Camargos, para o período correspondente aos dois meses mais chuvosos do ano (no caso, dezembro/janeiro). O valor obtido (30 mm) foi considerado como valor máximo da precipitação diária prevista a ser adotado nesta sub-bacia, independentemente do período do ano.

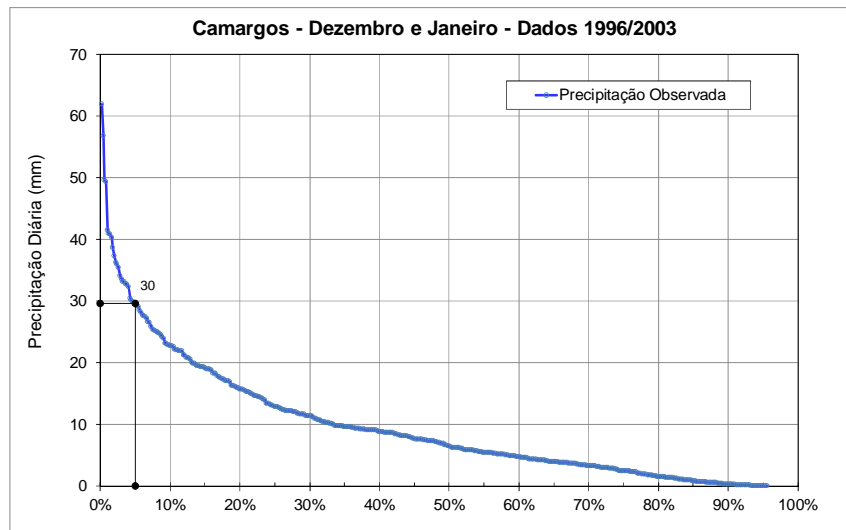


Figura 3 – Curva de permanência da precipitação diária observada - período dezembro/janeiro

Na Figura 4 é apresentada a curva de permanência da precipitação média observada nesta sub-bacia, considerando o valor acumulado nos nove dias e o período agosto/novembro.

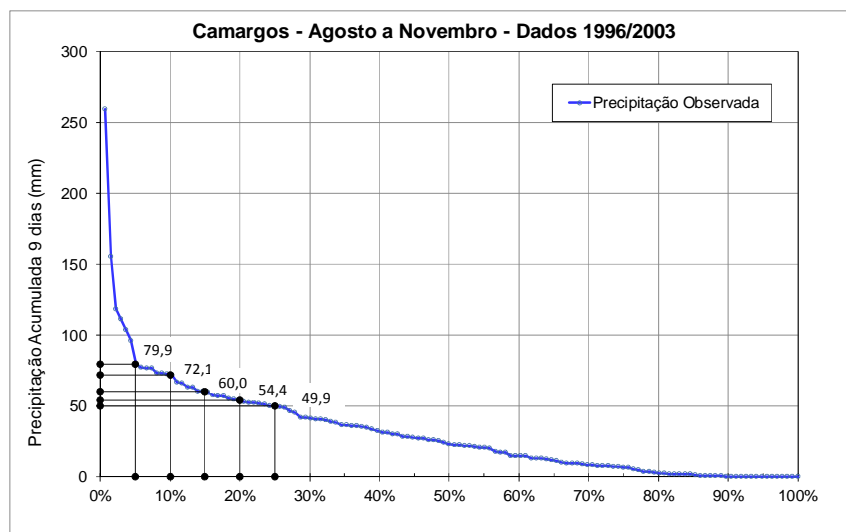


Figura 4 – Curva de permanência da precipitação de 9 dias observada - período agosto/novembro

Na obtenção dos valores da precipitação prevista com a limitação de valores máximos para a chuva diária e para a chuva acumulada de nove dias, foram consideradas as seguintes etapas:

