

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

AVALIAÇÃO DO USO DE DADOS DE SATÉLITE PARA PREVISÃO DE VAZÕES UTILIZANDO O MODELO HIDROLÓGICO SMAP/ONS

Silva, S.B.¹; Camargo Junior, H.²; Rocha, V.F.³ & Torraca H.B.B⁴

RESUMO – A previsão de vazões é um dos principais insumos para a definição do despacho otimizado do parque gerador do Sistema Interligado Nacional – SIN. O Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, detém a responsabilidade de obter as previsões de vazões para todos os locais de aproveitamentos hidroelétricos do SIN e, desde 2009, utiliza o modelo conceitual SMAP/ONS para previsão das vazões de alguns destes aproveitamentos. Desde então, o ONS acompanha o desempenho dessa modelagem, com base na comparação entre as vazões naturais previstas e observadas. A partir dessas análises tem sido possível identificar e propor melhorias nos insumos utilizados, bem como na própria metodologia. Frequentemente as bacias hidrográficas brasileiras possuem baixa densidade de estações pluviométricas, reduzindo a qualidade da estimativa da precipitação média verificada e, conseqüentemente, o desempenho dos modelos de previsão do tipo chuva-vazão. Este artigo faz uma avaliação dos resultados do modelo SMAP/ONS ao agregar informações de dados de satélite na obtenção da precipitação média verificada.

ABSTRACT– Inflow forecasting is one of the main inputs to the definition of the optimized dispatch of electric power generation of the Brazilian Interconnected Power System (BIPS). The National Electric System Operator – ONS - has the responsibility of obtaining the flow forecasts for all the sites of hydroelectric plants of BIPS and, since 2009 ONS adopts SMAP/ONS model for inflow forecasting. Since then, ONS has been monitoring the performance of this model, comparing predicted and observed natural inflow. From these analyzes it has been possible to identify and propose improvements in the inputs used in the model, as well as in the methodology itself. Frequently the Brazilian watersheds have low density of precipitation stations, reducing the quality of the estimated average rainfall and, consequently, the performance of inflow forecasting. This paper evaluates the results of SMAP/ONS model forced by merged satellite data information with observed precipitation to improve the mean observed precipitation over a watershed.

Palavras-Chave – previsão de vazões, chuva estimada por satélite, modelagem chuva-vazão.

INTRODUÇÃO

O parque gerador de energia elétrica brasileiro, no âmbito do Sistema Interligado Nacional – SIN, é predominantemente de base hidrelétrica. Mesmo com a crise hídrica ocorrida em diversas importantes bacias hidrográficas brasileiras nos últimos anos, cerca de 74% do total de energia produzida em 2018 foi de origem hidrelétrica. Em razão desta característica, para o planejamento e

1) ONS: rua Júlio do Carmo, 251 – Cidade Nova – Rio de Janeiro - RJ, 55-21-3444-9976, simone.bs@ons.org.br

2) ONS: rua Júlio do Carmo, 251 – Cidade Nova – Rio de Janeiro - RJ, 55-21-3444-9954, hcamargo@ons.org.br

3) ONS: rua Júlio do Carmo, 251 – Cidade Nova – Rio de Janeiro - RJ, 55-21-3444-9862, vforain@ons.org.br

4) ONS: rua Júlio do Carmo, 251 – Cidade Nova – Rio de Janeiro - RJ, 55-21-3444-9974, hugotorraca@ons.org.br

programação da operação eletroenergética do SIN, é necessária a previsão e a geração de cenários de vazões naturais afluentes aos aproveitamentos hidrelétricos situados nos seus quatro subsistemas, Sudeste/Centro-Oeste, Sul, Nordeste e Norte.

O Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS tem a responsabilidade de elaborar a previsão de vazões afluentes naturais médias diárias, semanais e mensais, para todos os locais de aproveitamentos hidrelétricos do SIN, além da geração de cenários de aflúências naturais mensais a partir do segundo mês, a serem utilizados nos processos de planejamento e programação da operação.

