

SISTEMA DE PREVISÃO DE VAZÕES POR CONJUNTO DA USINA DE ITAIPU: DESENVOLVIMENTO E PRIMEIRAS ANÁLISES

Auder M. Vieira Lisboa^{1}; Fernando M. Fan²; Giovanni G. V. Trinidad³; Jose M. Quevedo Aguade⁴; Marcelo B. Zaicovski⁵; Mariana M. Werlang⁶; Tannia M. I. V. Agüero⁷; Walter Collischonn⁸; Paulo Rógenes M. Pontes⁹; Diogo C. Buarque¹⁰; Carlos E. M. Tucci¹¹.*

Resumo – Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento do sistema de previsão de vazões por conjunto (*ensemble*) para Itaipu, operacional desde novembro de 2015. O sistema é baseado no modelo hidrológico MGB-IPH, inclui simulações hidrodinâmicas do rio principal e é executado todos os dias de manhã, forçado por múltiplas previsões de precipitação. Com base nos resultados do sistema, a equipe de hidrologia da Itaipu desenvolve uma previsão de consenso, que é utilizada para a operação da barragem de Itaipu. Após um ano de operação, este trabalho apresenta a primeira avaliação dos resultados do sistema em termos de medidas de desempenho. Os resultados mostram que o sistema é satisfatório para a previsão de vazões, e que especialmente a previsão de consenso, elaborado pelos previsores, melhora ainda mais os resultados das previsões com menores horizontes. Em maiores horizontes detectou-se que existe uma tendência do previsor em seguir a média dos membros do conjunto. Em termos de representação hidrodinâmica, parece que uma melhor informação da seção transversal dos rios poderia melhorar as previsões. Essas oportunidades de melhorias serão abordadas na próxima atualização do sistema.

Palavras-Chave – Previsão hidrológica; Previsão por conjunto; Itaipu.

ITAIPU DAM ENSEMBLE INFLOW FORECASTING SYSTEM: DEVELOPMENT AND FIRST ASSESSMENT

Abstract – This work presents the development of the inflow ensemble forecasting system for Itaipu Dam, operational since November 2015. The system is based on no MGB-IPH hydrological model, including hydrodynamic simulations of the main river and is run every morning, forced by multiple precipitation forecasts. Based on the results of the system, a hydrology team from Itaipu develops a consensus forecast, which is used to operate the Itaipu dam. After a year of operation, this work presents a first evaluation of the results of the system in terms of performance measures. The results show that the system is satisfactory for the prediction of inflows, and especially the forecast of consensus, elaborated by Itaipu team, improves still more the results of the forecasts with smaller horizons. In greater lead times it was detected that there is a tendency for the forecasters in following the average of the ensemble members. In terms of hydrodynamic representation, it seems that better cross-sectional information may improve predictions. These improvement opportunities will be addressed in the next system upgrade.

Keywords – Hydrological Forecasting; Ensemble Forecasting; Itaipu.

¹ Itaipu Binacional, Divisão de Estudos Hidrológicos e Energéticos, Superintendência de Operação. auder@itaipu.gov.br

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Grupo de Pesquisa HGE. fernando.fan@bol.com.br

³ Itaipu Binacional, Divisão de Estudos Hidrológicos e Energéticos, Superintendência de Operação. gomesg@itaipu.gov.py

⁴ Itaipu Binacional, Divisão de Estudos Hidrológicos e Energéticos, Superintendência de Operação. quevedoa@itaipu.gov.br

⁵ Itaipu Binacional, Divisão de Estudos Hidrológicos e Energéticos, Superintendência de Operação. marceloz@itaipu.gov.br

⁶ Itaipu Binacional, Divisão de Estudos Hidrológicos e Energéticos, Superintendência de Operação. marianaw@itaipu.gov.br

⁷ Itaipu Binacional, Divisão de Estudos Hidrológicos e Energéticos, Superintendência de Operação. tannia@itaipu.gov.py

⁸ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Grupo de Pesquisa HGE. waltercollischonn@gmail.com

⁹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Grupo de Pesquisa HGE. p.rogenes@gmail.com

¹⁰ Universidade Federal do Espírito Santo. diogo.buarque@gmail.com

¹¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Grupo de Pesquisa HGE. rhamaca@gmail.com

INTRODUÇÃO

A principal atribuição da Divisão de Estudos Hidrológicos e Energéticos da Itaipu Binacional é elaborar a previsão de vazões afluentes a montante e a jusante da usina (rios Paraná, Iguaçu e afluentes) para apoio à supervisão, programação e planejamento da operação hidroenergética. Para permitir a elaboração destas previsões diariamente a Itaipu implantou, entre 1989 e 1992, o seu primeiro sistema computacional de previsão de vazões baseado em modelos hidrológicos do tipo Precipitação-Vazão, batizado de SIMPREVA – Simulador e Previsor de Vazões Afluentes. O SIMPREVA era baseado na metodologia do *curve number* do SCS – *Soil Conservation Service*, o Serviço de Conservação de Solos do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. O algoritmo de Onda Cinemática, considerado um modelo hidrodinâmico simplificado, era o utilizado para a propagação das vazões observadas e calculadas.

