

## Avaliação da Previsão de Precipitação Utilizada na Determinação das Vazões Afluentes em Reservatórios como Ferramenta de um Sistema de Gestão de Emergências em Barragens

Elisa Patricia Macedo\*, José Rodolfo Scarati Martins\*

elisa\_patricio@yahoo.com.br; scarati@usp.br

Recebido:25/06/13 - revisado:04/07/13 - aceito: 14/10/13

---

### RESUMO

*Este artigo apresenta estudos elaborados quanto à utilização de modelos de previsão atmosférica e hidrológicos para previsão de vazões, tendo em vista a segurança de barragens. Isso porque esses dois modelos são importantes dentro de um sistema de previsão de acidentes por meio da interação com os modelos hidráulicos e digitais de terreno tendo em vista a produção de relatórios de impacto e mapas de inundação. Os modelos estudados foram o atmosférico Eta, operado pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) e o hidrológico SMAP. A avaliação foi realizada nas bacias dos rios Pardo e Mogi Guaçu, sendo realizada em três etapas: na primeira foi realizada a comparação direta entre os dados de previsão de precipitação, para um e cinco dias, e os observados nos postos pluviométricos do DAEE; na segunda, a comparação foi realizada de forma semelhante a anterior considerando média de um período de cinco dias e na terceira, confrontou-se as vazões resultantes das previsões de precipitação e dos dados pluviométricos e fluviométricos observados. Os resultados obtidos por meio dessas avaliações mostram que os dados de previsão de precipitação não são adequados à utilização de previsão vazões voltada para a área de segurança de barragens nas bacias analisadas.*

**Palavras-chave:** Modelos Eta e SMAP, segurança de barragem, modelagem matemática.

---

### INTRODUÇÃO

A preocupação com a segurança das barragens tem crescido de forma geral tanto em função do número de acidentes registrados como pela magnitude dos impactos e prejuízos a eles associados (BALBI, 2008). Esta atenção deve-se, em parte, à maior cobertura dos órgãos de imprensa, mas principalmente pelo aperfeiçoamento das instituições e pelo avanço da sociedade nas questões relacionadas ao risco de desastres e à preservação. No Brasil, a recente legislação aprovada na área de segurança de barragens tem chamado a atenção dos técnicos para o tema, motivando grandes progressos em termos de desenvolvimento de tecnologias e procedimentos. Em setembro de 2010, a lei nº 12.334 (BRASIL, 2010) estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e criou o Sistema Nacional de Segurança de Barragens (SNSB), configurando-se como marco institucional do setor. Na esteira deste instrumento, surgiram as regulamentações voltadas

para a definição dos requisitos mínimos exigidos dos empreendedores e operadores de barragens (BRASIL, 2011) (BRASIL, 2012), que preveem a implantação e o aperfeiçoamento de sistemas de segurança nos barramentos e, em particular, para a elaboração dos Planos de Ações Emergenciais, também conhecidos como PAE.

Estes planos resultam da compilação de uma série de instrumentos de planejamento, critérios e regras relacionadas com a operação e manutenção da barragem e suas estruturas correlatas, monitoramento civil, eletromecânico e hidro meteorológico, previsão de impactos, cadeia de informação e decisão, sistemas de comunicação e alerta e por fim estratégias de socorro e mitigação de danos.

A elaboração dos PAEs, no seu quesito de previsão de impactos hidrológicos e hidráulicos, entendidos como aqueles que afetam a segurança, causando inundações e, conseqüentemente, danos aos vales a jusante (VISEU, 2006), apoia-se fortemente em modelos matemáticos que permitam a previsão das vazões afluentes, a simulação da operação regular e emergencial das estruturas e barragens, a propagação das ondas de cheia e por fim o mapeamento de áreas inundáveis associado aos bancos de dados sobre o uso do solo e ocupações.

---

\*Universidade de São Paulo, Escola Politécnica

Este artigo, que resulta da consolidação de experiências de desenvolvimento destas ferramentas no Laboratório de Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, tem por objetivo apresentar e discutir uma das componentes do ferramental para avaliação de impactos a jusante de barragens, que trata da previsão de afluências a partir da previsão da precipitação.

Diversos trabalhos exploram esse arranjo de modelos para previsão de vazões com finalidades diversas além do tema segurança de barragens, tendo sido aplicados em estudos de caso no Brasil (KRUK *et al.*, 2013, COLLISCHONN *et al.*, 2005) e em outros países (SHIH *et al.*, 2012, HABETS, 2004). Além disso, esse esquema também foi utilizado considerando a previsão de precipitação proveniente do uso de radares (PIMAN, BABEL, 2013, TEAGUE *et al.*, 2013). Com relação a estudos relacionados ao tema barragens, tal linha de trabalho já encontra paralelo na pesquisa apresentada em Andreolli *et al.* (2006), que utilizou um modelo hidrológico distribuído acoplado ao modelo meteorológico ARPS (Advanced Regional Prediction System) também para previsão de vazões afluentes a reservatórios hidroelétricos.

Em sua concepção, um sistema de modelagem de situações de emergência (Figura 1) emprega inicialmente um modelo atmosférico regional de mesoescala (modelos cuja resolução horizontal pode variar desde 1 a 100 km) para a previsão de precipitações sobre as bacias contribuintes aos reservatórios e trechos fluviais situados a jusante das barragens. Esta informação alimenta um modelo de transformação chuva-vazão, cuja função é determinar as contribuições nos rios e reservatórios. Na sequência, empregam-se modelos hidrodinâmicos de simulação de reservatórios, também chamados de 0-dimensionais, e canais (uni-dimensionais), para determinação das vazões e dos níveis d'água resultantes dos eventos, cenários de previsão e estudos de simulação. Por fim, sistemas de geoprocessamento integram aos modelos digitais de terreno, imagens e bancos de dados sobre a ocupação das áreas para produzir relatórios detalhados contendo informações destinadas aos tomadores de decisão, operadores e agentes dos sistemas de socorro e resgate. Dentre as informações que podem ser obtidas, destacam-se os instantes de impacto dos pontos de interesse, as profundidades atingidas além da identificação dos acessos e rotas de fuga para eventuais evacuações ou resgate como visto em Uemura *et al.* (2011), Macedo *et al.* (2012), Castro *et al.* (2011) e Lucci *et al.* (2011).