Desde 2009 o ONS utiliza o modelo conceitual SMAP/ONS para previsão das vazões naturais afluentes aos aproveitamentos da bacia do rio Grande, considerando os dados de estações pluviométricas e fluviométricas e de previsões de precipitação na bacia [ONS (2008)] [Braga et al. (2009)].

Para que modelagens do tipo chuva-vazão produzam previsões de vazões mais próximas às verificadas é imprescindível que os dados de vazões e chuva verificados, bem como a previsão de chuva tenham boa qualidade.

Em 2012, o ONS elaborou estudos para uma análise mais abrangente do desempenho do modelo de previsão de precipitação adotado na época (ETA40). Estes estudos mostraram uma nítida tendência das previsões deste modelo apresentar erros maiores quando da previsão de totais de chuva mais elevados, resultando no aprimoramento da metodologia de remoção de viés da previsão de precipitação [ONS (2013)] [Braga et al. (2013)] já utilizada nos modelos de previsão de vazões uma semana à frente nas bacias do alto/médio rio Grande [ONS (2008)] [Braga et al. (2009)], do rio Paranapanema [ONS (2009)] e do rio São Francisco [Paiva et al. (2009)].

No entanto, sabe-se que os resultados de previsões determinísticas de precipitação apresentam um decréscimo de qualidade à medida que o horizonte da previsão aumenta. As razões destas divergências estão relacionadas, entre outras, ao comportamento caótico da atmosfera, às aproximações físicas utilizadas na modelagem e às incertezas associadas às condições iniciais da atmosfera.

De forma a aperfeiçoar ainda mais os dados de previsão de precipitação utilizados para processamento do modelo SMAP/ONS, em 2016 o ONS desenvolveu uma metodologia para uso de previsões de precipitação combinadas [ONS (2016)].

Em busca de uma contínua melhoria das previsões de vazões, e, considerando a baixa densidade de estações para monitoramento hidrometeorológico, além das limitações dos pluviômetros na representação espacial da chuva média verificada em bacias hidrográficas de média e grande escalas, espera-se um aperfeiçoamento na obtenção da chuva média verificada ao agregar informações de chuva estimada por satélite.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é avaliar os possíveis ganhos no desempenho da previsão de vazões dos aproveitamentos da bacia do rio Grande ao agregar informações da combinação de chuva estimada por satélite com observações meteorológicas para obtenção da precipitação média verificada das bacias hidrográficas, utilizando o modelo SMAP/ONS.

MODELO SMAP/ONS

O modelo SMAP (Soil Moisture Accounting Procedure) é um modelo conceitual de simulação hidrológica, do tipo transformação chuva-vazão. Foi desenvolvido em 1981 por Lopes, J.E.G., Braga, B.P.F. e Conejo, J.G.L., apresentado no International Symposium on Rainfall-Runoff Modeling realizado em Mississipi, U.S.A. e publicado pela Water Resources Publications (LOPES et al., 1982).

O modelo se baseia na divisão da vazão em escoamento superficial e em escoamento subterrâneo, uma vez que eles possuem características distintas. Essa divisão é feita utilizando a equação de runoff do Soil Conservation Service (SCS) do Estados Unidos, sendo cada parcela armazenada em reservatórios fictícios que são responsáveis por descrever a forma e a duração dos escoamentos.

Com vistas a uma melhor adaptação às características específicas de algumas bacias, o modelo diário SMAP utilizado pelo ONS [ONS (2017)] possui alguns aprimoramentos metodológicos e algumas diferenças de aplicação do original, a saber:

- uso de coeficientes de representação temporal da precipitação;
- uso de coeficiente de ajuste da evapotranspiração potencial;
- criação de um quarto reservatório (reservatório de planície), como possibilidade de evaporação própria; e,
- possibilidade de utilização de até dois coeficientes de recessão do reservatório de escoamento superficial.