Ao longo de mais de vinte anos em operação este sistema mostrou-se capaz de atender aos objetivos para o qual foi desenvolvido, porém, resultados de simulações com dados mais recentes indicaram a necessidade de recalibração dos parâmetros dos modelos, especialmente em função de alterações na cobertura vegetal das bacias hidrográficas. Este sistema também apresentava limitações de ordem operacional e limitações técnicas que indicavam a necessidade de uma grande quantidade de adequações necessárias à realidade de dados telemétricos de base horária recebidos em tempo real, e de previsões numéricas de precipitação em formato binário. Diante desta constatação concluiu-se ser inviável envidar esforços na adequação do sistema SIMPREVA, sendo necessário o desenvolvimento de um novo sistema de previsão de vazões.

No presente trabalho é apresentado o novo sistema de previsão de vazão desenvolvido, que é atualmente utilizado em Itaipu, e a primeira avaliação estatística dos seus resultados após aproximadamente um ano de registros de operação. No próximo item do texto é apresentado o sistema, e no item seguinte a análise dos resultados. Ao final do texto são feitas discussões e levantadas as questões a serem endereçadas nas próximas etapas de atualização do sistema.

DESENVOLVIMENTO DO NOVO SISTEMA

Após uma análise realizada pela equipe técnica de Itaipu sobre as tecnologias disponíveis de modelagem hidrológica, optou-se pelo desenvolvimento de um novo sistema de previsão de vazões baseado no modelo hidrológico de grande escala MGB-IPH. O modelo MGB-IPH tem demonstrado recentemente um grande número de aplicações bem-sucedidas quando usado para a previsão de vazões em usinas hidrelétricas, conforme os trabalhos de Fan et al. (2016); Fan et al. (2015a, 2015b), Siqueira et al. (2016), entre outros.

Este modelo já havia sido calibrado para a bacia incremental a Itaipu em dois estudos anteriores, apresentando boas estatísticas de desempenho entre as vazões observadas e simuladas: (i) na concorrência entre modelos realizada pelo Operador Nacional do Sistema (Guillon et al, 2007), quando o MGB apresentou o melhor desempenho diante de outros dois modelos testados; (ii) e no estudo “Revisão da Enchente Máxima Provável de Itaipu: Área Incremental” encomendado pela Superintendência de Engenharia da Itaipu Binacional.

O modelo hidrológico distribuído MGB foi desenvolvido para simular o processo de transformação chuva-vazão e propagação de vazões em trechos de rio em bacias consideradas de grande porte, cujas áreas de drenagem são geralmente superiores a aproximadamente 1.000 km² (Collischonn e Tucci, 2001; Pontes et al., 2015).

O modelo MGB para previsão foi calibrado para a bacia hidrográfica de Itaipu utilizando-se dados horários de precipitação e vazão das estações automáticas de Itaipu, além de dados de Precipitação das estações do Simepar – Sistema Meteorológico do Paraná – e dados de precipitação e vazão do *webservice* da ANA – Agência Nacional de Águas. Os dados meteorológicos necessários para calcular a evapotranspiração foram obtidos pelas estações meteorológicas do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. A discretização do modelo em minibacias, que são as unidades de cálculo do modelo, é mostrada na Figura 1A. O mapa de Unidades de Resposta Hidrológica (URH), utilizado para a definição dos parâmetros do modelo é mostrado na Figura 1B.

De acordo com a disponibilidade dos dados e dos eventos de cheias observados nos hidrogramas, o modelo foi calibrado com dados do período de Julho de 2006 a Julho de 2014, e verificado com dados do período de Julho de 1999 a Julho de 2006.