Essa organização de modelos foi empregada em um estudo de caso composto por quatro barragens nos rios Pardo e Mogi Guaçu, localizados no Estado de São Paulo, e constitui o protótipo de um sistema de gestão de emergências em barragens (MACEDO *et al.*, 2013; CASTRO *et al.* 2013).

Para verificação deste protótipo, que é o sistema formado pelo conjunto de modelos, optou-se por avaliar a componente de previsão de precipitação (Modelo Eta) e vazão (Modelo SMAP - Soil Moisture Accounting Procedure). Essa avaliação é importante, sendo realizada em outros estudos (KITZMILLER *et al.*, 2013) (MOBLEY *et al.*, 2012) e (GOLDING, 2000).

Tal avaliação foi realizada de três formas: comparação direta dos dados previstos, com 1 e 5 dias de antecedência, com os dados observados; comparação da média dos dados previstos, com 1 e 5 dias de antecedência, com dados observados e comparação das vazões observadas com as calculadas por meio da utilização dos dados de precipitação previstos e observados nos postos pluviométricos. Os dados observados foram coletados durante uma estação de cheia.

## PREVISÃO DE PRECIPITAÇÃO

Considerando-se o sistema de modelos utilizados, a previsão de precipitação é o dado que dá início à simulação. Para melhor entender como essa simulação ocorre, apresenta-se, por meio do esquema na Figura 1 a seguir, como os modelos se relacionam.

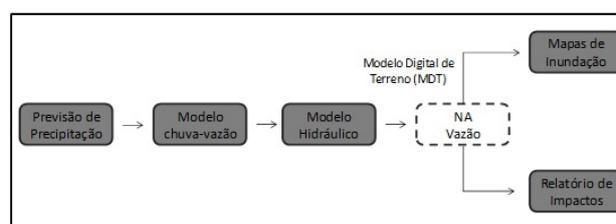


Figura 1 – Sequenciamento de modelos utilizados e seus produtos.

A previsão de precipitação é obtida por meio do modelo Eta (MESSINGER, JANJIC, NICKOVIC, & DEAVEN, 1988), que alimenta o modelo hidrológico SMAP (LOPES, BRAGA, & CONEJO, 1982), sendo que este, por sua vez, ali-



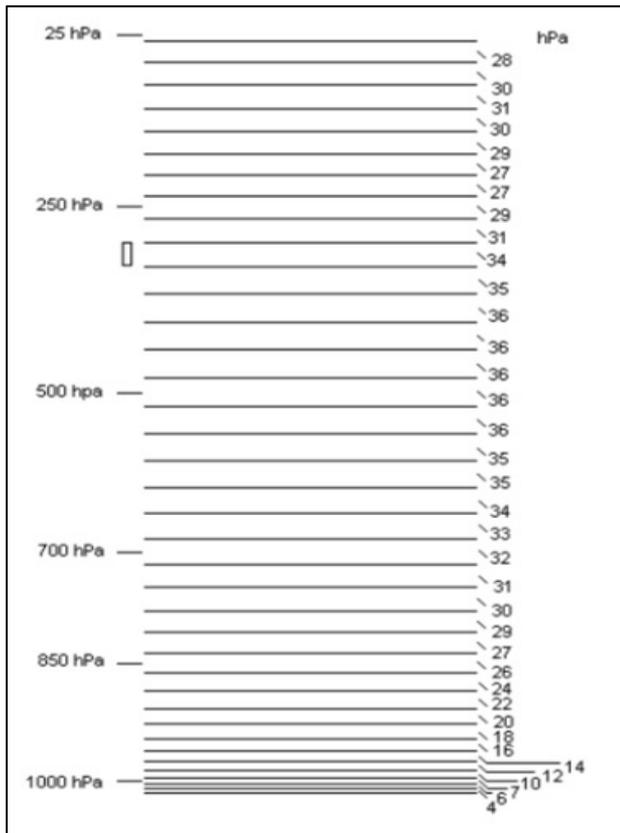


Figura 3 – Distribuição vertical das camadas atmosféricas no modelo Eta de 38 níveis. Adaptado de Black(1994)

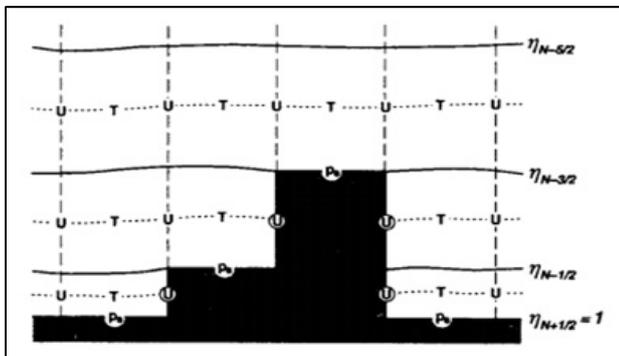


Figura 4 – Seção vertical do modelo Eta. (BLACK, 1994)

Na ilustração, a letra T representa as variáveis de massa, a letra U representa as componentes horizontais do vento e  $p_s$  é a pressão na superfície.

Com relação à condição de início, tem-se que esta é obtida por meio de uma análise cíclica. Assim, uma estimativa inicial é ajustada de acordo com as observações do sistema de análise regional

RPSAS (Regional Physical Space Analysis System) (ESPINOZA, et al., 2002). Os erros entre as estimativas e os valores calculados são minimizados utilizando-se interpolação estatística. Além disso, o modelo é alimentado com as previsões do modelo global, sendo que nos contornos, a atualização do modelo global ocorre a cada 6 horas.