- Aplicação normal das equações de remoção de viés, através da equação (2);
- Verificação e aplicação, quando necessária, dos limites de previsão de precipitação total dos nove primeiros dias, por meio das regras ilustradas na equação (3);

$$\text{Se } P_{\text{totpre}_{9\text{dias}}} \leq \text{Limite } P_{\text{totpre}_{9\text{dias}}} \mid \text{Se } P_{\text{totpre}_{9\text{dias}}} > \text{Limite } P_{\text{totpre}_{9\text{dias}}} \quad (3)$$

$$P_{\text{totpre}_{\text{fin}_{9\text{dias}}}} = P_{\text{totpre}_{9\text{dias}}} \quad \mid \quad P_{\text{totpre}_{\text{fin}_{9\text{dias}}}} = \text{Limite } P_{\text{totpre}_{9\text{dias}}}$$

- Cálculo da precipitação diária prevista com remoção de viés e com limite de precipitação total dos nove primeiros dias, por meio da equação (4);



$$Ppre_{(t)} = P_{ETA(t)} \times \frac{P_{totpre\ fin\ 9dias}}{P_{tot\ ETA\ 9dias}} \quad (4)$$

- Verificação e aplicação, quando necessária, dos limites de previsão de precipitação diária, por meio das regras ilustradas pela equação(5);

$$\text{Se } Ppre_{(t)} \leq \text{Limite } Ppre_{1dia} \quad | \quad \text{Se } Ppre_{(t)} > \text{Limite } Ppre_{1dia} \quad (5)$$

$$Ppre_{fin(t)} = Ppre_{(t)} \quad | \quad Ppre_{fin(t)} = \text{Limite } Ppre_{1dia}$$

## RESULTADOS

Foram verificados, então, os desempenhos dos modelos de previsões de vazões em uso no ONS em cada sub-bacia, com a utilização das diversas opções de limites de precipitação prevista. Na tabela 4 são apresentados os valores dos limites que proporcionaram melhor desempenho nas previsões de vazões nas sub-bacias do rio Grande, avaliado pelos índices MAPE e NASH.

Tabela 4 - Valores dos limites de precipitação prevista para as sub-bacias do rio Grande (mm)

Sub-bacia	Limite diário	Limite 9 dias			
		Ago-Nov	Dez-Jan	Fev-Mar	Abr- Jul
Camargos	30	72,1	161,9	83,2	25,1
Funil	28	77,2	132,1	88,8	22,7
Porto dos Buenos	34	75,5	141,2	83,0	27,3
Paraguaçu	26	70,7	129,2	90,1	26,8
Furnas	26	79,6	155,4	106,8	43,1
Faz. Capão Escuro	29	106,6	187,2	127,4	57,2
Porto Colômbia	27	87,7	200,3	110,4	49,5

Na tabela 5 é mostrada uma comparação entre os índices de desempenho do modelo de previsão de vazões soma semana à frente na bacia do rio Grande, considerando a metodologia original de remoção de viés apresentada em [Braga et al. (2009)] e a metodologia proposta, com o uso dos limites de precipitação prevista apresentados na tabela anterior.

Tabela 5 – Índices de desempenho obtidos nas simulações das previsões de vazões – Bacia do rio Grande

SUB-BACIA	METODOLOGIA			
	ORIGINAL		PROPOSTA	
	MAPE	NASH	MAPE	NASH
Camargos	16,0%	0,76	14,3%	0,80
Inc. Funil/Camargos	15,6%	0,62	14,6%	0,62
Funil Total	14,1%	0,71	12,9%	0,72
Inc. Furnas/Funil	14,8%	0,88	13,9%	0,90
Furnas Total	13,0%	0,88	12,1%	0,89
Inc. Porto Colômbia/Furnas	14,8%	0,85	13,8%	0,87
Porto Colômbia Total	8,8%	0,95	8,3%	0,95

Pode-se notar que em todas as sub-bacias do rio Grande houve ganhos com a incorporação de limites nos valores de precipitação prevista pelo modelo ETA 40. Além disso, uma grande virtude da metodologia proposta é, em alguns eventos esporádicos, reduzir significativamente grandes erros que existem quando há previsões de totais elevados de precipitação e estes não se realizam. Na figura 5 são mostrados os ganhos/perdas obtidos nos desvios da previsão quando comparam-se

simulações com a metodologia proposta com as da metodologia original, para a sub-bacia de Camargos. Resultados semelhantes foram obtidos em sub-bacias do rio Paranapanema e do rio São Francisco.