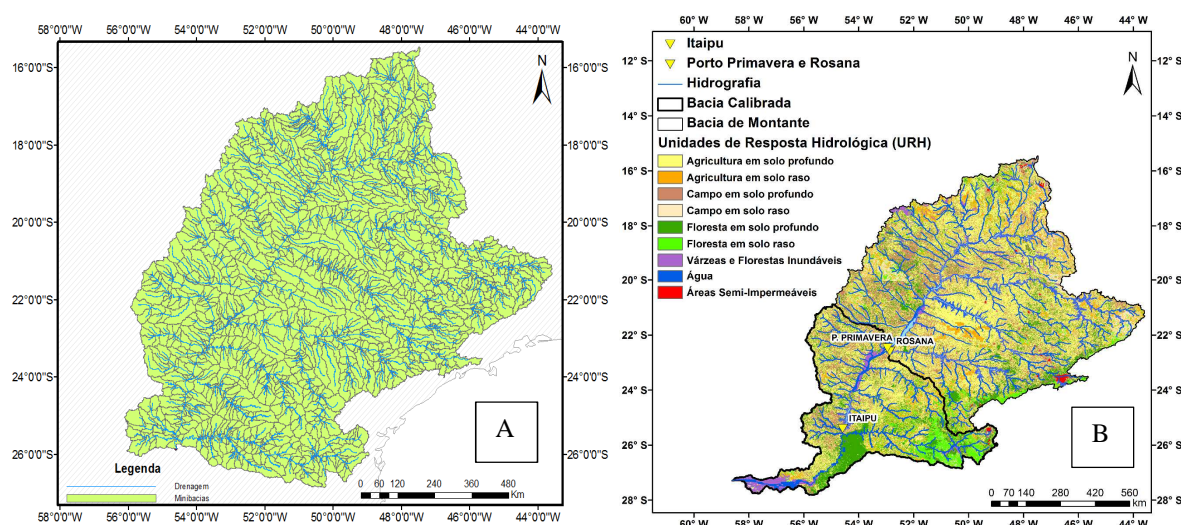


Figura 1. Discretização da bacia para aplicação do modelo hidrológico: A) Mapa de minibacias; B) Mapa final de unidades de resposta hidrológica.

Para propagação das vazões no trecho referente à bacia incremental de Itaipu foi empregado o modelo Inercial (Fan et al., 2014; Pontes et al., 2015), baseado na simplificação das equações de *Saint-Venant*. Para o desenvolvimento deste módulo de propagação foram utilizados dados de vazões defluentes horárias das usinas de Porto Primavera e Rosana, seções transversais dos rios levantadas pela equipe de Itaipu, e dados de relevo do modelo digital de elevação da SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*. A verificação do modelo Inercial foi realizada com dados do período de Julho de 2006 a Julho de 2014. Os resultados foram comparados ao longo do rio Paraná entre a usina de Porto Primavera e Itaipu, devido à existência de uma grande planície de inundação. Nos afluentes da bacia incremental a Itaipu, onde as vazões são assimiladas, foi utilizado o modelo com propagação *Muskingun-Cunge*. Mais detalhes sobre como funciona o modelo hidrológico e os procedimentos de previsão e assimilação de dados podem ser obtidos em Pontes et al. (2015), Fan et al. (2015a) e Fan et al. (2015b).

Operacionalmente o sistema foi concebido para utilizar os seguintes dados horários, observados até a última hora, como entradas para a elaboração diária da previsão: (i) Precipitações das estações automáticas de Itaipu e do Simepar; (ii) Vazões das estações automáticas de Itaipu; (iii) Vazões defluentes das usinas de Porto Primavera, Rosana, Itaipu e Salto Caxias.

Como dados horários previstos e programados para um horizonte de cerca de 233 horas à frente, de forma a compor o horizonte necessário de 10 dias de previsão, são utilizados as seguintes informações: (1) Vazões defluentes das usinas de Porto Primavera, Rosana, Itaipu e Salto Caxias;

(2) Conjunto de previsões numéricas de Precipitação elaboradas pelos modelos ETA15 e BRAMS, do CPTEC (uma previsão de cada modelo), e WRF do Simepar (cinco previsões do mesmo modelo, denominadas *Ferrier*, *Lin*, *Morrison*, *WDM6CLASS*, e *Mediana*).

As previsões do modelo do CPTEC são disponibilizadas gratuitamente pela internet, na área de FTP do Sistema de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (SISMADEN). As previsões do modelo WRF são disponibilizadas por meio de um contrato de Itaipu Binacional com o Simepar.

As etapas de calibração, verificação e implantação na rotina operacional do novo sistema de previsão de Itaipu foram desenvolvidas entre outubro de 2014 e novembro de 2015. Paralelamente a este trabalho um novo banco de dados horários estava sendo desenvolvido, denominado BDH, tendo sido concluído em março de 2016. Desta forma dispõe-se na data de maio de 2017 de pouco mais de um ano de previsões realizadas com o novo sistema.