Para a comparação direta entre os dados de previsão provenientes do Eta e os dados observados, foram tomadas quadrículas de precipitação homogêneas aos postos pluviométricos. Com relação ao horizonte de previsão dos dados analisados, foram avaliadas as previsões com antecedência de 1 e 5 dias.

Na avaliação do protótipo, foram considerados os dados observados dos postos C4-033, C4-043 e C4-075, operados pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) (SIGRH, 2011). A localização destes postos é demonstrada na Figura 5.

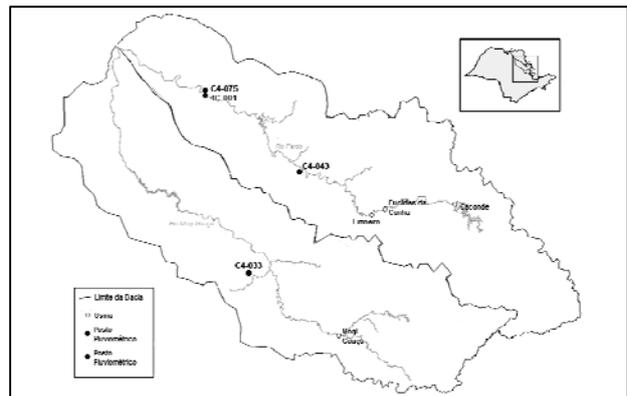


Figura 5 – Localização dos postos pluviométricos na Bacia do Rio Pardo, operados pelo DAEE.

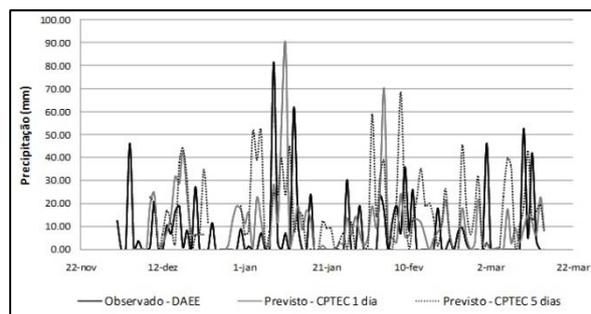
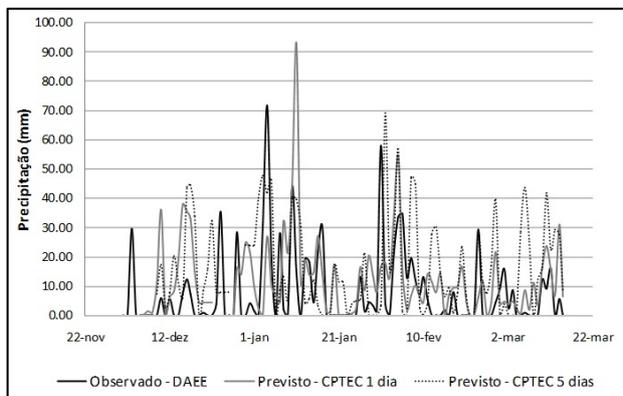
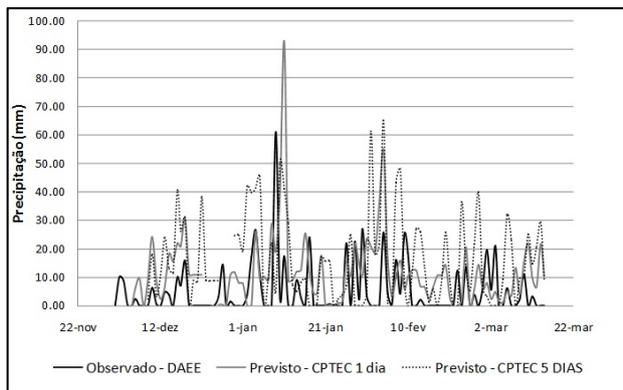


Figura 6 – Comparação da precipitação observada e prevista pelo Modelo Eta com 1 e 5 dias de antecedência para o posto C4-033.

O período analisado corresponde ao intervalo dezembro de 2012 a fevereiro de 2013, representativo do período de chuvas para região, por isso com maior interesse para o uso de previsões de curtíssimo prazo como proposto no presente artigo. A comparação direta dos dados resultou nos gráficos das Figuras 6, 7 e 8:



**Figura 7 – Comparação da precipitação observada e prevista pelo Modelo Eta com 1 e 5 dias de antecedência para o posto C4-043.**

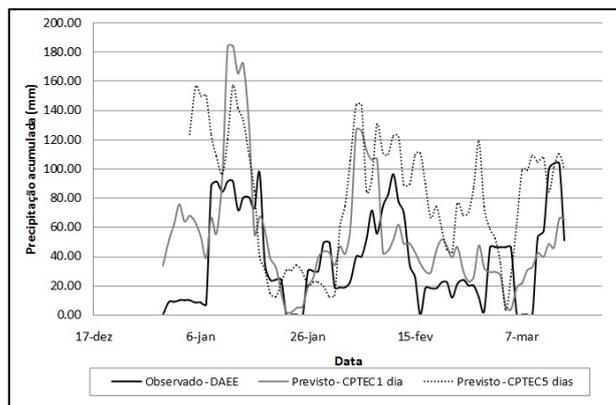


**Figura 8 – Comparação da precipitação observada e prevista pelo Modelo Eta com 1 e 5 dias de antecedência para o posto C4-075.**

