

ANÁLISE DO DESEMPENHO DAS PREVISÕES DE PRECIPITAÇÃO MÉDIA DIÁRIA: APLICAÇÃO NA BACIA DE FOZ DO AREIA

Saulo Aires de Souza¹; Fernanda da Serra Costa^{1,2} & Jorge Machado Damázio^{1,2}

RESUMO --- A verificação do desempenho das previsões contribui para que os produtos resultantes da execução do modelo sejam usados de forma adequada. O presente trabalho analisa o desempenho de previsões de precipitação com vista ao uso destes valores em modelos de previsão de vazão. As previsões de precipitação foram determinadas pelo CPTEC utilizando o modelo ETA para o período de 1996 a 2001. A partir das previsões de precipitação da bacia de Foz do Areia foram calculados diversos índices de avaliação de desempenho do modelo segundo o critério acertou/errou, magnitude dos erros de previsão e teste de contingência. A análise levou em consideração a classificação dos valores de previsão de precipitação em altas, médias e baixas. Os resultados obtidos mostram que a performance das previsões é boa quando se considera apenas o índice de desempenho do tipo acertou/errou para os dados sem classificação, no entanto, mostram queda na performance do modelo de previsão de precipitação quando estes foram calculados considerando as classes de precipitação.

ABSTRACT --- The verification of the forecast performance contributes for the adequate use of model's output. This paper analyses the performance of precipitation forecasts aiming the use of them for river flow forecast. The precipitation forecasts had been determined by CPTEC using the ETA model for the period of 1996 to 2001. Using the precipitation forecast for the basin of Foz do Areia many performance indices were calculated according to the criterion right/wrong, forecast errors and contingency tests. The analysis has considered classifying the data as high, medium and low precipitation. The obtained results show good forecast performance for rain/not rain indices for the non-classified data. However, it's shown a drop in the forecast precipitation model performance in the classified data.

Palavras-chave: Modelo ETA, Previsão de Precipitação e Previsão de Vazão.

1) CEPEL – Centro de Pesquisas em Energia Elétrica. Av.Hum, S/nº, Cidade Universitária, CEP 20001-970, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Fone: (21) 2598-6452. e-mail: saulo@cepel.br

2) UERJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro

1 – INTRODUÇÃO

No Gerenciamento de Recursos Hídricos a previsão atua como uma ferramenta indispensável na tomada de decisão, sendo o valor econômico das previsões em vários setores da economia, como por exemplo, agrícola e energética, é inquestionável. As previsões são determinadas por modelos com diferentes metodologias agregando pois as incertezas inerentes da própria metodologia e do fenômeno hidrológico. A incerteza é traduzida na forma de erro de previsão e deve ser avaliada de forma a validar ou não o modelo. A interpretação incorreta da previsão do modelo pode limitar o uso deste modelo como ferramenta para previsão.

Segundo Chou et. al. (2004) enquanto que existem pesquisas introduzindo melhorias nos modelos, devem haver outras pesquisas no esforço em avaliar as previsões e identificar os erros do modelo para que seus produtos possam ser utilizados de forma adequada. A verificação objetiva da qualidade das previsões é realizada por diversas razões. Brier e Allen (1951) apud Wilks (1995), classificaram os propósitos da verificação em administrativos, científicos e econômicos.

O uso administrativo da verificação das previsões é realizado para monitorar as previsões operacionais objetivando comparar os méritos dos previsores e/ou sistemas de previsão. Assim, procura-se verificar as tendências das previsões ao longo do tempo, analisar as taxas de melhorias das previsões para diferentes locais ou horizontes de previsão e comparar as previsões de diferentes origens para um mesmo evento.

A análise das estatísticas de verificação e seus componentes permitem perceber pontos fortes e fraquezas de previsores e/ou sistemas de previsão facilitando a introdução de melhorias nas metodologias adotadas. Este propósito é classificado como científico. Ultimamente, a justificativa para qualquer esforço de previsão está relacionada com as possibilidades dessa informação ser utilizada na tomada de decisões. Isso implica que o uso das previsões dependerá das características de seus erros, que são elucidados através dos métodos de verificação da previsão. Assim, as motivações econômicas da verificação das previsões irão fornecer as informações necessárias para o usuário quantificar o valor da previsão. Entretanto, uma vez que o valor econômico da previsão em diferentes cenários de decisão deve ser avaliado caso a caso, o valor da previsão não pode ser computado somente de através de estatísticas de verificação.

O presente trabalho objetiva verificar o desempenho das previsões de precipitação média diária obtidas através do modelo ETA estendido produzidas pelo CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Clima para o período de 1996 a 2001. Segundo a classificação de Brier e Allen (1951), citada por Wilks (1995), o propósito da verificação das previsões desse trabalho é administrativo e econômico uma vez que o foco principal é a utilização destas previsões em modelos de previsão de aflúências diárias a aproveitamentos hidroelétricos. Porém o resultado desta verificação pode

também ser utilizado pelos pesquisadores envolvidos com o desenvolvimento do modelo ETA para melhorar seu desempenho e finalmente, estes resultados podem ser utilizados para o aprimoramento da forma de utilização das previsões de precipitação nos modelo de previsão de vazão. Estes dois últimos são propósitos científicos.

2 - MODELO ETA

De acordo com Chou et al. (2004) o modelo regional operacional do CPTEC, denominado ETA, é proveniente do National Centers for Environmental Prediction (NCEP). A resolução horizontal utilizada é de 40 km e a vertical de 38 camadas. A grade horizontal é a grade E de Arakawa, e a coordenada vertical é a coordenada η . O topo do modelo está em 25 hPa. A topografia é em forma de degraus discretos. O esquema de integração é por particionamento explícito ('split-explicit'). Os termos de ajuste devido às ondas de gravidade são tratados pelo esquema 'forward backward', e os termos de advecção pelo 'Euler-backward'. As parametrizações incluídas no modelo são: troca vertical turbulenta pelo esquema de Mellor-Yamada; radiação de onda longa segundo esquema de Lacis e Hansen e a radiação de onda curta pelo esquema de Fels e Schwarzkopf; a água no solo segue o esquema de Chen et al.; e as chuvas convectivas são produzidas pelo esquema Betts-Miller-Janjic. O domínio do modelo abrange a maior parte da América do Sul.