Desta forma, no modelo SMAP/ONS a parcela do escoamento superficial (E_s) é transferida para o reservatório de superfície (R_{sup}), onde são calculados os escoamentos superficiais (E_d e E_{d3}), assim como a transferência da água (M_{arg}) para o reservatório de planície (R_{sup2}). A partir do R_{sup2} é calculado o escoamento superficial de planície (E_{d2}) e uma parcela de evaporação (E_{marg}).

A parcela que infiltra ($P - E_s$) é transferida para o reservatório de solo (R_{solo}), onde é computada a parcela de evapotranspiração real (E_r), em função da taxa de umidade do solo, e também há transferência para o reservatório subterrâneo (R_{sub}), através da recarga do aquífero (Rec), desde que não tenha sido atingido o limite da capacidade de campo do solo ($Capc$). No reservatório R_{sub} então é calculado o escoamento subterrâneo (E_b). A vazão é calculada então como a soma dos escoamentos E_{d1}, E_{d2}, E_{d3} e E_b

Sendo assim, as variáveis de estado de cada um dos quatro reservatórios são atualizadas a cada instante de tempo. Na figura 01 é apresentado o esquema do modelo SMAP/ONS.

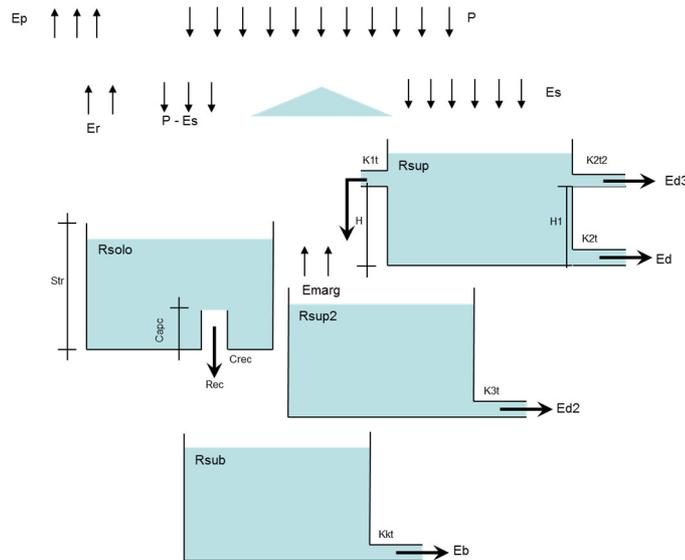


Figura 01 – Esquema do modelo SMAP

Os dados de entrada do modelo no modo operacional são os totais diários de precipitação previstos e observados, os totais diários de evapotranspiração potencial e as vazões médias diárias observadas $Q_{obs}(t)$ do período de assimilação de dados.

DESCRIÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

A bacia do rio Grande está localizada ao sul do estado de Minas Gerais e ao norte de São Paulo. Possui uma área de drenagem de 139.437 km² e quinze aproveitamentos hidroelétricos, em operação, integrados ao SIN (Camargos, Itutinga, Funil, Furnas, Mascarenhas de Moraes, L.C.Barreto, Jaguará, Igarapava, Volta Grande, Porto Colômbia, Caconde, Euclides da Cunha, A.S. Oliveira, Marimbondo e Água Vermelha).

A precipitação média anual na bacia do rio Grande varia em torno de 1.500 mm, exceto em algumas regiões da Serra da Mantiqueira, onde ultrapassa 3.000 mm. A sua estação chuvosa ocorre, predominantemente, no verão, estendendo-se de outubro a março, quando ocorrem cerca de 80% do total precipitado sobre a bacia. O trimestre mais chuvoso é formado pelos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. A estação seca é definida pelo período de abril a setembro, que abrange o inverno [ONS (2005)].

A rede hidrográfica da bacia, estando sob influência das chuvas de verão e registra maiores vazões nos meses de dezembro e janeiro. A vazão média anual de longo termo (1931/2017) em Água Vermelha, última usina da cascata, é de 2.067 m³/s, o que corresponde a uma vazão específica de 14,8 l/s/km².