PRIMEIRAS ANÁLISES DOS RESULTADOS

Período disponível de previsões

O período de utilização do modelo MGB acoplado à nova base de dados BDH iniciou em 27 de março de 2016, sendo completados quatrocentos dias de previsões em 30 de abril de 2017, data aproximada de início da elaboração destas análises. No entanto, no início do período ainda não se dispunha das previsões de chuva do modelo WRF do Simepar, que entraram na rotina operacional somente em 04 de agosto de 2016. Desta forma optou-se por utilizar nas análises um período exato de um ano, iniciando em 1º de maio de 2016 e encerrando em 30 de abril de 2017.

Para este período selecionado a Tabela 1 apresenta a quantidade de previsões disponíveis, realizadas com cada um dos modelos, e descontando o número de dias em que a previsão de precipitação não esteve disponível, por algum motivo (o baixo número de previsões disponíveis realizadas com o modelo WRF-*Ferrier* se deve ao fato de que o Simepar descontinuou este membro em novembro de 2016).

Para o período selecionado a vazão afluente média foi de 11.696 m³/s, com um valor máximo diário de 19.646 m³/s e mínimo de 8.513 m³/s. A média de 11.696 m³/s é praticamente idêntica à média histórica, de 11.700 m³/s, e os valores máximos e mínimos não são considerados excepcionais, indicando que o período testado representa um ano típico.

Tabela 1 – Número de previsões disponíveis

| Modelo meteorológico utilizado | Início | Fim | Nº de previsões |
|--------------------------------|------------|------------|-----------------|
| ETA15 | 01/05/2016 | 30/04/2017 | 362 |
| BRAMS | 01/05/2016 | 30/04/2017 | 350 |
| WRF- <i>Mediana</i> | 04/08/2016 | 30/04/2017 | 264 |
| WRF- <i>Lin</i> | 04/08/2016 | 30/04/2017 | 257 |
| WRF- <i>Morrison</i> | 04/08/2016 | 30/04/2017 | 257 |
| WRF- <i>WDM6CLASS</i> | 04/08/2016 | 30/04/2017 | 251 |
| WRF- <i>Ferrier</i> | 04/08/2016 | 30/11/2016 | 106 |

A previsão de consenso

Diariamente, após a execução de todas as rodadas do MGB, a equipe de previsores de Itaipu visualiza os resultados e elabora então a previsão de consenso, ou “previsão adotada”, que será enviada à equipe encarregada pela programação hidroenergética da central. Para elaboração da previsão de consenso são consideradas não somente as saídas do modelo MGB-IPH, mas também diversas informações observadas e previstas de tempo disponíveis na internet e no site contratado do Simepar, além da situação hidrológica de momento nas bacias hidrográficas e defluências

realizadas e programadas pelas usinas hidrelétricas. Também é levada em consideração uma previsão denominada “aritmética”, elaborada em planilha Excel e que apenas considera, por meio de fórmulas, o tempo de deslocamento das vazões de cada rio ao reservatório de Itaipu.

Os gráficos a seguir exemplificam duas previsões, realizadas em 24/10/2016 e 28/01/2017, onde em ambas as ocasiões a defluência das usinas de montante não sofreu alterações significativas. No dia 24/10/2016 a maioria das previsões de chuva indicavam que a vazão afluente a Itaipu seria elevada de aproximadamente 11.500 m³/s para mais de 15.000 m³/s em sete dias, o que de fato ocorreu, por conta de chuva na bacia incremental. Em outra situação, na previsão do dia 28/01/2017, a maioria das previsões de chuva indicava uma nova subida pronunciada da afluência, fato que acabou não ocorrendo. Em ambos os casos a previsão de consenso adotada nestes dias mostrou um resultado razoável para o horizonte em questão.