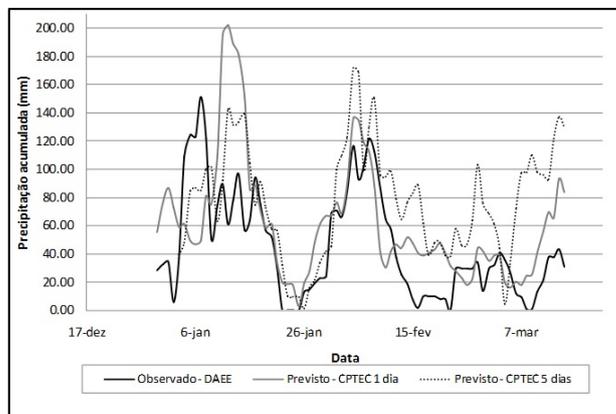
Verifica-se, através da análise dos valores pontuais, que o modelo atmosférico de previsão de precipitação não apresenta boa resposta quando comparado aos valores observados de terra, respeitando apenas a indicação de tendência de precipitação maior ou menor para o dia. Com relação às diferenças encontradas nos casos expostos, verificou-se que os valores previstos de precipitação apresentaram grandes discrepâncias, uma vez que para pre-

visão de 1 dia, 75% dos valores apresentam diferenças de até 16 mm e, para previsão de 5 dias, este valor é de 17 mm.

Uma tentativa para verificar se haveria possibilidade de melhora na resposta de modelo para a região estudada foi considerar o valor médio de 5 dias de previsão de 1 e de 5 dias de antecedência. O procedimento realizado foi de comparar a média destes dias com a média os valores observados para os mesmos dias. Os resultados da comparação entre os valores assim tratados são apresentados nos gráficos das Figuras 9, 10 e 11.



**Figura 9 – Comparação da precipitação média de 5 dias observada e prevista pelo CPTEC com 1 e 5 dias de antecedência para o posto C4-033.**



**Figura 10 – Comparação da precipitação média de 5 dias observada e prevista pelo CPTEC com 1 e 5 dias de antecedência para o posto C4-043.**

Os resultados indicam uma diminuição nas discrepâncias, mas 75% dos valores médios de previsão de 1 dia de antecedência ainda apresentam diferenças de até 9 mm. Com relação à média dos valo-

res previstos com 5 dias de antecedência, 75% dos valores apresentam erros de até 11 mm. Essa melhora ocorre uma vez que ao se utilizar as médias, o erro é disperso entre os dias considerados, melhorando os resultados. Dessa forma, verifica-se que o modelo Eta utilizado pelo CPTEC apresenta uma resposta melhor para a previsão do volume médio diário precipitado em períodos mais longos quando comparados com a previsão dos valores diários de precipitação.

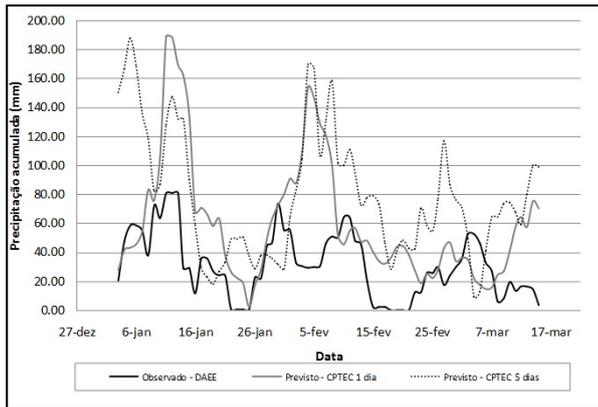


Figura 11 – Comparação da precipitação média de 5 dias observada e prevista pelo CPTEC com 1 e 5 dias de antecedência para o posto C4-075.

## PREVISÃO DE VAZÕES

O modelo SMAP (LOPES *et. al.*, 1982) é um modelo hidrológico determinístico que considera as diferentes fases do ciclo hidrológico através de reservatórios representados por meio de equações características. O modelo tem sido utilizado em diferentes estudos onde existe o interesse na previsão de vazões afluentes a partir de estimativas de precipitação obtidas de diversas fontes, como visto em (FADIGA *et al.*, 2008). Desta forma, ao se realizar a calibração do modelo, na verdade determina-se o tamanho dos reservatórios e os coeficientes relacionados à passagem do volume de um reservatório para o outro. O encadeamento entre os reservatórios e a separação dos escoamentos podem ser melhor entendidos analisando-se a Figura 12 a seguir.

Assim, a partir da previsão de precipitação no início da simulação podem ser obtidas as vazões de contribuição da bacia. Para calibração e verificação, os valores calculados são comparados diretamente com as vazões observadas nos postos fluviométricos de referência. Em caso de composição de escoamentos de diferentes sub-bacias, o modelo

pode ser aplicado à rede de fluxo que representa a bacia.

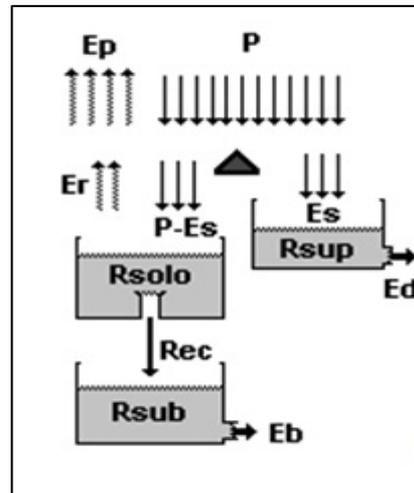


Figura 12 – Processos modelados no SMAP em sua versão diária (FADIGA *et al.*, 2008)

Para verificação do modelo piloto aplicado à bacia do Rio Pardo, foram utilizados os dados observados do posto fluviométrico 4C-001 operado pelo DAEE. A sub-bacia estudada tem uma área de 6418 km<sup>2</sup> sendo utilizados dois postos pluviométricos para representar a precipitação nessa área. Para a calibração, pesos foram atribuídos a esses postos, de maneira que ao posto C4-043 foi atribuído o peso de 0,65 e ao posto C4-075, o peso foi de 0,35. Esses pesos foram inicialmente estabelecidos considerando a localização dos postos na bacia e depois foram otimizados no processo de calibração. É possível localizar os postos citados por meio da Figura 13:

