

PREVISÃO DE VAZÕES AO RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS ATRAVÉS DO MODELO NEURO COM CORREÇÃO DE PREVISÃO DE PRECIPITAÇÃO

Luana Ferreira Gomes de Paiva¹; Hadassiana Costa Creton de Oliveira²

& Rogerio Guimarães Saturnino Braga³

RESUMO - A previsão de vazões é um dos principais insumos para a definição da geração das usinas hidrelétricas. Dentre as diversas alternativas de modelagem para a previsão de vazões, as redes neurais têm tido uma aplicação cada vez maior, pois são de fácil aplicação e têm proporcionado resultados satisfatórios. Este trabalho aborda a aplicação deste tipo de modelagem à bacia do rio São Francisco, através do modelo Neuro, para a previsão de vazões afluentes ao reservatório de Três Marias, com a apresentação de resultados. Constatou-se neste estudo que a análise prévia das informações usadas na calibração e aplicação da rede neural proporcionou ganhos significativos no desempenho do modelo, principalmente em relação à correção da precipitação prevista pelo modelo numérico ETA, fornecida pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC. Após a identificação da tendência de superestimar a previsão de precipitação, desenvolveram-se métodos de remoção de viés, bem como foi estabelecido um limite para a precipitação máxima diária e para a acumulada em 10 dias.

Palavras-chaves: redes neurais, previsão de vazões, bacia do rio São Francisco.

ABSTRACT - Inflow forecasting is one of the main inputs to the definition of hydroelectric power plants generation. Among several alternative modeling for inflow forecasting, neural networks have had a growing application because they are easy to apply and have been providing satisfactory results. This paper discusses the application of this type of modeling to the São Francisco river basin through Neuro model for inflow forecasting to the reservoir of Três Marias, with the presentation of results. It was found in this study that the previous analysis of the information used in the calibration and application of the neural network has provided significant gains in the performance of the model, especially regarding the correction of precipitation predicted by the numerical model ETA, provided by the Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC. After identifying the tendency to overestimate rainfall forecasting, methods of removing bias have been developed, as well as a limit to the maximum daily rainfall and for the accumulated over 10 days has been established.

Keywords: neural networks, inflow forecasting, São Francisco river basin.

¹ Engenheira Civil, Hidróloga do Operador Nacional do Sistema Elétrico, Rua 15 de Março, 50, bl.A, sala 205, Torrões, Recife – PE. luanag@ons.org.br

² Engenheira Civil, Hidróloga do Operador Nacional do Sistema Elétrico, Rua da Quitanda, 196, Centro, Rio de Janeiro – RJ. hadassiana@ons.org.br

³ Engenheiro Civil, Hidrólogo do Operador Nacional do Sistema Elétrico, Rua da Quitanda, 196, Centro, Rio de Janeiro – RJ. rogeriobraga@ons.org.br

INTRODUÇÃO

As previsões de vazões naturais subsidiam a tomada de decisão no Setor Elétrico, pois permitem a avaliação das condições operacionais das usinas hidrelétricas, através da utilização dos modelos de otimização e simulação energética, decidindo o despacho das usinas e proporcionando ganhos sinérgicos na operação do Sistema Interligado Nacional – SIN.

Desde 2006 o ONS vem investindo no desenvolvimento de modelos de previsão de vazões que incorporam previsões de precipitação, em um horizonte de até dez dias. Além disso, tem procurado o aprimoramento da qualidade das previsões de precipitação, como o aprimoramento da metodologia de remoção de viés da previsão de precipitação, utilizada nos modelos de previsão de vazões uma semana à frente nas bacias do rio Grande, do rio Paranapanema e do rio São Francisco.

Este trabalho apresenta a aplicação de limites de precipitação prevista, para dados diários e para os totais do horizonte da previsão, tomando como base a chuva com o viés corrigido. Para análise da eficiência desta proposta, foram realizadas simulações com os mesmos dados utilizados no desenvolvimento do modelo Neuro aplicado à Três Marias [ONS (2009)].