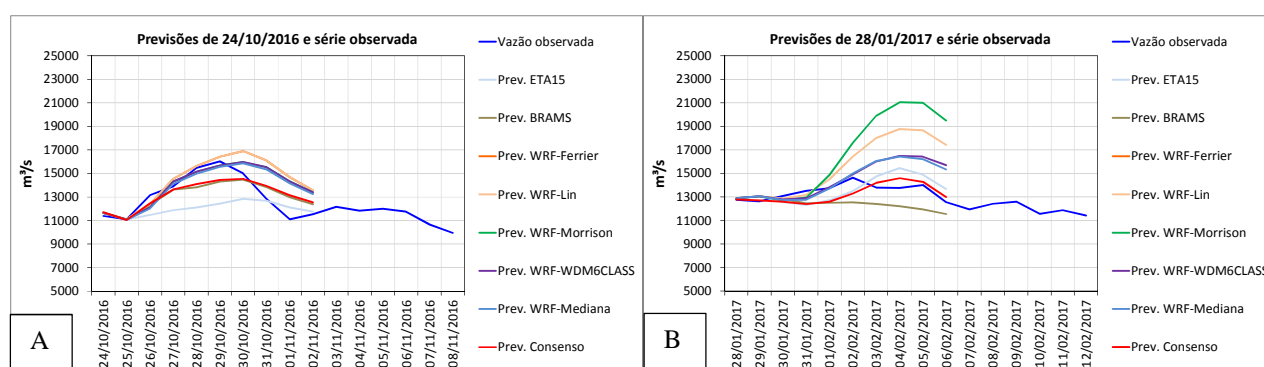


Figura 2. Exemplos de previsões realizadas para a UHE Itaipu usando o sistema e a previsão de consenso adotada: A) realizada em 24/10/2016; e B) realizada em 28/01/2017.

Análises efetuadas

Embora o período disponível de previsões ainda seja relativamente curto, a possibilidade de realizarem-se previsões por conjunto permite uma primeira análise dos resultados do novo sistema. Optou-se por iniciar com análises mais simples, que consideram todo o período disponível, e que principalmente, tentariam comprovar algumas percepções da equipe de previsores neste primeiro ano de uso do sistema, que são:

- Análise A1: Qual (ou quais) modelo(s) meteorológico(s) apresentou o melhor resultado neste primeiro ano de utilização do modelo MGB-IPH?
- Análise A2: A previsão de consenso apresentou um melhor resultado que o(s) melhora(s) modelo(s) meteorológico(s) indicado(s) pela análise A1?
- Análise A3: A previsão de consenso foi semelhante a usar a média de todos os modelos meteorológicos, uma tendência natural de adoção pelo previsor quando ainda não há uma expertise sobre estes?

Para a realização destas análises foram empregados os índices estatísticos MAD (Desvio Absoluto Médio) e MAPE (Erro Percentual Absoluto Médio), adequados quando se pretende comparar ajustes obtidos usando-se diferentes métodos, neste caso, diferentes previsões de precipitação. A Figura 3 a seguir apresentam os resultados da análise A1 em termos de MAD e MAPE para todo o horizonte de previsão.

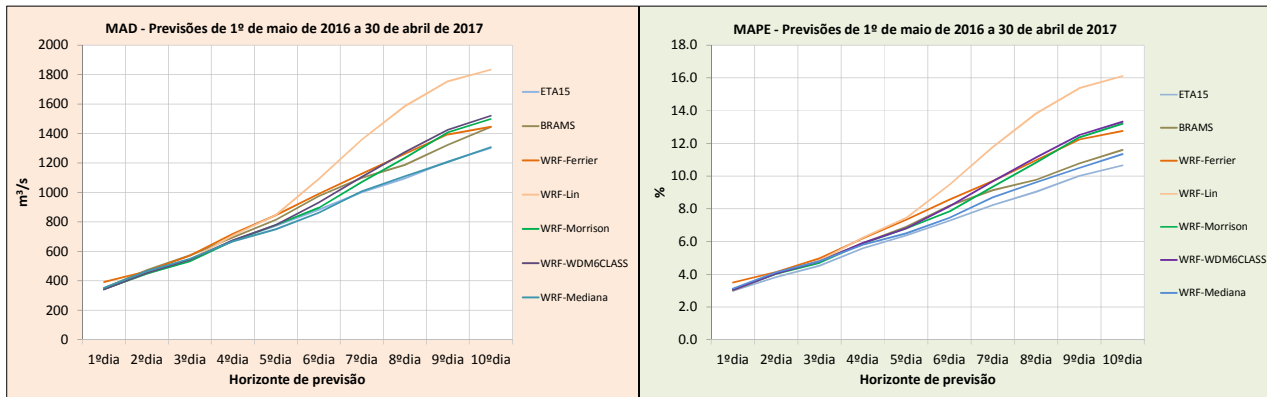


Figura 3. Comparação do desempenho das previsões hidrológicas com diferentes modelos meteorológicos para múltiplos horizontes de previsão: A) em termos de MAD e B) em termos de MAPE.