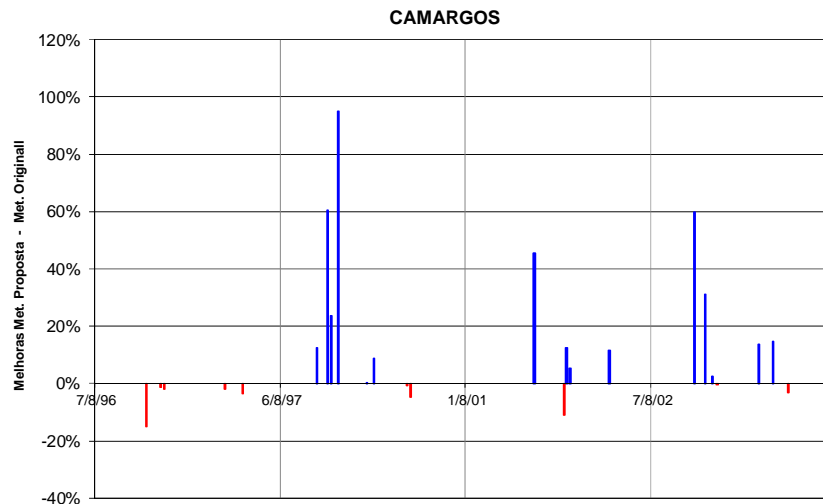


Figura 5 – Ganhos/perdas da metodologia proposta em relação à metodologia original

## CONCLUSÕES

Além de possuir uma tendência de, em média, superestimar os valores de precipitação prevista em várias regiões do SIN, o modelo ETA 40 apresenta uma tendência de apresentar erros maiores em previsões de totais de chuva mais elevados. Estas características levam à necessidade de adoção de metodologia para remoção do viés da previsão e para limitação dos valores previstos de precipitação, tanto para dados diários como para os acumulados em 9 ou 10 dias.

A aplicação desta metodologia em três diferentes bacias (Grande, Paranapanema e São Francisco) mostraram importante redução nos erros médios da previsão de vazão uma semana à frente.

## BIBLIOGRAFIA

BLACK T.L., (1994). The new NMC mesoscale Eta model: Description and forecast examples. *Wea. Forecasting*, 9, pp. 265-278

BRAGA, R.S.; CATALDI, M.; OLIVEIRA, H.C. (2009). Metodologia para previsão de vazões na bacia do rio Grande. In *Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Campo Grande, Nov. 2009

CATALDI, M. ; MACHADO, C.O.; GUILHON, L.G.F. ; CHOU, S.C.; GOMES, J.L.; BUSTAMANTE, J.F. (2007). Análise de Previsões de Precipitação obtidas com a utilização do modelo ETA como insumo para modelos de previsão semanal de vazão natural. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 12, pp. 5-12

ONS (2009). NT-126/2009. Metodologia para previsão de vazões uma semana à frente na bacia do rio Paranapanema

ONS (2013). NT-12/2013. Proposta de aprimoramento da metodologia de remoção de viés da previsão de precipitação - Aplicação nas bacias do alto/médio rio Grande e do rio Paranapanema

PAIVA, L.F.G.; BARROS, A.M.L.; VALENÇA, M.J.S. (2009). Aplicação do modelo NEURO3M para previsão de vazões naturais afluentes ao reservatório de Três Marias. In *Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Campo Grande, Nov. 2009