Salienta-se que a previsão de vazões afluentes ao reservatório de Três Marias é de grande importância no processo de operação dos demais reservatórios da bacia, localizados a jusante deste, além de interferirem nas definições estratégicas do despacho energético do Subsistema Nordeste.

METODOLOGIA DA ANÁLISE DA PREVISÃO DE PRECIPITAÇÃO

Neste item é apresentada a metodologia atual utilizada para correção da precipitação, bem como o aprimoramento proposto na mesma, que compreende a utilização de limites para a precipitação diária e total dos 10 dias.

Metodologia atual

A precipitação prevista utilizada nesta aplicação foi obtida a partir da rodada do modelo numérico regional ETA [Black(1994); Chou et. All(2000)]. Este modelo é executado operacionalmente no Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC, e possui resolução espacial de 40 km x 40 km. Para a obtenção da chuva média na bacia, a chuva prevista nos pontos de grade foi interpolada utilizando-se a média aritmética simples.

A chuva prevista utilizada foi a acumulada de 10 dias à frente, para todo o período estudado. Em estudo apresentado [ONS (2009)], verificou-se que a chuva prevista tendeu sempre a ficar superior a chuva verificada, conforme apresentado na Figura 01.

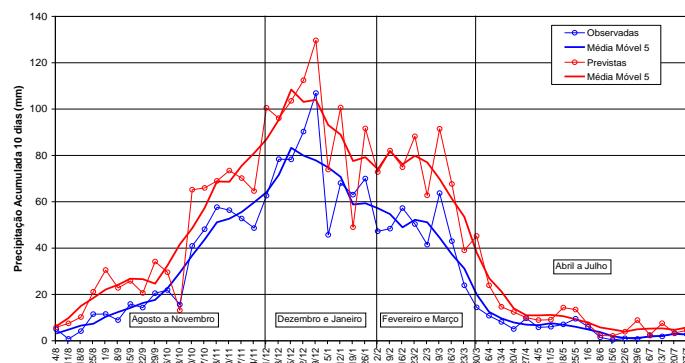


Figura 01 – Chuva média prevista e observada a montante de Três Marias

Assim, foi efetuado um estudo, visando o estabelecimento de uma metodologia para tratar esta tendência de superestimação da chuva prevista. Tal estudo foi chamado de “remoção do viés” e os meses com características hidrometeorológicas semelhantes foram agrupados em períodos, a saber: agosto a novembro, dezembro e janeiro, fevereiro e março, abril a julho. A metodologia utilizada para a identificação e remoção do viés das previsões de precipitação, para cada um dos quatro períodos, foi a seguinte:

- Obtenção dos totais de precipitação observada e prevista nos primeiros dez dias de cada previsão, realizada no período 1998/2008;
- Elaboração de curvas de permanência de precipitação observada e prevista;
- Ajuste de uma equação do segundo grau às curvas de permanência da precipitação prevista e da precipitação observada, passando pela origem e limitado aos valores de precipitação prevista maiores do que a precipitação observada. Nestes estudos, optou-se pelo não cruzamento da reta de 45°, ou seja, evita-se que o valor considerado como previsto seja maior do que o valor previsto fornecido diretamente pelo modelo;
- Cálculo da precipitação diária prevista com remoção de viés para os dez dias de previsão, por meio da seguinte expressão:

$$P_{pre(t)} = P_{ETA(t)} \times \frac{P_{totpre_{10dias}}}{P_{tot_{ETA_{10dias}}} \quad (1)$$

$$P_{totpre_{10dias}} = a \times \left(P_{tot_{ETA_{10dias}}} \right)^2 + b \times \left(P_{tot_{ETA_{10dias}}} \right) \quad (2)$$

onde:

$P_{pre(t)}$: precipitação diária prevista com remoção de viés, para cada um dos dez dias de previsão (mm).

$P_{ETA(t)}$: precipitação prevista pelo modelo ETA, para cada um dos dez dias de previsão (mm).

$P_{totpre_{10dias}}$: precipitação total prevista com remoção de viés, acumulada para os dez primeiros dias de previsão (mm).