A Figura 4 a seguir mostra os resultados da análise A2 através de uma comparação do desempenho das previsões hidrológicas usando os modelos meteorológicos com melhor desempenho no período (ETA15 e WRF-Mediana) com a previsão de consenso.

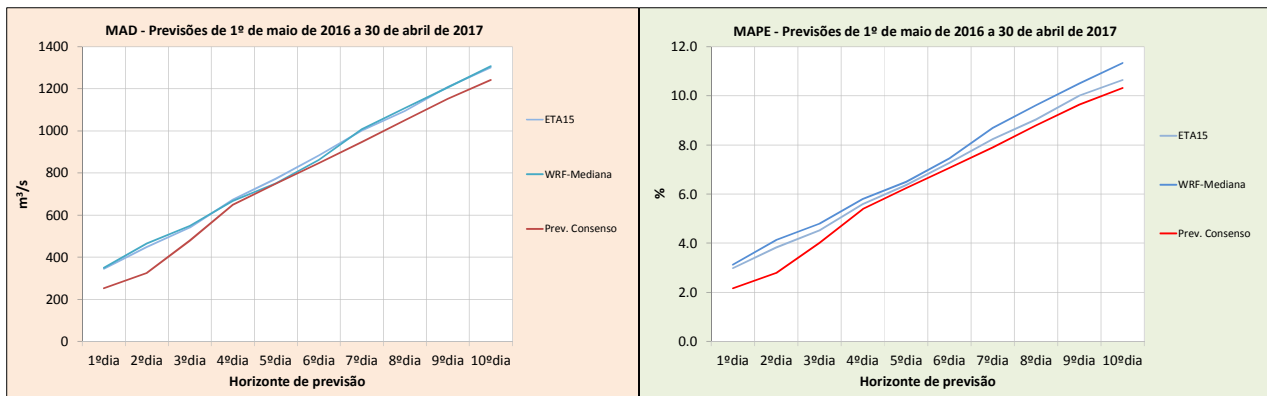


Figura 4. Comparação do desempenho das previsões hidrológicas usando os modelos meteorológicos com melhor desempenho no período (ETA15 e WRF-Mediana) com a previsão de consenso: A) em termos de MAD e B) em termos de MAPE.

A Figura 5 a seguir mostra os resultados da análise A3 através de uma comparação do desempenho da média das previsões hidrológicas por conjunto com a previsão de consenso.

A Tabela 2 apresenta um resumo numérico dos resultados encontrados nas análises de MAD e de MAPE, que foram mostrados nas Figuras 3, 4 e 5.

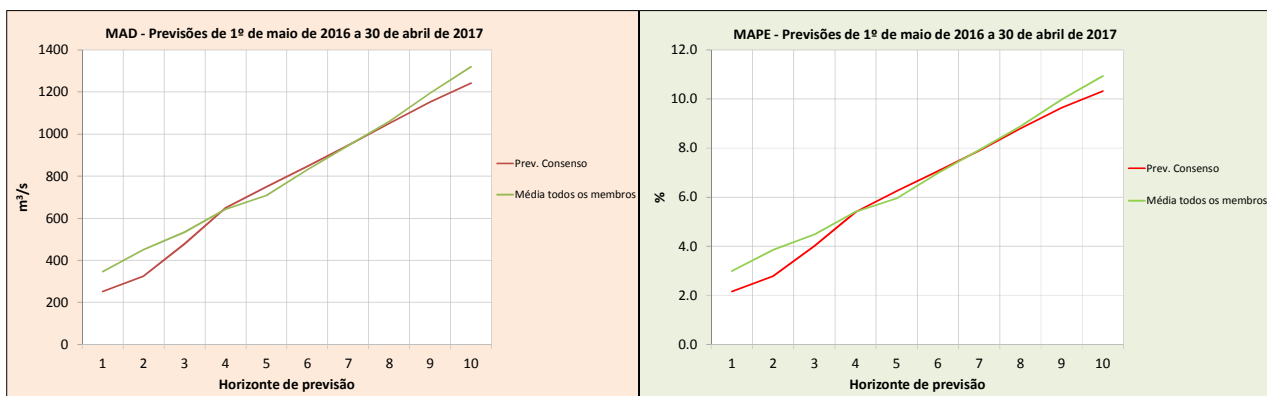


Figura 5. Comparação do desempenho da mediana das previsões hidrológicas por conjunto com a previsão de consenso: A) em termos de MAD e B) em termos de MAPE.