Para aplicação do modelo, optou-se pela previsão direta das vazões apenas para os aproveitamentos de Camargos, Funil, Furnas, Porto Colômbia, Euclides da Cunha, Marimbondo e Água Vermelha. Os oito aproveitamentos restantes do trecho tem suas vazões previstas calculadas, posteriormente, com base nas distribuições dos valores previstos para estes sete locais.

Algumas estações fluviométricas existentes na bacia foram consideradas como pontos de cálculo do modelo, devido à importância de suas localizações e áreas de controle. Estas estações foram Porto dos Buenos e Paraguaçu, situadas na bacia incremental entre os aproveitamentos de Furnas e Funil, Fazenda Capão Escuro, localizada na bacia incremental entre os aproveitamentos hidrelétricos de Porto Colômbia e Furnas e Passagem, localizada na bacia incremental entre os aproveitamentos de Marimbondo e Euclides da Cunha.

Na figura 02 e na tabela 01 são apresentados, respectivamente, a localização e as áreas de drenagem das onze sub-bacias selecionadas para a aplicação do modelo.

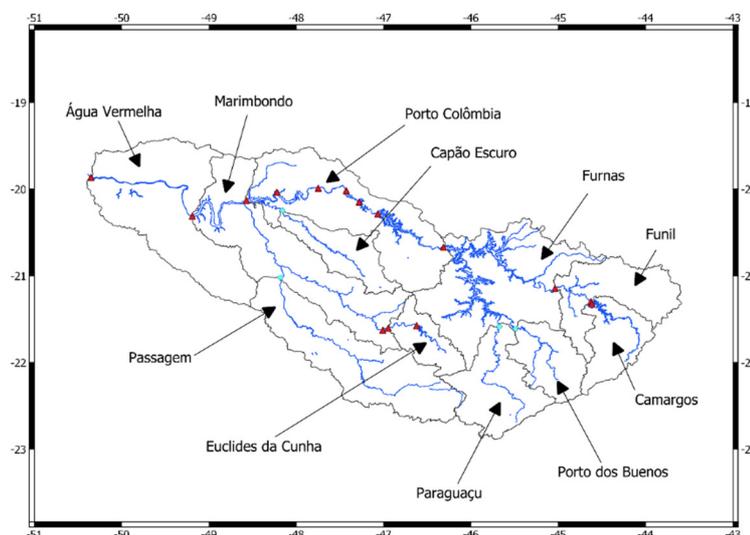


Figura 02 – Localização das sub-bacias

Tabela 01 – Características das sub-bacias

Sub-bacia	Tipo	Área (km ²)	% do total
Camargos	UHE	6.279	4,6%
Funil	UHE	9.491	6,8%
Porto dos Buenos	Posto fluviométrico	6.366	4,6%
Paraguaçu	Posto fluviométrico	9.501	6,8%
Furnas	UHE	20.501	14,7%
Fazenda Capão Escuro	Posto fluviométrico	5.906	4,2%
Porto Colômbia	UHE	19.383	13,9%
Euclides da Cunha	UHE	4.392	3,1%
Passagem	Posto fluviométrico	16.650	11,9%
Marimbondo	UHE	20.046	14,4%
Água Vermelha	UHE	20.922	15,0%
Total		139.437	100,0

PRECIPITAÇÃO MÉDIA VERIFICADA

Com vistas à etapa de calibração e validação de parâmetros de modelos hidrológicos, costuma-se trabalhar com uma rede de estações pluviométricas o mais densa possível. Desta forma, para aplicação do modelo SMAP/ONS na bacia do rio Grande foi realizada uma ampla pesquisa das estações existentes na bacia e, posteriormente, uma coleta de dados junto aos agentes de geração e Agência Nacional de Águas - ANA, para o período de dados utilizado (1995 a 2007), somando-se aos dados já disponíveis no ONS. Sendo assim, para fins de calibração e validação dos parâmetros do modelo SMAP/ONS foram consideradas cerca de 230 estações pluviométricas na bacia do rio Grande, com a distribuição espacial apresentada na figura 03.

Na etapa operacional do modelo são utilizadas apenas as estações pluviométricas com transmissão em tempo real, ou seja, telemétricas. Considerando os dados telemétricos recebidos pelo ONS, a configuração atual do modelo SMAP/ONS para previsão de vazões dos aproveitamentos da bacia do rio Grande considera cerca de 70 estações pluviométricas com a distribuição espacial apresentada na figura 04.

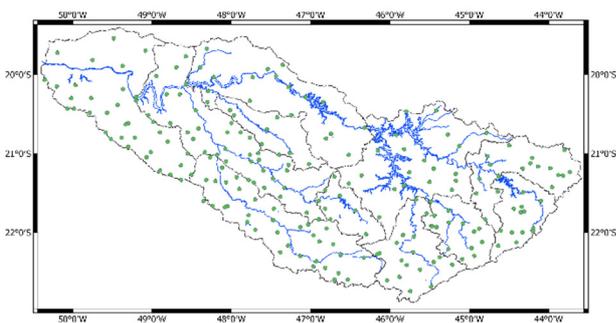


Figura 03 – Localização dos postos pluviométricos utilizados na calibração do modelo

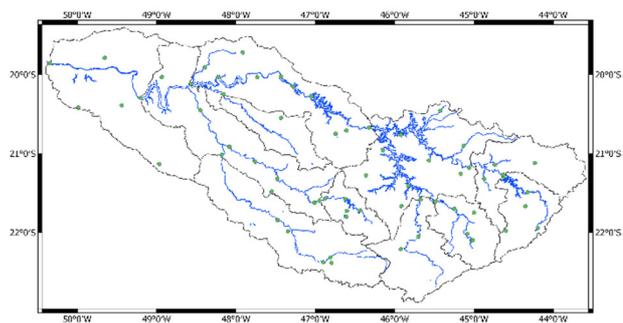


Figura 04 – Localização dos postos pluviométricos utilizados na etapa operacional do modelo

Frequentemente as bacias hidrográficas brasileiras possuem baixa densidade de estações telemétricas, reduzindo a qualidade da estimativa da precipitação média verificada. A Resolução Conjunta ANEEL/ANA nº 03, de 10 de agosto de 2010, estabelece as condições e os procedimentos a serem observados pelos concessionários e autorizados de geração de energia hidrelétrica para a instalação, operação e manutenção de estações hidrométricas visando o monitoramento hidrometeorológico, e impõe um conjunto mínimo de três estações pluviométricas para bacias com área de drenagem incremental entre 500 km² e 5.000 km² e um conjunto mínimo de quatro estações pluviométricas para bacias com área de drenagem incremental entre 5.000 km² e 50.000 km².

No entanto, a baixa densidade de estações pluviométricas impacta a estimativa da precipitação média verificada e, conseqüentemente, o desempenho dos modelos de previsão do tipo chuva-vazão.

Neste sentido, espera-se com o uso de chuva estimada por satélite aprimorar a estimativa da precipitação média verificada em sub-bacias com monitoramento pluviométrico de baixa densidade e, com isso, melhorar a qualidade das previsões de vazões.

O uso de satélites meteorológicos na estimativa de precipitação teve início na década de 60. Os primeiros métodos se baseavam em técnicas passivas, isto é, que utilizam instrumentos ou sensores a bordo de satélites meteorológicos que recebem radiação refletida ou emitida pela Terra nos canais visível e infravermelho. De uma maneira geral, nesses algoritmos, a precipitação é inferida apenas com as informações da estrutura do topo das nuvens. Posteriormente, surgiram os algoritmos que utilizam frequência de micro-ondas, que são fisicamente mais diretos que os anteriores, uma vez que a água líquida (precipitação) é a principal fonte de atenuação da radiação emitida.

Com o avanço da tecnologia e a utilização de técnicas ativas, isto é, que emitem e recebem a onda eletromagnética, o uso operacional das estimativas de precipitação ainda precisava superar algumas dificuldades. Dentre elas, destacam-se as falhas na cobertura espacial das estimativas e a obtenção de uma estimativa precisa, quantitativa, dos vários sistemas que causam precipitação, que possuem características diferentes fisicamente e dinamicamente. No final da década de 90, o Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) tentou quantificar a precipitação na região tropical combinando não somente sensores ativos e passivos a bordo de satélites, mas também instrumentos e algoritmos de diferentes espectros da radiação eletromagnética: visível, infravermelho, micro-ondas, vapor d'água entre outros. Depois de 17 anos, a missão terminou oficialmente em 2015. Desde fevereiro de 2014, o Global Precipitation Measuring Mission (GPM) deu continuidade e melhorou os produtos de estimativa de precipitação global, principalmente no que se refere a cobertura espacial. Enquanto o TRMM coletava dados entre 35°S e 35°N, o GPM coleta dados entre 65°S e 65°N.

Especificamente neste trabalho, foi utilizado um dos produtos do GPM: a versão EARLY do Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (IMERG). O algoritmo calibra, adiciona e interpola vários métodos de estimativa de precipitação, dados de precipitação coletados de estações meteorológicas em superfície e estimativas em diferentes escalas espaciais e temporais. O dado é gerado a cada 30 minutos para o globo todo. Para este trabalho, a chuva do dia D foi obtida integrando a chuva do IMERG EARLY entre 12Z do dia D-1 às 12Z do dia D para corresponder com as observações meteorológicas de superfície. Com o intuito de melhorar a qualidade da média na bacia que serve como insumo do SMAP, dados de precipitação coletados no ONS são combinados com o IMERG EARLY seguindo algoritmo similar ao apresentado em Rozante et al. (2010).

RESULTADOS

Uma forma comum de aferir a qualidade de séries de vazões previstas consiste em calcular uma cesta de indicadores e avaliá-los de maneira subjetiva. Os indicadores mais comuns utilizados em

hidrologia são: Erro Médio, Desvio Médio Absoluto, Erro Percentual, Erro Médio Percentual, Erro Médio Percentual Absoluto, Erro Quadrático Médio, Raiz do Erro Quadrático Médio e Coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe. No entanto, o uso de diversos indicadores, pode dificultar a avaliação quando são obtidos resultados conflitantes.

Além disso, indicadores que levam em consideração a média das observações podem ser considerados como adequados para uma avaliação de longo prazo, enquanto aqueles que estão voltados para a avaliação de cada realização podem ser considerados como adequados para uma avaliação de curto prazo.

Tentando minimizar esta questão, o ONS passou a utilizar desde 2010 um indicador único que traduz objetivamente a diferença entre uma série observada e outra prevista, denominado “Distância multicritério” [ONS (2018)].

Para tanto, foi adotada uma combinação do indicador de “curto prazo”, Desvio Médio Percentual Absoluto – MAPE, e do indicador de longo prazo Coeficiente de Nash-Sutcliffe – NS, cujas fórmulas estão descritas nas equações 01 e 02.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{O_t - P_t}{O_t} \right| \quad (1)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (P_t - O_t)^2}{\sum_{t=1}^n (O_t - \bar{O})^2} \quad (2)$$

Onde:

- n – número de intervalos de tempo
- O_t - vazão observada no intervalo de tempo t
- O – média das vazões observadas nos intervalos de tempo de 1 a n
- P_t - vazão prevista no intervalo de tempo t

O índice Distância Multicritério – DM utiliza os indicadores como um par ordenado (1-NS, MAPE), e calcula a distância euclidiana ao ponto ótimo, no caso (0,0), como mostrado na figura 05 e na equação 03.

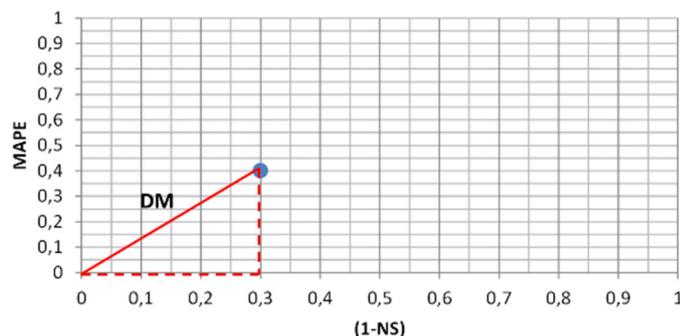


Figura 05 – Índice Distância Multicritério – DM

$$DM = \sqrt{(1 - NS)^2 + MAPE^2} \quad (3)$$

Os indicadores MAPE e DM quanto mais próximos de zero, mais caracterizam um bom desempenho. Por outro lado, o indicador NS quanto mais próximo de um, melhor terá sido o desempenho do modelo.

A fim de avaliar o desempenho das vazões diárias previstas ao agregar informações de satélite na obtenção da precipitação média verificada das sub-bacias, foi processado o modelo SMAP/ONS para as 52 semanas do ano de 2018, utilizando apenas dados de estações pluviométricas telemétricas e depois utilizando também dados de satélite. Tendo em vista que o impacto nas previsões de vazões do dado de precipitação média verificada é mais concentrado nos primeiros dias de previsão, apesar do modelo SMAP/ONS ter sido processado para um horizonte de 12 dias de previsão, a análise dos resultados foi baseada na média dos três primeiros dias.

Os resultados obtidos podem ser verificados nas tabelas 02 e 03 e nas figuras 06 e 07.

Tabela 02 – Resultados com o uso apenas de estações pluviométricas telemétricas

RESERVATÓRIO	MAPE	NASH	1-NASH	DM
CAMARGOS	0,10	0,87	0,13	0,16
FUNIL	0,11	0,89	0,11	0,15
FURNAS	0,13	0,88	0,12	0,18
PCOLOMBIA	0,07	0,95	0,05	0,09
ECUNHA	0,10	0,89	0,11	0,15
MARIMBONDO	0,08	0,95	0,05	0,09
AVERMELHA	0,09	0,92	0,08	0,11

Tabela 03 – Resultados com o uso de estações pluviométricas telemétricas e dados de satélite

RESERVATÓRIO	MAPE	NASH	1-NASH	DM
CAMARGOS	0,09	0,90	0,10	0,14
FUNIL	0,10	0,91	0,09	0,13
FURNAS	0,13	0,91	0,09	0,15
PCOLOMBIA	0,07	0,95	0,05	0,09
ECUNHA	0,09	0,92	0,08	0,12
MARIMBONDO	0,07	0,95	0,05	0,09
AVERMELHA	0,09	0,93	0,07	0,11

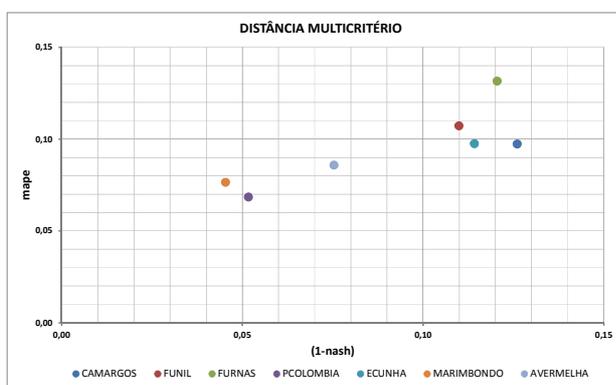


Figura 06 – DM com o uso apenas de estações pluviométricas telemétricas

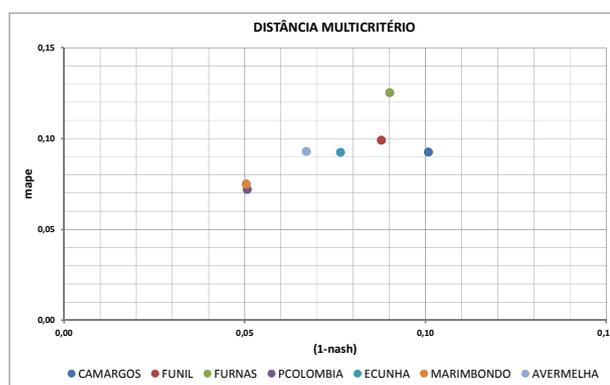


Figura 07 – DM com o uso de estações pluviométricas telemétricas e dados de satélite

Pode-se notar que em quatro reservatórios da bacia do rio Grande houve ganhos com a incorporação de chuva de satélite, sendo mantido o desempenho médio dos outros três reservatórios. Além disso, uma grande virtude da metodologia apresentada é reduzir os desvios pontuais em casos que a precipitação ocorre em áreas pequenas e com forte intensidade, podendo não ser registrada pela rede pluviométrica.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Para que modelos do tipo chuva-vazão obtenham previsões de vazões mais próximas às verificadas é imprescindível que os insumos utilizados, ou seja, vazões verificadas e chuva verificada e prevista tenham boa qualidade.

A medição da precipitação verificada, de modo usual, é feita por meio de pluviômetros. Contudo, sabe-se das limitações desses equipamentos na representação espacial da chuva em grande escala, além da baixa densidade de estações pluviométricas nas bacias hidrográficas brasileiras.

Neste sentido, este estudo apresentou os ganhos no desempenho do modelo SMAP/ONS ao agregar informações de precipitação obtida por satélite no cálculo da precipitação média verificada nos reservatórios da bacia do rio Grande.

Sendo assim, recomenda-se a ampliação deste estudo para outras bacias hidrográficas brasileiras, de preferência com regimes pluviométricos diversificados.

REFERÊNCIAS

- BRAGA, R.S.; CATALDI, M.; OLIVEIRA, H.C. (2009). “*Metodologia para previsão de vazões na bacia do rio Grande*” in Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande, Nov. 2009.
- BRAGA, R.S.; CATALDI, M. (2013). “*Tratamento da previsão de precipitação do modelo ETA para uso em previsão hidrológica*” in Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves, Nov. 2013.
- HUFFMAN, G.; BOLVIN, D.; BRAITHWAITE, D.; HSU, K.; JOYCE, R.; XIE, P.; (2014). *Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG)*, version 4.4. NASA's Precipitation Processing Center, accessed 31 March, 2015, <ftp://arthurhou.pps.eosdis.nasa.gov/gpmdata/>
- ONS (2005). “*Revisão das séries de vazões naturais nas principais bacias do SIN*”, Relatório Executivo, 126p.
- ONS (2008). “*Metodologia para a previsão de vazões uma semana à frente na bacia do alto/médio rio Grande*”, NT 139/2008, 102p.
- ONS (2009). “*Metodologia para a previsão de vazões uma semana à frente na bacia do rio Paranapanema*”, NT 126/2009, 81p.
- ONS (2013). “*Proposta de aprimoramento da metodologia de remoção de viés da previsão de precipitação - Aplicação nas bacias do alto/médio rio Grande e do rio Paranapanema*”, NT-12/2013, 65p.
- ONS (2016). “*Uso de previsão de precipitação por conjunto para a previsão de vazões da primeira semana operativa*”, NT-156/2016, 58p.
- ONS (2017). “*Programa computacional SMAP*”, Manual de metodologia, 19p.
- ONS (2018). “*Relatório anual de avaliação das previsões de vazões e Energias Naturais Afluentes de 2017*”, Relatório DPL-REL 0206/2018, 100p.
- PAIVA, L.F.G.; BARROS, A.M.L.; VALENÇA, M.J.S. (2009). “*Aplicação do modelo NEURO3M para previsão de vazões naturais afluentes ao reservatório de Três Marias*”. In Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande, Nov. 2009
- ROZANTE, J.R.; MOREIRA, D.S.; DE GONCALVES, L.G.G.; VILA, D.A. (2010) “*Combining TRMM and Surface Observations of Precipitation: Technique and Validation over South America*”. Weather and Forecast, v.25, 885–894.