$P_{tot_{ETA_{10dias}}$: precipitação total prevista pelo modelo ETA, acumulada para os dez primeiros dias de previsão (mm).

a e b: constantes da equação do segundo grau obtida para remoção de viés, em cada sub-bacia e em cada período considerado.

Após definidas as equações de remoção do viés, foi efetuada a correção da precipitação total prevista dos 10 dias, distribuindo-a proporcionalmente para a precipitação diária. A Figura 02 mostra o comportamento da chuva verificada e prevista, após a remoção do viés.

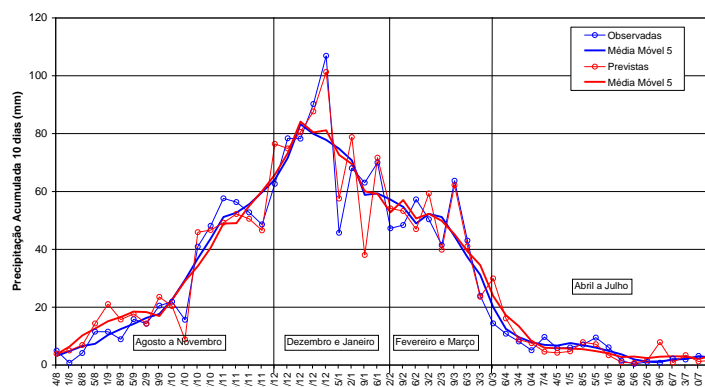


Figura 02 – Chuva média prevista e verificada a montante de Três Marias - após correção do viés

Metodologia proposta

Em 2012, o ONS, em conjunto com a Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura, elaborou estudos para uma análise mais abrangente de desempenho do modelo ETA 40, bem como de outros dois modelos de previsão de precipitação do CPTEC (modelo ETA com resolução espacial de 15 km por 15 km – ETA 15 e modelo BRAMS). Estes estudos mostraram, entre outras características, uma nítida tendência das previsões do modelo ETA 40 apresentarem erros maiores quando da previsão de totais de chuva mais elevados, principalmente nas bacias da região SE/CO. Em outras palavras, a partir de certo patamar de precipitação prevista, a sua efetiva ocorrência, embora possível, é pouco provável.

Com esta constatação, procurou-se uma forma de aprimorar a metodologia atual de remoção de viés da previsão de precipitação que considerasse essa característica do modelo ETA 40.

A premissa básica da proposta de aprimoramento foi, após a aplicação das equações de remoção do viés, avaliar a adoção de limites para os valores de precipitação prevista, tanto para dados diários como para os totais do horizonte da previsão (no caso desse estudo, dez primeiros dias). Foi avaliada a adoção de diferentes alternativas de limites, associados a percentuais das curvas de permanência da precipitação média observada em cada local e em cada período do ano.

A Figura 3a apresenta, como exemplo, a curva de permanência da precipitação média observada, considerando o valor acumulado nos dez dias no período agosto/novembro. Nesta curva, foram obtidos os valores correspondentes às permanências de 5, 10, 15, 20 e 25% para esse período.

Para definição do limite da precipitação diária prevista, adotou-se o valor correspondente a 5% da curva de permanência da precipitação diária observada em cada sub-bacia, considerando, o período referente aos dois meses mais chuvosos do ano. A Figura 3b apresenta a curva de permanência da precipitação média diária observada, para o período correspondente aos dois meses mais chuvosos do ano (no caso, dezembro/janeiro). O valor obtido (27 mm) foi considerado como valor máximo da precipitação diária prevista para a sub-bacia de Três Marias, independentemente do período do ano.