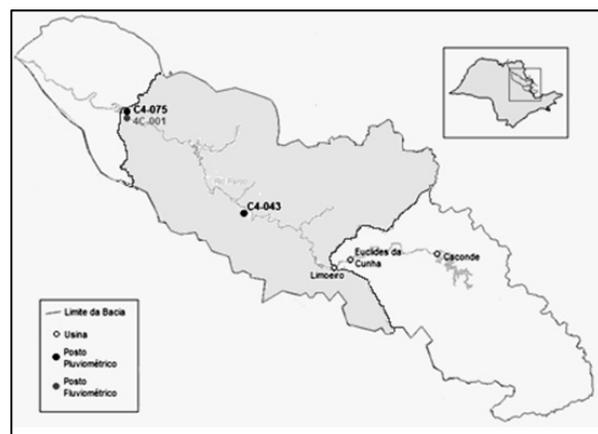


Figura 13 – Localização da sub-bacia utilizada para comparação de vazões.

Os dados de previsão de precipitação provenientes do modelo Eta foram tomados a partir das quadrículas que se superpõem aos postos C4-043 e C4-075. A esses valores de previsão foram aplicados os mesmos valores de ponderação utilizados em seus respectivos postos, para sua posterior utilização como entrada na simulação chuva vazão.

Na Figura 14 são apresentadas as vazões observadas no posto fluviométrico 4C-001 e as três diferentes vazões calculadas, sendo que a primeira utiliza os dados de precipitação observados nos postos pluviométricos, a segunda utiliza as previsões de precipitação com 1 dia de antecedência e a terceira utiliza as previsões de precipitação com 5 dias de antecedência, conforme apresentado a seguir:

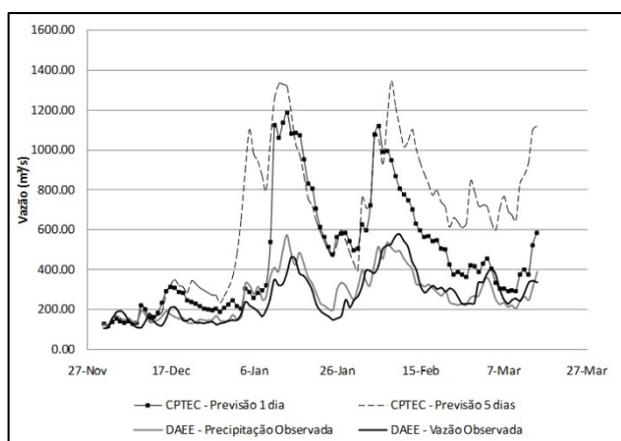


Figura 14 – Comparação dos valores de vazão calculados e observados para o posto 4C-001.

Analisando-se os resultados apresentados, percebe-se que a calibração do modelo permite uma resposta adequada, considerando-se que 90% dos valores apresentam discrepâncias inferiores a 40%, erro médio quadrático (EMQ) igual a 45,68 m<sup>3</sup>/s e coeficiente de determinação igual a 0,76, conforme ilustrado na Figura 15.

Com relação aos valores de vazão calculados a partir das precipitações disponibilizadas pelo modelo Eta, verificou-se, como já era esperado, diferenças superiores àquelas obtidas a partir da precipitação observada, uma vez que já haviam sido constatadas diferenças relativas importantes na variável precipitação estimada. Desta forma, a comparação assim proposta teve apenas o intuito de verificar se a dispersão nos valores de precipitação acentua as diferenças nos valores de vazão ou são compensados. Verificou-se que ocorre a combinação dos erros uma vez que foi detectado, com relação à previsão de 1

dia, que 90% dos erros encontraram-se abaixo de 210% e, para a previsão de 5 dias, esse valor cresce para 270%, sendo esses valores muito superiores se comparados com o resultado de 40% obtido para os dados observados no posto pluviométrico. Com relação ao erro médio quadrático, o resultado encontrado quando se utiliza as previsões de 1 dia é de 215,37 m<sup>3</sup>/s e de 5 dias é de 391,09 m<sup>3</sup>/s.

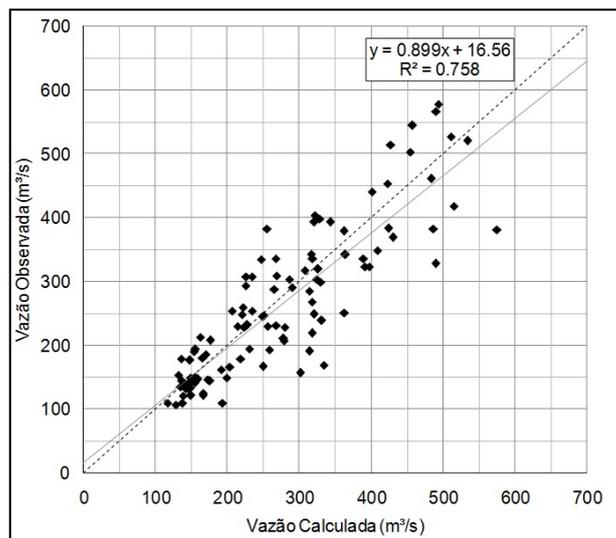


Figura 15 – Comparação entre vazões observadas e calculadas pelo modelo SMAP com dados de precipitação observados nos postos pluviométricos.

A correlação entre as vazões observadas e calculadas ( $R^2$ ) a partir da previsão de precipitação também é inferior à encontrada entre as vazões observadas e as obtidas com o modelo a partir das precipitações observadas no posto pluviométrico, registrando-se para as previsões de 1 dia e 5 dias coeficientes  $R^2$  iguais a 0,61 e 0,63, respectivamente. Analisando-se os valores dos coeficientes angulares das linhas de tendência, tem-se que seus valores são 0,32, para 1 dia, e de 0,27, para 5 dias. Desta forma, percebe-se que há uma forte tendência de amplificação no modelo, visto que para adequar o valor calculado com o observado, uma redução é realizada no primeiro. A dispersão dos pontos pode ser observada a seguir nas Figuras 16 e 17.

Desta forma, constata-se que as previsões de vazão afluente baseadas na modelagem chuva-vazão a partir da previsão de precipitação, como vista no artigo, é pouco confiável e pode introduzir incertezas no processo de tomada de decisão. Estas diferenças podem ser atribuídas a diversos fatores, dentre os quais se destacam a discretização espacial

utilizada (40x40km) e a natureza da modelagem (mesoescala). Destaca-se que a mesma agência que produz os resultados empregados neste trabalho, CPTEC, também disponibiliza saídas do modelo Eta para outras resoluções e até mesmo desenvolvidas especialmente para determinadas regiões, o que se constitui em uma futura fonte de investigações.

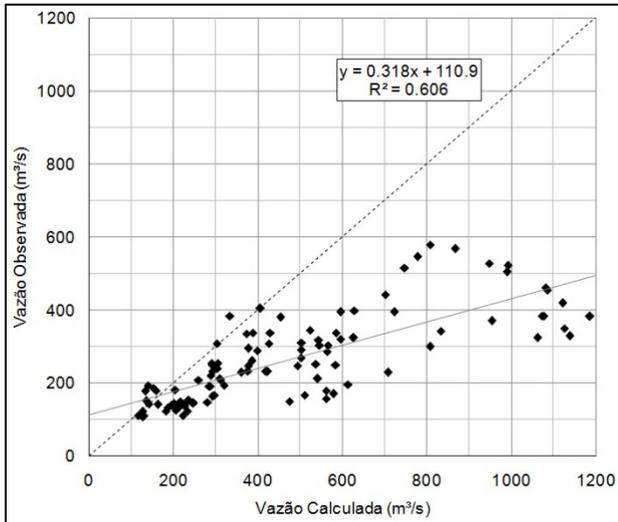


Figura 16 – Comparação entre vazões observadas e calculadas pelo SMAP com dados de previsão de precipitação de 1 dia fornecido pelo CPTEC.

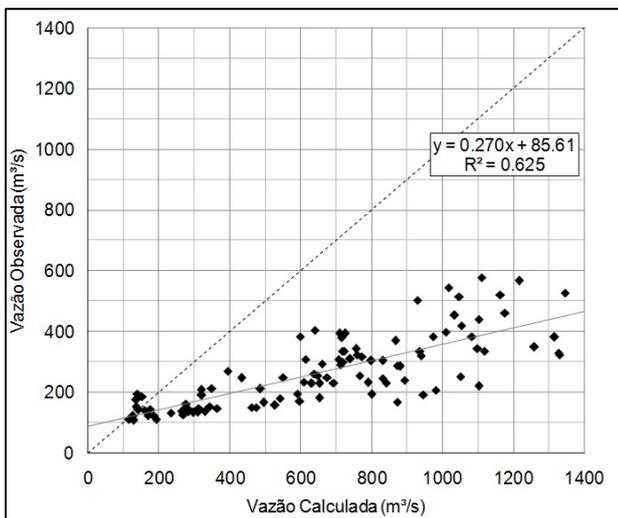


Figura 17 – Comparação entre vazões observadas e calculadas pelo SMAP com dados de previsão de precipitação de 5 dias fornecido pelo CPTEC.

Da mesma forma foram as discrepâncias observadas na previsão de vazões que podem ser atribuídas à baixa resolução das informações de chuva contempladas tanto na calibração do modelo, no caso foram usadas apenas duas estações de terra para uma bacia de aproximadamente 6500km<sup>2</sup>, totalizando uma média de uma estação para cada 3250 km<sup>2</sup>, e ao período empregado para ajuste do modelo, de apenas dois anos para a calibração e um para verificação.

Entretanto, considerando que estas ferramentas usuais são disponíveis através dos serviços de previsão de tempo e clima, e desta forma são acessíveis aos mais diferentes tipos de usuários, ainda assim é possível e interessante seu uso considerando que aos resultados da previsão podem ser agregadas faixas de variação. Esse esquema se daria por meio da criação de cenários, ou seja, uma vez previsto o valor de precipitação, aplica-se um fator de correção correspondente ao desvio mais frequente observado na série utilizada.

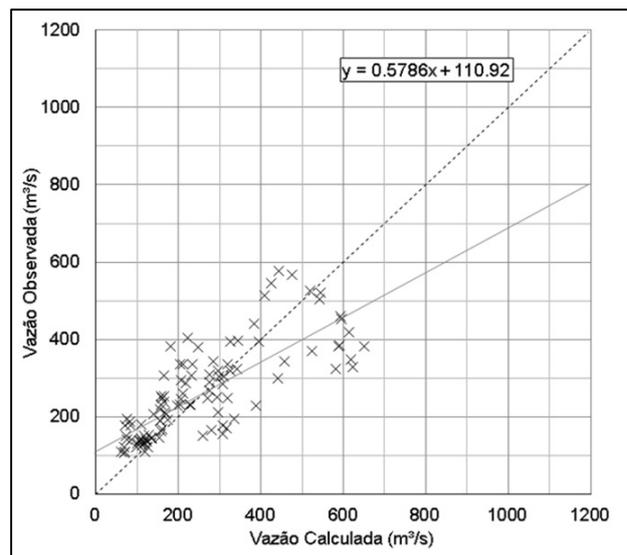


Figura 18 - Comparação entre vazões observadas e calculadas pelo SMAP com redução de 45% utilizando previsões de precipitação com 1 dia de antecedência.

Realizando esse procedimento para a amostra em questão, percebe-se que, para a previsão com 1 dia de antecedência, a diferença modal entre a vazão observada e a calculada situa-se nas faixas de 40% a 50%. Para a previsão com 5 dias de antecedência, a faixa de diferença com maior frequência é de 60% a 70%. Aplicando-se essas correções nos

valores, os erros médios quadráticos tem melhoras significativas, passando de 215,37 m<sup>3</sup>/s para 73,68 m<sup>3</sup>/s no caso da previsão de 1 dia e de 391,09 m<sup>3</sup>/s para 69,08 m<sup>3</sup>/s para previsão de 5 dias. Os resultados das comparações utilizando os valores ajustados são apresentados nas Figuras 18 e 19.

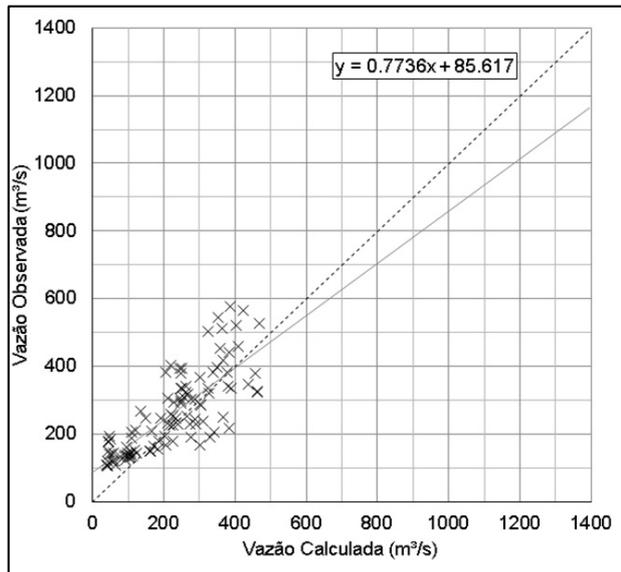


Figura 19 - Comparação entre vazões observadas e calculadas pelo SMAP com redução de 65% utilizando previsões de precipitação com 5 dias de antecedência.

Desta forma, a formação de um banco de dados com o histórico de previsões e valores observados, realizando a verificação com vistas à determinação da faixa de erro com maior incidência, se mostra como uma importante ferramenta. Por meio desse histórico será possível verificar qual a tendência do modelo, de forma a realizar ajustes para a tomada de decisão mais correta.

## CONCLUSÕES

A avaliação dos dados de previsão de precipitação mostrou grandes diferenças quando comparadas aos dados observados. Essa diferença propaga-se e se combina com as variações apresentadas pelo modelo de transformação chuva-vazão, amplificando as incertezas com relação às previsões de aflúências. Desta forma, são necessárias melhorias tanto na previsão da precipitação, com o uso conjunto de técnicas que permitam melhorar os modelos atuais,

como a utilização de outras tecnologias de modelagem, baseadas em observações de satélite, radar e estações de terra. Análises estatísticas de bancos de dados de previsões específicas para as bacias e sua correlação com as vazões geradas pelo modelo chuva-vazão permitem a identificação de tendências do modelo, de maneira que, realizando ajustes nos resultados, essas informações se mostram mais confiáveis, de forma a repassar informações mais adequadas ao tomador de decisão.

Considerando que a melhora da qualidade da previsão de aflúências depende de avanços tanto na previsão de precipitação como na modelagem chuva-vazão, devem ser consideradas futuras pesquisas com o aumento da resolução espacial horizontal e a incorporação de resultados de modelos baseados em observações em tempo real a partir de radares meteorológicos. Neste caso, o modelo chuva-vazão deverá também ser adaptado para processamento de informações com resolução temporal maior, uma vez ser esta a característica deste tipo de observação atmosférica.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica da USP, à CAPES pelo apoio financeiro e pela concessão de bolsa e ao Laboratório de Hidráulica e Recursos Hídricos da Escola Politécnica da USP - Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica por propiciarem as condições para o desenvolvimento deste estudo.

## REFERÊNCIAS

ANDREOLLI, I.; COLLISCHON, W.; TUCCI, C. E. M.; HAAS, R.; REGINA, J. V. M. Previsão de Vazão Afluente a um Reservatório Utilizando Previsão Quantitativa de Chuva. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 11, n. Nº 3, p. 55-69, Julho/Setembro 2006.

BALBI, D. A. F. *Metodologias para a Elaboração de Planos de Ações Emergenciais para Inundações Induzidas por Barragens. Estudo de Caso: Barragem de Peti - MG*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade

- Federal de Minas Gerais, 2008. 336 p. Dissertação (mestrado).
- BLACK, T. L. NMC mesoscale Eta Model: Description and Examples. **Weather Forecasting**, n. 9, p. 265-278, 1994.
- BRASIL. **Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010**. Diário Oficial da União: Brasília, 21 de set., 2010.
- BRASIL. **Resolução nº742, de 17 de outubro de 2011**. Diário Oficial da União: Brasília, 27 de out., 2011.
- BRASIL. **Resolução nº91, de 02 de abril de 2012**. Diário Oficial da União: Brasília, 11 de abr. 2011, 2012.
- CASTRO, M. M.; MARTINS, J. R. S.; LUCCHI, R. M.; JACOBSEM, F. R. S. **Concepção de um Sistema de Gerenciamento de Ações Emergenciais em Barragens**. Maceió - AL: Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011.
- CASTRO, M. M.; LUCCHI, R. M.; B., SILVA T.; JACOBSEM, F. R. S. **Proposta de Estrutura para Elaboração de Planos de Ações Emergenciais em Barragens**. Porto de Galinhas - PE: Anais do XXIX Seminário Nacional de Grandes Barragens, 2013.
- COLLISCHONN, W.; HAAS, R.; ANDREOLLI, I.; TUCCI, C. E. M. Forecasting River Uruguay flow using rainfall forecasts from a regional weather-prediction model. **Journal of Hydrology**, v. 305, p. 87-98, Apr. 2005.
- ESPINOZA, E. S.; CINTRA, R.; HERDIES, D.; ARAVEQUIA, J. A.; BONATTI, J. P.; BUSTAMANTE, J., GOMES, J. L.; FERREIRA, S. H. S.; LIMA, W. F. A. **Sistema de Assimilação ETA/RPSAS**. Foz de Iguaçu - PR: Anais XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2002.
- FADIGA, F. M.; LOPES, J. E. G.; MARTINS, J. R. S.; BARROS, M. T. L. de; SANTOS, R. C. P. dos. Modelos de Previsão de Vazões para a Bacia Incremental à UHE Itaipu. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 13, n. N° 2, p. 65-75, Abril/Junho 2008.
- FCTH. **CLiv + Software para Simulação de Escoamentos em Canais e Reservatórios – Manual do Usuário**. São Paulo: [s.n.], 2004.
- GOLDING, B. W. Quantitative precipitation forecasting in the UK. **Journal of Hydrology**, v. 293, p. 286-305, Sep. 2000.
- HABETS, F.; LEMOIGNE, P.; NOILHAN, J. On the utility of operational precipitation forecasts to served as input for streamflow forecasting. **Journal of Hydrology**, v. 293, p. 270-288, Jun. 2004.
- KITZMILLER, D.; MILLER, D.; FULTON, R.; DING, F. Radar and Multisensor Precipitation Estimation Techniques in National Weather Service Hydrologic Operations. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 18, n. 1, p. 133-142, Feb. 2013.
- KRUK, N. S.; VENDRAME, I. F.; CHOU, S. C. Coupling a Mesoscale Atmospheric Model with a Distributed Hydrological Model Applied to a Watershed in Southeast Brazil.. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 18, n. 1, p. 58-65, Jan. 2013.
- LOPES, J. E. G.; BRAGA, B. P. F.; CONEJO, J. G. L. SMAP - a simplified hydrologic model. **Water Resources Publications**, 1982.
- LUCCHI, R. M.; MARTINS, J. R. S.; CASTRO, M. M.; MACEDO, E. P.; SILVA, T. B. Avaliação Altimétrica do Modelo Digital de Elevação TOPODATA para Utilização em Estudos de Linha D'água em Canais Naturais. **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Maceió, Novembro 2011.
- MACEDO, E. P.; MARTINS, J. R. S.; CASTRO, M. M. de C.; LUCCHI, R. M. . **Modelagem Numérica como Ferramenta para Planejamento de Ações Emergenciais em Aproveitamentos Hídricos**. João Pessoa: Anais XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2012.
- MACEDO, E. P.; MARTINS, J. R. S.; REIS, F. C.; LOPES, W. P.. **O Projeto Gerenciamento de Ações Emergenciais da Geração AES Tietê (SGAE): Elaboração de um Sistema de Informações, Previsão e Elaboração de Planos de Ação Emergencial**. Porto de Galinhas - PE: Anais do XXIX Seminário Nacional de Grandes Barragens, 2013.
- MESSINGER, F.; JANJIC, Z. L.; NICKOVIC, S.; DEAVEN, D. G. The step-mountain coordinate: Model description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of Appalachian redevelopment. **Monthly Weather Review**, v. 116, p. 1493-1518, jan 1988.

MOBLEY, J. T.; CULVER, T. B.; BURGHOLZER, R. W. Understanding Precipitation Fidelity in Hydrological Modeling. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 17, p. 1315-1324, Dec. 2012.

PIMAN, T.; BABEL, M. S. Prediction of Rainfall-Runoff in an Ungauged Basin: Case Study in the Mountainous Region of Northern Thailand. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 18, n. 1, p. 285-296, Feb. 2013.

SHIH, D.; LIAU, J.; YEH, G. Model Assessments of Precipitation with a Unified Regional Circulation Rainfall and Hydrological Watershed Model. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 17, n. 1, p. 43-54, Jan. 2012.

SIGRH. Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/>>. Acesso em: outubro 2011.

TEAGUE, A.; CHRISTIAN, J.; BEDIENT, P. Radar Rainfall Application in Distributed Hydrologic Modeling for Cypress Creek Watershed, Texas. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 18, n. 1, p. 219-227, Feb. 2013.

UEMURA, S.; MARTINS, J. R. S.; SUZUKI, A. H.; PEREIRA, P. N.; SANTOS, O. **Diretrizes para Elaboração do Plano em Situações de Emergência Hidrológica**. Maceió - AL: Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011.

WISEU, M. T. F. **Segurança dos Vales a Jusante da Barragens**. Lisboa: LNEC, 2006.

### ***Evaluation Of The Use Of Precipitation Forecasts In Dam Safety Simulations.***

#### **ABSTRACT**

*Dam safety systems can be formed by the junction of precipitation forecasting, hydrologic and hydraulic models in order to provide information for stakeholders. In this way, it uses precipitation forecast and hydrological models to calculate flows. Thus, the purpose of this work was to evaluate precipitation forecast and hydrological models, since these two models are an important part of an emer-*

*gency forecasting system, providing information used as an input to predict the consequences of events. The precipitation forecast model utilized in the dam safety system analyzed was Eta, operated by Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) and the hydrologic model was SMAP. The evaluation was done in the watersheds of rivers Pardo and Mogi Guaçu, located in the state of São Paulo and was done in three stages: first a direct comparison was made between precipitation forecasts for 1 and 5 days in advance and the observed data collected at the DAEE rainfall station; in the second one, the comparison made was similar, however, in this case, the data utilized was the average of a five-day period and in the last one, the evaluation was done between flows resulting from the precipitations forecasted and observed, utilizing the hydrologic model. As a result of these three analyses, it was concluded that there must be improvement in order to use these data in the dam safety area, since these results show that the models have a amplification tendency considering the discrepancy between forecast and observed data.*

**Key-words:** *Eta and SMAP models, dam safety, mathematical modeling.*