Este modelo utiliza como condição inicial a análise fornecida pelo NCEP e como condições de contorno as previsões do modelo global CPTEC, estas últimas são atualizadas a cada 6 horas. As tendências são distribuídas linearmente neste intervalo de 6 horas. A temperatura da superfície do mar é atualizada diariamente, persistindo a anomalia do início da integração, isto é a anomalia é adicionada à climatologia diária da temperatura da superfície do mar. O albedo e a umidade do solo inicial são obtidos de climatologia.

As previsões do modelo ETA são fornecidas em intervalos regulares de 6 horas em uma grade regular latitude-longitude de 0.4 graus de resolução. Os primeiros 15 dias das rodadas são excluídos das análises de previsão climática, pois neste período os campos de precipitação estão se ajustando.

3 – USO DA PREVISÃO DE PRECIPITAÇÃO EM MODELOS DE PREVISÃO DE VAZÃO

Em geral, o uso da informação de precipitação melhora o desempenho dos modelos de previsão de vazão. Entretanto, quando esta informação é a previsão de precipitação o grau de melhora dependerá da qualidade dessa previsão.

De uma forma geral, pode-se dividir o uso da informação de precipitação nos modelos de previsão de vazão em dois tipos:

- Utilização dos valores previstos de precipitação propriamente ditos, e
- Utilização de previsão de precipitação através da classificação de seus valores em categoria, por exemplo, precipitação alta, média e baixa.

A opção pela utilização da informação através da classificação em categoria traz a vantagem de diminuir o efeito da incerteza de previsão de precipitação nos modelos de previsão de vazão, uma vez que não é necessário que o modelo de previsão acerte o valor ocorrido, bastando que o valor previsto pertença ao intervalo ocorrido. A utilização de classes de precipitação implica na necessidade da determinação de limites máximos (limiar) para cada classe, que devem estar relacionados com a influência destes limites na vazão, o que dependerá das características de cada bacia.

4 - INDICES DE VERIFICAÇÃO DE DESEMPENHO DO MODELO

4.1 - Índice de Desempenho das previsões do tipo Acertou / Não Acertou

Os índices de desempenho do tipo Acertou/Errou procuram avaliar a capacidade do modelo de previsão em identificar corretamente a ocorrência ou não de precipitação. Neste trabalho adotou-se um conjunto de cinco (05) índices de acordo com Pinto et al. (2005). A construção destes índices tem como base tabelas de contingência, em que as previsões e observações diárias são classificadas como ocorrência ou não de precipitação média diária na bacia conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Tabela de contingência para o caso de $I = J = 2$.

PREVISÃO	OBSERVAÇÃO		TOTAL
	CHOVEU	NÃO CHOVEU	
CHOVER	A	B	A+B
NÃO CHOVER	C	D	C+D
TOTAL	A+C	B+D	T

Em que:

A – Número de eventos de previsão de ocorrência de precipitação que foram realmente observadas,

B – Número de eventos de previsão de ocorrência de precipitação que *não houve* observação de chuvas,

C – Número de eventos de previsão de não ocorrência de precipitação que *ocorreu* observação de chuvas,

D – Número de eventos de previsão de não ocorrência de precipitação que realmente *não* houve observação de chuvas e $T = (A+C) + (B + D) = (A + B) + (C + D)$.

Na Tabela 1 se fosse considerado o caso de **previsões perfeitas** todas as ocorrências ou não de precipitação, seriam corretamente previstas e, sendo assim, $b = c = 0$.

A classificação choveu / não choveu pode ser estendida para classes de precipitação, como por exemplo, ocorrência de chuva baixa, ocorrência de chuva média e ocorrência de chuva alta. Neste caso, dependendo do nº de classes de precipitação, a tabela de contingência passará a ter maior dimensão.

4.1.1 - *Percentual de acerto (H)*

Este índice é uma medida de precisão e representa o percentual de previsões corretas, independentemente de serem previstas a ocorrência ou não ocorrência do evento. O índice é calculado pela equação (1) e o valor ideal é igual a 1, ou seja, todas as previsões se concretizaram.

$$H = \frac{A + D}{T} \quad (1)$$

4.1.2 - *Probabilidade de detecção (POD)*

Este índice também é uma medida de precisão e representa o percentual de previsões de chuva em dias chuvosos. A equação (2) permite a estimativa desse índice e em caso de previsão perfeita, $POD = 1$.

$$POD = \frac{A}{A + C} \quad (2)$$

4.1.3 - *Razão de alarme falso (RAF)*

Este índice também é uma medida de precisão e representa o percentual de previsões de dias secos nos dias previstos como chuvosos. O RAF é calculado pela equação (3) sendo que, o valor ideal é igual a zero e o pior igual à unidade.

$$RAF = \frac{B}{A + B} \quad (3)$$

4.1.4 - *Índice Crítico de Sucesso (ICS)*

Este índice também é uma medida de precisão e é superior ao RAF e ao POD , pois é sensível tanto à ocorrência de precipitação não previstas (C) quanto à previsões de precipitação que não ocorreram (B). O índice é calculado pela equação (4), podendo variar de zero a um e, em caso de previsões perfeitas o seu valor é igual a 1.

$$ICS = \frac{A}{A + B + C} \quad (4)$$

4.1.5 - *Índice BIAS*

O índice *BIAS* representa a razão entre o número de previsões de ocorrência de precipitação com o número de dias realmente chuvosos. O *BIAS* é uma medida de tendência ou “vício” do sistema de previsão. O índice é calculado através da equação (5) e para sistemas sem viés o seu valor seria igual a 1. Em situações onde $BIAS > 1$ o sistema está superestimando o número de ocorrência de precipitação. E quando $BIAS < 1$ o sistema está subestimando o número de previsões de precipitação.

$$BIAS = \frac{A + B}{A + C} \quad (5)$$

4.2 - Estimativa do Erro da Previsão

Essa estimativa consiste na comparação entre os valores de precipitação previstos pelo modelo e as precipitações observadas. É importante salientar que essa análise também pode ser efetuada para análise de previsão de precipitação por classe para valores de precipitação acima (ou abaixo) de limiar estabelecido.