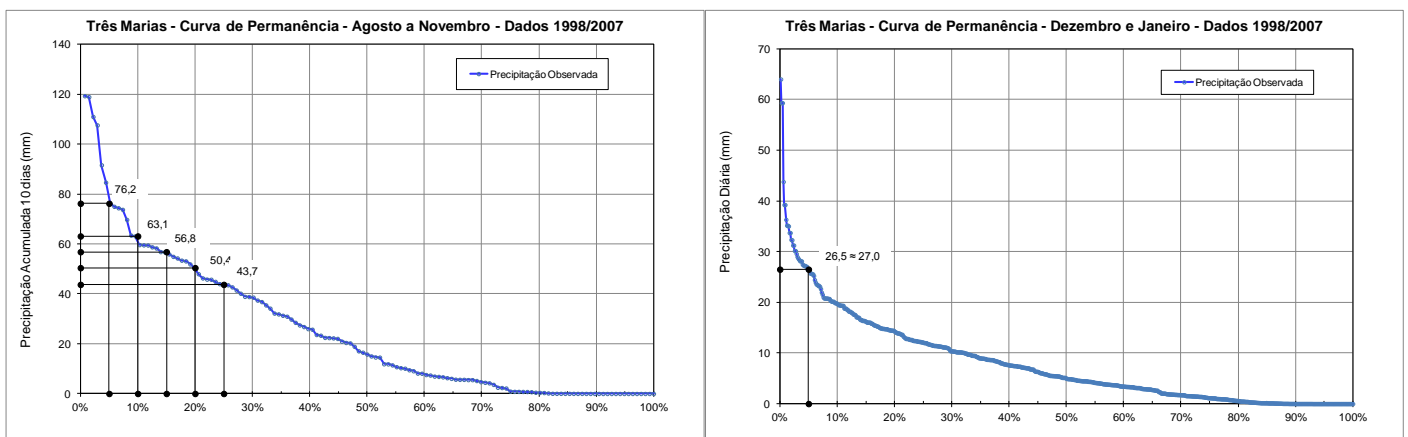


Figura 3 – Curva de permanência da precipitação total de dez dias observada, para o período de agosto/novembro e da precipitação média diária observada, para o período de dezembro/janeiro

A Tabela 1 apresenta os limites de previsão de precipitação total nos dez primeiros dias, para várias permanências, para cada período considerado.

Tabela 1 – Limites de previsão de precipitação total nos dez primeiros dias (mm) .

Perman. (%)	Três Marias Período			
	Ago-Nov	Dez-Jan	Fev-Mar	Abr- Jul
5%	76,2	140,1	130,8	25,9
10%	63,1	133,7	123,0	13,8
15%	56,8	126,8	91,3	12,0
20%	50,4	116,2	78,9	8,4
25%	43,7	114,9	68,0	5,8

A partir da obtenção dos valores dos limites de previsão de precipitação diária e de precipitação total para os dez primeiros dias, foram realizadas simulações das previsões de vazões em cada sub-bacia, utilizando os mesmos períodos (quatro anos) considerados em ONS (2009).

Nestas simulações para avaliação do desempenho da proposta de aprimoramento da metodologia de remoção de viés das previsões de precipitação fornecidas pelo modelo ETA 40, para várias alternativas de permanência, foram consideradas as seguintes etapas para cálculo da precipitação diária prevista a ser considerada pelo modelo Neuro:

- 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 dez primeiros dias, por meio das seguintes expressões:

$$\begin{aligned}
 \text{Se } P_{\text{totpre}_{10\text{dias}}} &\leq \text{Limite } P_{\text{totpre}_{10\text{dias}}} & (3) \\
 P_{\text{totprefin}_{10\text{dias}}} &= P_{\text{totpre}_{10\text{dias}}} \\
 \text{Se } P_{\text{totpre}_{10\text{dias}}} &> \text{Limite } P_{\text{totpre}_{10\text{dias}}} \\
 P_{\text{totprefin}_{10\text{dias}}} &= \text{Limite } P_{\text{totpre}_{10\text{dias}}}
 \end{aligned}$$

onde:

$\text{Limite } P_{\text{totpre}_{10\text{dias}}}$ = limite de previsão de precipitação total dos dez primeiros dias, conforme os valores apresentados na Tabela 1 (mm).

$P_{\text{totprefin}_{10\text{dias}}}$ = precipitação total prevista com a remoção original de viés e com a aplicação do limite de precipitação acumulada para os dez primeiros dias de previsão (mm).