Tabela 2. Resumo numérico dos resultados de MAD e de MAPE para o período. Melhores resultados em azul.

| Desvio Absoluto Médio - MAD | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------|-------|-------------|---------|-------------|--------------|----------|----------------------|-------------------|
| | ETA15 | BRAMS | WRF-Ferrier | WRF-Lin | WRF-Mediana | WRF-Morrison | WRF-WDM6 | Previsão de consenso | Média dos membros |
| 1º dia | 345 | 349 | 391 | 343 | 350 | 342 | 340 | 252 | 346 |
| 2º dia | 448 | 474 | 464 | 450 | 466 | 450 | 453 | 325 | 451 |
| 3º dia | 541 | 572 | 570 | 544 | 549 | 532 | 543 | 479 | 534 |
| 4º dia | 673 | 695 | 718 | 707 | 668 | 672 | 675 | 649 | 643 |
| 5º dia | 773 | 814 | 846 | 847 | 751 | 780 | 780 | 749 | 708 |
| 6º dia | 883 | 975 | 991 | 1091 | 862 | 896 | 931 | 847 | 830 |
| 7º dia | 1002 | 1099 | 1128 | 1359 | 1008 | 1070 | 1106 | 947 | 946 |
| 8º dia | 1095 | 1187 | 1261 | 1586 | 1109 | 1233 | 1273 | 1051 | 1060 |
| 9º dia | 1209 | 1322 | 1394 | 1754 | 1207 | 1407 | 1425 | 1153 | 1194 |
| 10º dia | 1301 | 1444 | 1446 | 1834 | 1308 | 1499 | 1520 | 1242 | 1319 |
| Erro Percentual Absoluto Médio - MAPE | | | | | | | | | |
| | ETA15 | BRAMS | WRF-Ferrier | WRF-Lin | WRF-Mediana | WRF-Morrison | WRF-WDM6 | Previsão de consenso | Média dos membros |
| 1º dia | 2.98 | 3.01 | 3.49 | 3.07 | 3.12 | 3.07 | 3.05 | 2.16 | 2.99 |
| 2º dia | 3.82 | 4.04 | 4.15 | 4.05 | 4.13 | 4.03 | 4.05 | 2.78 | 3.85 |
| 3º dia | 4.52 | 4.82 | 4.97 | 4.83 | 4.80 | 4.70 | 4.78 | 4.01 | 4.48 |
| 4º dia | 5.59 | 5.89 | 6.19 | 6.24 | 5.80 | 5.88 | 5.91 | 5.39 | 5.40 |
| 5º dia | 6.37 | 6.89 | 7.32 | 7.44 | 6.49 | 6.80 | 6.80 | 6.25 | 5.95 |
| 6º dia | 7.27 | 8.19 | 8.55 | 9.47 | 7.45 | 7.83 | 8.14 | 7.06 | 6.98 |
| 7º dia | 8.23 | 9.14 | 9.69 | 11.77 | 8.70 | 9.35 | 9.67 | 7.90 | 7.93 |
| 8º dia | 9.04 | 9.77 | 10.97 | 13.82 | 9.62 | 10.82 | 11.14 | 8.80 | 8.88 |
| 9º dia | 10.01 | 10.76 | 12.24 | 15.37 | 10.50 | 12.37 | 12.50 | 9.65 | 9.98 |
| 10º dia | 10.65 | 11.60 | 12.75 | 16.11 | 11.35 | 13.20 | 13.32 | 10.32 | 10.93 |

Sobre a análise A1, para os três primeiros dias do horizonte de previsão todos os modelos meteorológicos apresentam estatísticas muito semelhantes, à exceção do membro *WRF-Ferrier* no 1º dia. Para o horizonte do 4º ao 10º dia de previsão os resultados apontam um melhor desempenho para os modelos meteorológicos *ETA15* e *WRF-Mediana*.

Na análise A2, para os três primeiros dias do horizonte, embora os modelos *ETA15* e *WRF-Mediana* apresentem boas estatísticas, fica evidente o ganho com a adoção da previsão de consenso. Para os demais dias do horizonte há uma tendência do previsor acompanhar a tendência dos modelos, mas mesmo neste horizonte, embora em menor grau, ainda há um ganho com a previsão de consenso.

Na análise A3, para os três primeiros dias do horizonte, embora a média de todos os modelos também apresente boas estatísticas, fica evidente o ganho com a adoção da previsão de consenso. Para os demais dias do horizonte, conforme comentado anteriormente, há uma tendência do previsor em acompanhar a tendência dos modelos, o que é comprovado pelas linhas quase coincidentes a partir do 4º dia do horizonte.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A análise 01 corrobora com a decisão do Simepar de descontinuar o membro *Ferrier* do modelo *WRF*. O fato deste membro contar com o menor número de previsões realizadas não parece ter contribuído para o pior desempenho no primeiro dia, pois verificou-se posteriormente que no período disponível a vazão média esteve dentro da normalidade (11.145 m³/s) e não ocorreram cheias excepcionais. Para o horizonte do 4º ao 10º dia os maiores desvios dos modelos *BRAMS* e dos demais membros do *WRF* eram esperados pela equipe de previsores, pois o modelo *BRAMS* possui um horizonte de chuvas previstas para apenas quatro dias à frente, e notou-se que os demais membros do *WRF* costumam gerar as vazões mais altas do conjunto, especialmente o membro *Lin*, evidenciando um viés positivo nestes membros do *WRF*.

Da análise 02 percebe-se que há uma possibilidade de melhoria no modelo *MGB-IPH* para os três primeiros dias do horizonte, onde os resultados adotados pelos previsores são melhores. Logicamente, modelos hidrológicos tentam reproduzir o comportamento de sistemas naturais de grande escala, e desta forma muitas aproximações são feitas especialmente ao se tentar reproduzir a hidrodinâmica de uma grande bacia. Acredita-se que uma melhor informação de seções transversais

das planícies de inundação poderia melhorar estas previsões, e para isto um aerolevante a laser está sendo contratado por Itaipu.

Na análise 03 as estatísticas apresentadas, embora ainda calculadas para um período relativamente curto, já indicam que utilizar a média do conjunto do 4º ao 10º dia do horizonte, onde ocorrem os maiores desvios, traz um melhor resultado que usar qualquer um dos membros individualmente, fato comprovado pela coincidência das linhas da média e da previsão de consenso neste horizonte. Este fato demonstra que foi acertada a decisão de Itaipu em passar a elaborar previsões por conjunto.

Por fim, deve-se investir na obtenção de novas previsões de precipitação, geradas por outros modelos meteorológicos como o americano GEFS e o europeu ECMWF, para aperfeiçoar ainda mais a previsão e a consequente tomada de decisão, bem como elaborar novas análises que considerem estatísticas distintas, por exemplo, para diferentes volumes de precipitações, e também a realização de análises do tipo *Brier Score*, para descobrir qual a melhor abordagem para a detecção da ocorrência de limiares de cheias.

REFERÊNCIAS

- COLLISCHONN, W. ; TUCCI, C. E. M. (2001). Simulação hidrológica de grandes bacias. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 6, n. 2.
- FAN, F. M.; COLLISCHONN, W. ; PONTES, P. R. M. ; PAIVA, R. C. D. (2014). Avaliação de um método de propagação de cheias em rios com aproximação inercial das equações de Saint-Venant. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, p. 137-147.
- FAN, F. M.; MELLER, A. ; COLLISCHONN, W. (2015b). Incorporação de filtro numérico de separação de escoamento na assimilação de dados para previsão de vazões utilizando modelagem hidrológica. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 20, p. 472-483.
- FAN, F. M.; PAIVA, R. C. D. ; COLLISCHONN, W. (2016). Hydrological Forecasting Practices in Brazil. In: Thomas E Adams; Thomas C. Pagano. (Org.). Flood Forecasting: A Global Perspective. 1ed.: Academic Press, v. 1, p. 41-66.
- FAN, F. M.; SCHWANENBERG, D. ; COLLISCHONN, W. ; WEERTS, A. (2015a). Verification of inflow into hydropower reservoirs using ensemble forecasts of the TIGGE database for large scale basins in Brazil. Journal of Hydrology: Regional Studies, v. 4, p. 196-227.
- GUILHON, L.G.F.; ROCHA, V.F.; MOREIRA, J.C. (2007). Comparação de métodos de previsão de vazões naturais afluentes a aproveitamentos hidroelétricos. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 12, n. 3, p. 13-20.
- PONTES, P. R. M. ; COLLISCHONN, W. ; FAN, F. M. ; PAIVA, R. C. D. ; BUARQUE, D. C. (2015). Modelagem hidrológica e hidráulica de grande escala com propagação inercial de vazões / Hydrologic and hydraulic large-scale modeling with inertial flow routing. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 20, p. 888-904.
- SIQUEIRA, VINÍCIUS ALENCAR ; COLLISCHONN, WALTER ; FAN, Fernando Mainardi ; CHOU, SIN CHAN. (2016) Ensemble flood forecasting based on operational forecasts of the regional Eta EPS in the Taquari-Antas basin. RBRH, v. 21, p. 587-602.