A estimativa da magnitude do erro das previsões pode ser obtida por vários métodos. Essa análise se restringe à utilização do cálculo do vício da previsão e da raiz do erro quadrático médio.

4.2.1 - Tendência (vício) (B_p)

O vício da previsão é calculado por:

$$B_p = \frac{\sum_{i=1}^{NTOT} P_i}{\sum_{i=1}^{NTOT} X_i} \quad (8)$$

em que,

P_i é a precipitação média prevista pelo modelo na bacia no dia i ,

X_i é a precipitação média observada na bacia no dia i e

$NTOT$ é o número total de observações ou previsões, no caso em que se adota a classe de previsão de precipitação corresponde ao número total acima de um limiar.

4.2.2 - Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático (RMSE)

A raiz do erro quadrático médio é obtido por:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{NTOT} (P_i - X_i)^2}{NTOT}} \quad (9)$$

em que,

P_i é a precipitação média prevista pelo modelo na bacia no dia i ,

X_i é a precipitação média observada na bacia no dia i

NTOT é o número total de observações, no caso em que se adota a classe de previsão de precipitação corresponde ao número total acima de um limiar.

A estatística para o cálculo do erro relativo de previsão é feita aplicando as seguintes expressões:

4.2.3 - Valor absoluto do erro relativo de previsão para o dia *i*

$$E^*_i = \frac{|P_i - X_i|}{X_i + \delta} \quad (10)$$

em que δ é um valor pequeno para tratar os casos de precipitação nula.

4.2.4 - Média do valor absoluto do erro relativo de previsão

$$\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^{NOBS} E^*_i}{NOBS} \quad (11)$$

Pela equação (11) pode-se observar que mesmos desvios relativamente pequenos quando divididos por valores observados muito baixos conduzem a erros relativos muito altos. Este comportamento do erro relativo torna esta estatística pouco adequada para séries que apresenta frequência alta de valores próximos de zero, como é o caso da precipitação. Neste estudo optou-se por não considerar este índice.

4.3 – Testes de Contingência

Para avaliar se há evidências de associação entre a frequência de valores previstos com os observados foi aplicado o teste qui-quadrado (χ^2). O teste do χ^2 é muito eficiente para avaliar a associação existente entre variáveis qualitativas (dados do tipo categórico). Sendo assim, este tipo de teste é interessante quando se utilizam classes de precipitação prevista. O princípio básico deste método não paramétrico é comparar as divergências entre as frequências observadas e as esperadas. As hipóteses a serem analisadas são:

- H_0 = Não existe evidência de dependência (associação) entre a ocorrência de valores previstos e observados, ou seja, os valores observados podem ocorrer de forma aleatória independentemente do valor previsto estar em determinada classe de precipitação.
- H_1 = Existe evidência de associação entre os valores previstos com os observados, ou seja, existe evidências que probabilidade de um valor observado está em determinada classe é condicionada a ocorrência da classe do valor previsto.

Para aplicação do teste foi definida a tabela de contingência utilizando as classes de precipitação. Como se utilizam 3 classes de precipitação (baixa, média e alta) a tabela de

contingência apresenta três linhas e três colunas, implicando no número de graus de liberdade igual a $v = (3-1)(3-1) = 4$. O nível de significância α foi fixado em 5%, obtendo um valor crítico $\chi^2_{crit} = 9,49$ (Morettin e Bussab, 2004). Portanto a região crítica do teste é $RC = [9,49; +\infty[$.

5 - ESTUDO DE CASO

5.1 – Área de estudo

A performance do modelo ETA foi testada na sub-bacia em que se encontra a Usina Hidrelétrica (UHE) de Foz do Areia, denominada "Usina Governador Bento Munhoz da Rocha Neto", pertencente a Companhia Paranaense de Energia – COPEL. Esta usina está situada no sudeste do estado do Paraná, na bacia hidrográfica do Rio Iguaçu. Este rio é um dos principais afluentes do curso médio do Rio Paraná. Desde suas nascentes, próximas a cidade de Curitiba, até sua Foz, no Rio Paraná, drena uma bacia de 66.800 km. Em Foz do Areia a área da bacia drenada é de 29.800 km.

5.2 - Tratamento das Previsões de Precipitação

Para calcular a chuva média diária prevista nas bacias foram identificadas, a partir do *software ArcGis*, as células que estavam contidas em cada uma das bacias e qual a área de influência destas células nas respectivas bacias. De forma a automatizar o cálculo das chuvas médias previstas foi desenvolvido um programa computacional que, a partir da identificação da bacia, da previsão obtida pelo modelo ETA (grade para América do Sul, resolução 40km x 40km) e do arquivo com os as áreas de influência, obtém as chuvas médias diárias previstas correspondentes.

A chuva média na bacia foi calculada como:

$$P_{med}(i) = \frac{\sum_{j=1}^n p(j, i) \times \text{peso}(j)}{\sum_{j=1}^n \text{peso}(j)} \quad (12)$$

em que:

$p(i, j)$ é a precipitação prevista no dia i (24h correspondente ao dia i) na célula j ,

$\text{peso}(j)$ é o peso da célula j na bacia, dado por:

$$\text{peso}(j) = \frac{Ab(j)}{A_{cel}} \quad (13)$$

em que : $Ab(j)$ é a área de influência da célula j na bacia, isto é, a área da célula j contida na bacia, A_{cel} é a área da célula (40km x 40km) e n o número de células.