- Cálculo da precipitação diária prevista com remoção de viés e com limite de precipitação total dos dez primeiros dias, por meio da equação 1;

- Verificação e aplicação, quando necessária, dos limites de previsão de precipitação diária, por meio das seguintes expressões:

$$\begin{aligned}
 \text{Se } P_{\text{pre}_{(t)}} &\leq \text{Limite } P_{\text{pre}_{1\text{dia}}} & (4) \\
 P_{\text{prefin}_{(t)}} &= P_{\text{pre}_{(t)}} \\
 \text{Se } P_{\text{pre}_{(t)}} &> \text{Limite } P_{\text{pre}_{1\text{dia}}} \\
 P_{\text{prefin}_{(t)}} &= \text{Limite } P_{\text{pre}_{1\text{dia}}}
 \end{aligned}$$

onde:

$\text{Limite } P_{\text{pre}_{1\text{dia}}}$ = limite de precipitação diária (mm).

$P_{\text{prefin}_{(t)}}$: precipitação diária prevista com remoção de viés e com limites de precipitação total dos dez primeiros dias e de precipitação diária (mm).

Os valores de $P_{\text{prefin}_{(t)}}$ correspondem aos valores de precipitação diária prevista a serem utilizados pelo modelo Neuro no cálculo da vazão prevista uma semana à frente.

A previsão de vazões incrementais médias diárias 12 dias à frente, utilizando uma rede

NSRBN, foi feita em uma versão modificada do software NeuroHidro, disponível em Valença (2005). Como dados de entrada para as redes neurais, foram consideradas as informações dos postos pluviométricos, fluviométricos e a vazão natural a Três Marias ocorrida, todos com diversas defasagens.

Em todo o processo da validação cruzada (treinamento, validação e teste) foram usados os dados de chuva verificada como uma referência para a obtenção da previsão de vazão com dados observados, considerando que não foi identificado um erro sistemático na chuva prevista.

RESULTADOS

As análises das simulações mostram que:

- Há ganhos com o uso da metodologia proposta de aprimoramento da remoção do viés da previsão da precipitação, em relação a metodologia atual.

- Em geral, não há grandes diferenças entre os índices de desempenho quando são utilizados os limites correspondentes a 5 e 10% de permanência da precipitação total nos dez primeiros dias da previsão.

- As maiores reduções dos erros, nos quatro anos utilizados para testes, ficaram concentradas em determinados períodos do ano, nos períodos maio/junho.

A Figura 4 mostra os ganhos/perdas obtidos quando comparamos as simulações com a metodologia anterior e com a metodologia proposta para o limite para a chuva de até 10 dias, com a permanência de 10%.

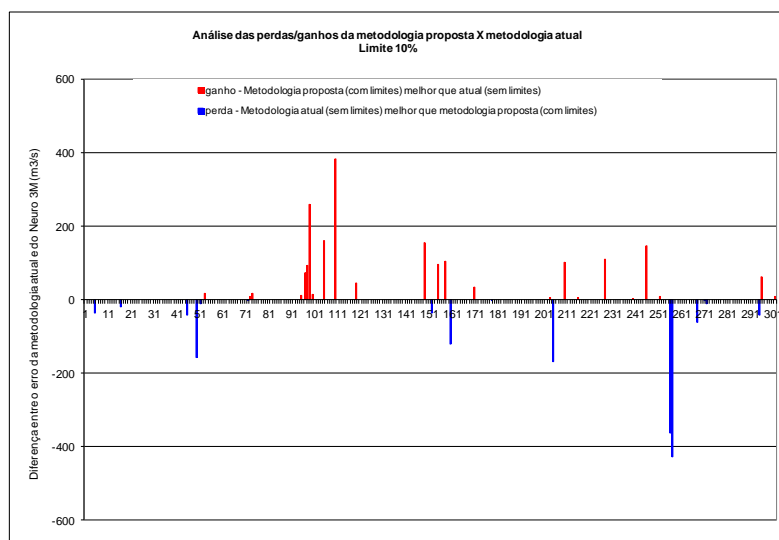


Figura 4 – Ganhos / Perdas da metodologia proposta x atual – limite para a chuva de até 10 dias, com a permanência de 10%

Tendo em vista esses resultados e com base na localização e nas características topográficas da sub-bacia em estudo, foram adotadas, para fins da proposta de aprimoramento da remoção de viés da previsão de precipitação, 10% de permanência para definição dos limites da precipitação total nos dez primeiros dias.