5.3 – Análise dos Resultados

Os valores de previsão da precipitação foram disponibilizados pelo Operador Nacional do Sistema (ONS) a partir da primeira quarta-feira do ano de 1996 (03/01/1996) até a última quarta-feira do ano de 2001 (26/12/2001) com horizonte de 10 dias para cada semana de previsão. Sendo assim, os índices de desempenho foram calculados considerando-se os horizontes de previsão.

Os índices de desempenho da previsão foram calculados ano a ano, porém a análise concentrou-se no período completo de dados de previsão (1996 a 2001).

A Tabela 2 apresenta as principais estatísticas dos valores observados de precipitação média diária e dos valores previstos para os horizontes de 1 a 10 dias.

As medianas dos valores previstos são maiores que as dos valores observados e crescem com o horizonte da previsão, enquanto que, os desvios padrões e as assimetrias das previsões são menores que os observados e permanecem mais ou menos constantes ao longo dos horizontes de previsão. As médias previstas apresentam valores próximos às observadas qualquer que seja o horizonte. Este comportamento é esperado, uma vez que os modelos de previsão reproduzem, em geral, bem o valor médio e reduzem o grau de variabilidade dos valores observados.

Tabela 2 – Estatísticas das precipitações médias diárias observadas e previstas para os horizontes de 1 a 10 dias para Foz do Areia

Estatística	OBS.	PREVISTOS									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Média	5,18	5,80	4,85	4,98	4,87	5,52	6,00	6,38	5,75	6,09	5,66
Mediana	0,49	1,87	1,40	1,98	1,41	2,46	2,56	3,72	3,00	2,69	2,99
Desv. Pad.	9,55	8,04	6,72	6,80	6,93	7,30	8,19	7,75	7,04	7,29	6,86
Assimetria	2,90	1,66	1,59	1,63	2,10	1,55	1,97	1,51	1,48	1,41	1,37
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Máximo	87,63	38,52	31,91	31,64	41,13	37,25	43,76	37,70	36,96	38,11	31,69

No item 4.1 são especificados os valores ideais para cada índice de desempenho do tipo acertou/errou, ou seja, os valores que seriam obtidos no caso de previsão perfeita. Entretanto, no caso real estes valores não são atingidos, com o objetivo de ter uma base de comparação são apresentados na Tabela 3 os valores médios obtidos por Pinto et al. (2005), na análise das previsões de precipitação obtidas pelo modelo ETA (considerando uma grade de resolução 20km x 20km) na bacia do rio Doce.

Tabela 3 – Valores médios obtidos por Pinto et al. (2005) na bacia do rio Doce

ÍNDICE	VALOR
H	0,75
POD	0,81
RAF	0,34
ICS	0,57
BIAS	> 1
B _p	< 1
RMSE	30,2 mm

A Tabela 4 apresenta os 5 índices de desempenho para a análise chove / não chove descritos no item 4.1.

Tabela 4 – Índices que representam medidas de *precisão*, de *tendência* ou *vício* e de *habilidade* ou *destreza* da previsão do modelo para o total de precipitações observadas.

ÍNDICES	HORIZONTE DE PREVISÃO (DIAS)										MÉDIA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	
H	0,69	0,74	0,74	0,75	0,75	0,76	0,73	0,76	0,72	0,71	0,74
POD	0,76	0,87	0,87	0,88	0,86	0,86	0,86	0,86	0,84	0,85	0,85
RAF	0,15	0,19	0,19	0,18	0,17	0,16	0,19	0,15	0,19	0,21	0,18
ICS	0,67	0,72	0,73	0,73	0,73	0,74	0,72	0,75	0,70	0,70	0,72
BIAS	0,90	1,07	1,07	1,07	1,03	1,02	1,06	1,00	1,03	1,08	1,03

Na análise da Tabela 4 observa-se que o percentual de acerto (H), variou de 69% a 76%, com valor médio de 74%. Observa-se também, que a probabilidade de detecção de chuva (POD) foi superior a 76 % e o valor médio foi 85 %. Estes valores são compatíveis com os obtidos por Pinto et al. (2005).

A razão de alarme falso (RAF), variou de 15% a 21%, com um valor médio de 18%. O índice crítico de sucesso (ICS) variou de 67 % a 75%, com um valor médio de 72%. Estes valores são compatíveis com os obtidos por Pinto et al. (2005).

A medida de tendência (BIAS) indicou que houve uma superestimativa do numero de previsões de ocorrência de precipitação, uma vez que em média o índice BIAS foi maior que 1. Observa que apenas para precipitação prevista com horizonte de um dia que houve uma subestimativa.

Na Tabela 5 são apresentados os índices que avaliam a estimativa da magnitude dos erros sem considerar classificação da precipitação observada.

Tabela 5 – Índices que representam medidas de magnitude dos erros da previsão do modelo para o total de precipitações observadas.

ÍNDICES DE ERRO	HORIZONTE DE PREVISÃO (DIAS)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bp	1,00	0,83	0,75	0,95	0,94	1,08	1,03	0,99	1,00	0,81
RMSE	10,75	10,99	12,97	10,48	10,27	10,74	12,62	11,05	11,83	13,37

Em relação à magnitude do erro das previsões, o RMSE variou de 10,27 mm a 13,37 mm, tendo um valor médio de 11,51 mm. Observa-se através do cálculo do vício, Bp, que o modelo subestimou, em termos médios, as alturas de chuvas diárias previstas e que em média as alturas de chuvas previstas superior a 0 mm correspondem a 94 % dos valores observados dentro do intervalo.

Tendo como base o critério para classificação da precipitação definido nos estudos realizados no desenvolvimento do modelo de previsão de vazão PREVIVAZH (CEPEL (2005); Costa et al (2004); Costa et al. (2006)) para a sub-bacia do rio Iguaçu a montante da UHE Foz do Areia, considerou-se três classes de precipitação:

- Precipitação baixa no dia t: precipitação menor que 7 mm
- Precipitação média no dia t: precipitação entre 7 mm e 20 mm
- Precipitação alta no dia t: precipitação superior a 20 mm.

A Tabela 6 apresenta as principais estatísticas dos valores observados e previstos de precipitação média diária superiores a 0 mm, sem considerar classificação da precipitação média observada (S/Classificação) e considerando a classificação para as precipitações média observadas. Nesta análise aplicaram-se os limites das classes apenas aos valores observados, sendo então, considerado no cálculo das estatísticas os valores observados e previstos de precipitação média diária correspondente aos dias em que a precipitação média diária observada foi classificada como baixa, média ou alta.

Pode-se observar que as estatísticas das previsões, ao contrário das observadas, são pouco sensíveis à classificação das precipitações observadas em todas as bacias.

Tabela 6 – Estatísticas das precipitações médias diárias observadas e previstas para Foz do Areia

Estatística	S/Classificação		0 a 7 mm		7 a 20 mm		> 20 mm	
	OBS.	PREV.	OBS.	PREV.	OBS.	PREV.	OBS.	PREV.
Média	6,56	6,12	1,44	5,18	12,21	8,05	32,53	9,02
Mediana	1,70	3,12	0,45	1,90	11,57	5,99	28,62	6,57
Desv. Pad.	10,38	7,47	1,93	6,94	3,58	8,04	11,75	8,44
Assimetria	2,61	1,54	1,41	1,67	0,45	1,38	1,72	1,11
Mínimo	0,01	0,00	0,01	0,00	7,14	0,00	20,07	0,00
Máximo	87,63	43,76	7,00	41,13	20,00	41,56	87,63	43,76

Na Tabela 7 são apresentados os valores dos 5 índices definidos no item 3 considerando a ocorrência de precipitação na classe baixa (entre 0 e 7 mm) e fora desta classe. Assim, na Tabela 1

a coluna “observação choveu” corresponde a “ocorrência de chuva pertencente à classe baixa” e a coluna “observação não choveu” corresponde a “ocorrência de precipitação não pertencente à classe baixa”, enquanto que, a linha “previsão chover” corresponde a “previsão de chuva pertencente à classe baixa” e a linha “previsão de não chuva” corresponde a “previsão de chuva não pertencente à classe baixa”.

Tabela 7 - Índices que representam medidas de *precisão*, de *tendência* ou *vício* e de *habilidade* ou *destreza* da previsão do modelo considerando a ocorrência de precipitação na classe baixa e fora desta classe.

ÍNDICES	HORIZONTE DE PREVISÃO (DIAS)										MÉDIA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
H	0,48	0,54	0,56	0,51	0,53	0,53	0,49	0,54	0,51	0,52	0,52
POD	0,43	0,59	0,62	0,57	0,56	0,53	0,47	0,55	0,46	0,53	0,53
RAF	0,40	0,42	0,44	0,44	0,42	0,39	0,44	0,36	0,43	0,47	0,42
ICS	0,33	0,42	0,42	0,39	0,40	0,40	0,34	0,42	0,34	0,36	0,38
BIAS	0,72	1,01	1,11	1,02	0,95	0,88	0,83	0,87	0,80	0,99	0,92

Na análise da Tabela 7 observa-se que o percentual de acerto (H), variou de 48 % a 56 %, com um valor médio de 52 %. Observa-se também que a probabilidade de detecção (POD) foi superior a 43 % e o valor médio foi de 53 %. A razão de alarme falso (RAF), variou de 36 % a 47 %, com um valor médio de 42 %. O índice crítico de sucesso (ICS) variou de 33 % a 42 %, com um valor médio de 38 %. Comparando estes valores com os apresentados na Tabela 4 pode-se notar que a performance do modelo é melhor quando se considera apenas a ocorrência ou não de chuva, do que quando se deseja identificar a ocorrência de chuva no intervalo 0-7mm.

A medida de tendência (BIAS) indicou que houve uma subestimativa do número de previsões de ocorrência de precipitação dentro do intervalo de 0 a 7 mm, uma vez que em média o índice BIAS foi menor que 1. Observa-se que apenas as precipitações previstas com horizonte de 2, 3 e 4 dias apresentaram superestimativa.

Na Tabela 8 são apresentados os índices que avaliam a estimativa dos erros para precipitação observada inferior a 7 mm (Chuva baixa). Em relação à magnitude do erro das previsões, o RMSE variou de 6,93 mm a 8,71 mm, tendo um valor médio de 7,78 mm. Observa-se que o horizonte que apresentou o menor erro médio quadrático foi o da previsão com horizonte de 2 dias com o RMSE de 6,93 mm.

Observa-se através do cálculo do vício, B_p , que o modelo superestimou, em termos médios, as alturas de chuvas diárias previstas e que em média as alturas de chuvas previstas dentro do intervalo de 7 a 20 mm correspondem a 3,6 vezes os valores observados dentro do intervalo.

Tabela 8 - Índices que representam medidas de magnitude dos erros da previsão do modelo para precipitações observadas no intervalo de 0 a 7 mm.

ÍNDICES DE ERRO	HORIZONTE DE PREVISÃO (DIAS)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bp	3,31	2,84	3,17	3,37	3,60	3,76	4,46	3,89	3,80	3,92
RMSE	7,44	6,93	7,02	7,87	7,52	8,35	8,71	7,64	8,46	7,83

Na Tabela 9 são apresentados os valores dos 5 índices definidos no item 4.1 considerando a ocorrência de precipitação na classe média (entre 7 e 20 mm) e fora desta classe. Assim, na Tabela 1 a coluna “observação choveu” corresponde a “ocorrência de chuva pertencente a classe média” e a coluna “observação não choveu” corresponde a “ocorrência de chuva não pertencente a classe média”, enquanto que, a linha “previsão chover” corresponde a “previsão de chuva pertencente a classe média” e a linha “previsão de não chuva” corresponde a “previsão de chuva não pertencente a classe média”.

Tabela 9 - Índices que representam medidas de *precisão*, de *tendência* ou *vício* e de *habilidade* ou *destreza* da previsão do modelo considerando a ocorrência de precipitação na classe média e fora desta classe.

ÍNDICES	HORIZONTE DE PREVISÃO (DIAS)										MÉDIA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
H	0,70	0,76	0,75	0,70	0,72	0,70	0,65	0,70	0,67	0,69	0,70
POD	0,34	0,47	0,40	0,26	0,28	0,30	0,35	0,36	0,40	0,41	0,36
RAF	0,78	0,70	0,64	0,84	0,82	0,83	0,82	0,78	0,80	0,72	0,77
ICS	0,16	0,22	0,24	0,11	0,12	0,12	0,14	0,16	0,15	0,20	0,16
BIAS	1,54	1,55	1,10	1,59	1,58	1,71	1,98	1,60	2,02	1,48	1,61

Na análise da Tabela 9 observa-se que o percentual de acerto (H), variou de 65 % a 76 %, com um valor médio de 70 %. Observa-se também que a probabilidade de detecção de chuva dentro do intervalo de 7 a 20 mm (POD) foi superior a 26 % e o valor médio foi de 36 %. A razão de alarme falso (RAF), variou de 64 % a 84 %, com um valor médio de 77 %. Apesar dos valores do percentual de acerto serem elevados, os valores de probabilidade de detecção são baixos, isto se deve provavelmente devido o baixo número de coincidência entre as previsões de precipitação no intervalo de 7 a 20 mm com a ocorrência de precipitações neste intervalo (célula A da Tabela 1), conduzindo ao valor baixo do POD. Por outro lado, para que o valor do H seja elevado à coincidência entre a previsão de chuva fora do intervalo com a ocorrência de chuva fora do intervalo deve ser alta (célula D da Tabela 1). Além do mais, o índice crítico de sucesso (ICS) variou de 11 % a 24 %, com um valor médio de 16 %. Comparando com os resultados da Tabelas 4 o índice de percentual de acerto estão muito próximos, porém o índice de probabilidade de detecção é bem inferior quando se utiliza esta classificação.

A medida de tendência (BIAS) indicou que houve uma superestimativa do número de previsões de ocorrência de precipitação dentro do intervalo de 7 a 20 mm, uma vez que em média o índice BIAS foi maior que 1. Observa-se que para todos os horizontes de previsão houve superestimativa do número de ocorrências de previsão.

Na Tabela 10 são apresentados os índices que avaliam a estimativa dos erros para o intervalo de precipitação observada entre 7 e 20 mm (chuva média). Em relação à magnitude do erro das previsões, o RMSE variou de 8,62 mm a 11,33 mm, tendo um valor médio de 9,69 mm. Observa-se que o horizonte que apresentou o menor erro médio quadrático foi o da previsão com horizonte de 3 dias com o RMSE de 8,62 mm.

Observa-se através do índice Bp, que o modelo subestimou, em termos médios, as alturas de chuvas diárias previstas e que em média as alturas de chuvas previstas dentro do intervalo de 7 a 20 mm correspondem a 66 % dos valores observados dentro do intervalo.

Tabela 10 - Índices que representam medidas de magnitude dos erros da previsão do modelo para precipitações observadas no intervalo de 7 a 20 mm.

ÍNDICES DE ERRO	HORIZONTE DE PREVISÃO (DIAS)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bp	0,78	0,61	0,71	0,62	0,57	0,69	0,72	0,65	0,59	0,62
RMSE	10,87	8,74	8,62	9,95	9,27	11,33	10,24	10,21	8,68	8,96

Na Tabela 11 são apresentados os valores dos 5 índices definidos no item 4 considerando a ocorrência de precipitação na classe alta (superior a 20 mm) e fora desta classe. Assim, na Tabela 1 a coluna “observação choveu” corresponde a “ocorrência de chuva pertencente à classe alta” e a coluna “observação não choveu” corresponde a “ocorrência de precipitação não pertencente à classe alta”, enquanto que, a linha “previsão chover” corresponde a “previsão de chuva pertencente à classe alta” e a linha “previsão de não chuva” corresponde a “previsão de chuva não pertencente a classe alta”.

Tabela 11 - Índices que representam medidas de *precisão*, de *tendência* ou *vício* e de *habilidade* ou *destreza* da previsão do modelo considerando a ocorrência de precipitação na classe alta e fora desta classe.

ÍNDICES	HORIZONTE DE PREVISÃO (DIAS)										MÉDIA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
H	0,88	0,89	0,88	0,90	0,89	0,88	0,86	0,88	0,88	0,89	0,88
POD	0,14	0,00	0,04	0,13	0,24	0,16	0,04	0,05	0,04	0,09	0,09
RAF	0,86	1,00	0,94	0,75	0,63	0,81	0,95	0,94	0,94	0,87	0,87
ICS	0,07	0,00	0,03	0,09	0,17	0,10	0,02	0,03	0,03	0,06	0,06
BIAS	1,00	0,57	0,70	0,50	0,66	0,84	0,88	0,82	0,74	0,65	0,73

Na análise da Tabela 11 observa-se que o percentual de acerto (H), variou de 88 % a 90 %, com um valor médio de 88 %. Porém, observa-se também que o valor médio da probabilidade de detecção de chuva (POD) maior que 20 mm é muito baixo, 9 %. O valor alto de índice H indica que a soma dos acertos (células A e D da Tabela 1) é alta, porém o baixo valor do índice POD indica que o valor de coincidências entre a previsão de valores no intervalo e a ocorrência de valores no intervalo (célula A da Tabela 1) é pequeno em relação a coincidências entre a previsão de valores fora do intervalo e a ocorrência de valores no intervalo (célula C da Tabela 1), o que conduz ao alto valor médio da razão de alarme falso (RAF). O índice crítico de sucesso (ICS) apresentou o valor médio de 6 %.

A medida de tendência (BIAS) indicou que houve uma subestimativa do número de previsões de ocorrência de precipitação de 20 mm, uma vez que em média o índice BIAS foi menor que 1. Observa-se que apenas para o horizonte de 1 dia o índice foi igual a 1.

A performance do modelo para esta classe de precipitação mostrou-se bastante inferior às demais, principalmente a consideração apenas chove e não chove.

Na Tabela 12 são apresentados os índices que avaliam a estimativa dos erros de previsão considerando a precipitações observadas superiores a 20 mm. Em relação à magnitude do erro das previsões, o RMSE variou de 20,63 mm a 35,42 mm, tendo um valor médio de 27,10 mm. Observa-se que o horizonte que apresentou o menor erro médio quadrático foi o da previsão com horizonte de 6 dias com o RMSE de 20,53 mm.

Tabela 12 - Índices que representam medidas de magnitude dos erros da previsão do modelo para precipitações observadas superiores a 20 mm.

ÍNDICES DE ERRO	HORIZONTE DE PREVISÃO (DIAS)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bp	0,30	0,22	0,19	0,33	0,43	0,43	0,25	0,20	0,21	0,21
RMSE	25,02	27,63	35,30	21,83	20,63	20,53	29,85	26,59	28,14	35,42

Observa-se através do cálculo do vício, Bp, que o modelo subestimou, em termos médios, as alturas de chuvas diárias previstas e que em média as alturas de chuvas previstas superiores a 20 mm correspondem a 28 % dos valores observados dentro do intervalo.

A Figura 1 apresenta a evolução dos índices POD e ETS para diferentes limiares de precipitação e pode-se observar a queda na performance destes índices na bacia à montante da UHE Foz do Areia. Este comportamento é similar ao obtido pelo CPTEC na análise destes mesmos índices para a América do Sul (gráficos superiores da Figura 1).

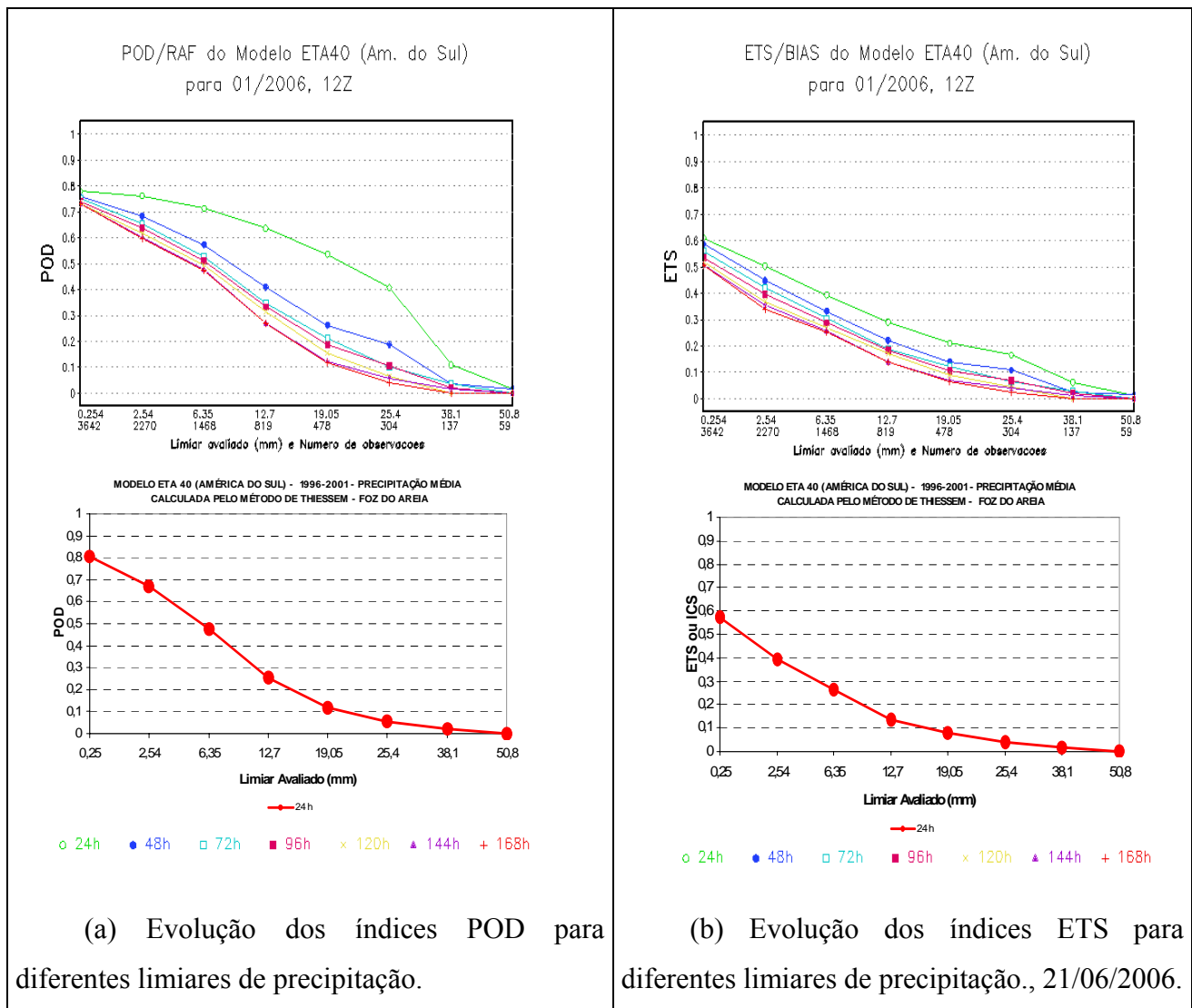


Figura 1 – Comparação dos índices POD e ETS para diferentes limiares de precipitação média. Os gráficos superiores foram produzidos pelo CPTEC (Fonte:www.cptec.inpe.br) e os inferiores referem-se a este estudo.

A Tabela 13 apresenta o número de valores observados e esperados (entre parêntesis) de precipitação prevista e observada dentro de cada classe. Para estes valores a estatística qui-quadrado encontrado foi $\chi^2 = 112,42$. Como esse valor pertence à região crítica, rejeitamos H_0 , ou seja, não se pode afirmar que não existe dependência entre os fatores “ocorrência de precipitação observada” e “ocorrência de precipitação prevista”.

Tabela 13 – Valores observados e esperados da ocorrência de precipitação prevista e observada nas classes para a bacia de Foz do Areia.

CLASSES DE PRECIPITAÇÃO		PRECIPITAÇÃO OBSERVADA			TOTAL
		BAIXA (< 7 mm)	MÉDIA (7–20 mm)	ALTA (> 20 mm)	
PRECI. PREVIS TA	BAIXA (< 7 mm)	1783 (1669)	272 (342)	122 (165)	2177
	MÉDIA (7 – 20 mm)	518 (605)	178 (124)	93 (59)	789
	ALTA (> 20 mm)	107 (133)	44 (27)	23 (13)	174
	TOTAL	2408	494	238	3140

6 – CONCLUSÃO

Os resultados obtidos mostram que a performance das previsões de precipitação média diária na bacia deste estudo (montante da UHE Foz do Areia), calculadas a partir das previsões de precipitação geradas pelo modelo ETA, é boa quando considera apenas os índices de desempenho do tipo chove / não chove. Este comportamento é homogêneo independente do horizonte da previsão, como pode ser observado através da análise dos cinco índices utilizados neste estudo. O comportamento destes índices foram similares aos obtidos por Pinto et al.(2005) para a bacia do rio Doce para o caso chove / não chove.

Em relação à magnitude do erro de previsão, o índice B_p mostrou uma tendência à subestimação, no entanto, apresentando em alguns horizontes valores superestimados. O RMSE ficou entre 10 e 14 mm, em geral, da mesma ordem ou superior ao desvio padrão das precipitações observadas.

A análise dos cinco índices de desempenho do tipo acertou/errou mostram queda na performance do modelo de previsão de precipitação quando estes foram calculados considerando as classes de precipitação. O pior desempenho das previsões de precipitação foi quando se considerou a ocorrência de precipitação na classe de precipitação alta e fora desta classe. O valor do índice probabilidade de detecção (POD) decaiu de 85% até 9%.

Em relação ao RMSE para as classes de precipitação baixa e média os valores variaram entre 6 e 11 mm, enquanto que para a classe de precipitação alta os valores variaram entre 20 e 35 mm, todos eles bastante superiores aos desvios padrão das observações dentro destas classes. O índice B_p mostrou uma tendência a superestimação na classe de precipitação baixa, e subestimação nas classes de precipitação média e alta.

A partir dos resultados apresentados no teste qui-quadrado observa-se que a hipótese de independência entre os valores observados e previsto é recusada. Esta afirmação é comprovada quando é analisado o nível descritivo do teste ou p-valor que é a probabilidade de observar dados

tão extremos quanto os obtidos caso a hipótese nula seja verdadeira. O p-valor foi menor que 0,1%, ou seja, tem-se a indicação que H_0 deve ser rejeitada.

Conclui-se, portanto, que o poder das previsões do CPTEC para prever a precipitação média diária parece limitado, a não ser para a detecção de dias chuvosos ou não chuvosos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético SPE/MME pelo financiamento desta pesquisa através do convênio 025/2005.

BIBLIOGRAFIA

CEPEL (2005). *Previsão de aflúências semanais considerando: apenas as aflúências semanais passadas e incorporando as vazões diárias passadas e a informação da precipitação futura*, Relatório Técnico, DEA/CEPEL.

CHOU, S. C. ; BUSTAMANTE, J. ; GOMES, J. L. (2004) . *Previsões sazonais utilizando o modelo ETA*. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza. Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Rio de Janeiro : Sociedade Brasileira de Meteorologia. v. 1

COSTA, F. S.; DAMÁZIO, J. M; DENÍCIO, S. M. (2004). *Uso de Informação Quantitativa de Precipitação na Previsão de Vazões Diárias Através de uma Abordagem Estocástica*, In XXI Congresso Latinoamericano de Hidráulica São Pedro, São Paulo, Brasil.

COSTA, F. S.; DAMÁZIO, J. M; DENÍCIO, S. M., MACEIRA, M.E.P. (2006). *Previsão de aflúências semanais para a elaboração do planejamento da operação de curto prazo considerando a informação de precipitação e as últimas aflúências diárias observadas*, X SEPOPE - X Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning.

MORETTIN, P.A.; BUSSAB, W.O (2004). *Estatística Básica*, 5ª edição, Editora Saraiva, São Paulo.

PINTO, E.J.A.; DAVIS, E.G.(2005). *Verificação das Previsões de Precipitação Realizadas com o Modelo MM5 para o Sistema de Alerta de Cheias da Bacia do Rio Doce*. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH: João Pessoa, 2005.

WILKS, D. S. (1995). *Statistical methods in the atmospheric sciences*. Academic Press, 467 p