Definidos os limites de precipitação prevista a serem aplicados nas sub-bacias, foram compostas as previsões de vazões em locais de aproveitamentos hidroelétricos. A partir dos resultados destas previsões foi realizada a comparação de seus desempenhos em comparação aos das previsões de vazão com a metodologia atual de remoção de viés.

A Figura 5 apresenta comparações entre os resultados obtidos com o uso da metodologia atual

de remoção do viés da previsão de precipitação e os obtidos com o uso da metodologia proposta para o aprimoramento da remoção deste viés, bem como as vazões semanais verificadas.

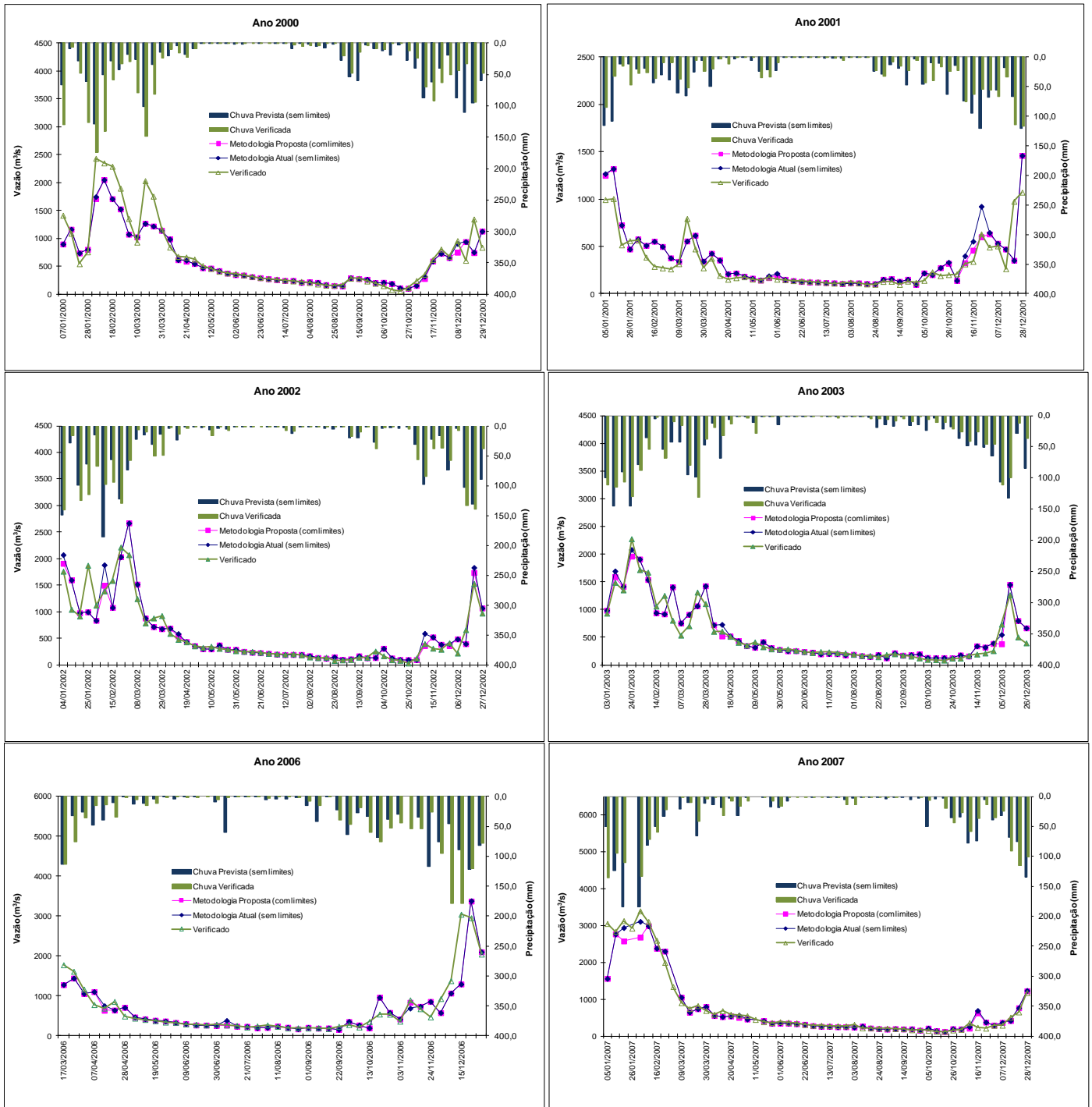


Figura 5 – Previsão de vazões da próxima semana operativa – permanência de 10%

A Tabela 2 apresenta os principais resultados obtidos nas simulações das previsões de vazões da próxima semana operativa (4º ao 10º dia do horizonte de previsão), com a aplicação da metodologia atual de remoção de viés, da metodologia proposta, e da aplicação do modelo Neuro considerando a chuva verificada.

Tabela 2 – Principais resultados obtidos nas simulações das previsões de vazões da próxima semana operativa

Ano	Neuro3M perfeita		Neuro3MP_Prev		Neuro3MP_Prev - Limites	
	10%					
	m³/s	%	m³/s	%	m³/s	%
2000	95	15%	132	18%	137	18%
2001	71	20%	98	27%	88	25%
2002	86	22%	137	27%	121	25%
2003	68	15%	103	22%	105	23%
2006	121	15%	154	20%	148	18%
2007	121	16%	105	17%	121	18%
Média	94	17%	121	22%	120	21%

Em termos médios anuais há pequeno ganho na adoção da metodologia proposta, que limita os valores previstos de precipitação diária e de precipitação total nos dez primeiros dias de previsão. A frequência de utilização de algum limite de precipitação nas previsões, tanto em valores acumulados em dez dias como em valores diários, foi relativamente baixa, sendo, em média de 13%.

O ganho na utilização da metodologia proposta em alguns eventos esporádicos é reduzir significativamente grandes erros absolutos que são observados quando há previsões de precipitação elevada e as mesmas não ocorrem. Vale ressaltar que em função da característica da metodologia proposta, as reduções quando ocorrem, atuam sempre em erros relativos positivos (quando a vazão prevista é superior à vazão observada). Não há qualquer redução dos erros negativos (quando a vazão prevista é inferior à vazão observada), pelo contrário, nota-se um pequeno aumento da frequência dos erros negativos. Porém, os ganhos obtidos com a redução dos erros positivos são bem superiores às perdas decorrentes do aumento dos erros negativos.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A metodologia proposta de aprimoramento da remoção de viés da previsão de precipitação proveniente do modelo ETA 40 foi verificada para o mesmo período de dados (4 anos) considerados em ONS (2009).

Em alguns eventos esporádicos, a redução de grandes erros positivos na previsão de vazões é extremamente significativa. Este tipo de erro ocorre quando a precipitação prevista é bem superior à precipitação efetivamente observada.

De forma geral, o uso da metodologia proposta, que limita os valores de precipitação prevista, tanto para dados diários como para os totais do horizonte da previsão, trouxe ganhos ao desempenho do modelo de previsão de vazões, com reduções dos desvios médios anuais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLACK T.L., 1994 “NMC Notes: The New NMC mesoscale Eta model: Description and forecast examples. Weather and Forecasting”.256-278.
- CHOU, S. C.; NUNES, A. M. B.; CAVALCANTI, I, F. A. 2000. Extended range forecasts over South America using the regional ETA model, Journal of Geophysical Research, Vol.105, Issue D8, p. 10147-10160.
- ONS, 2009. NT-051/2009 revisão 1. Previsão de Vazões Diárias ao Reservatório de Três Marias usando a técnica de redes neurais.
- VALENÇA, M. J. S. 1999. Análise e projeto de redes neurais com abordagem construtiva para modelagem de sistemas complexos. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco.