

## **XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**

### **ANÁLISE COMPARATIVA DE PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO E O MODELO MBG-IPH NO NORDESTE BRASILEIRO**

*Paloma Mara de Lima Ferreira <sup>1</sup> ; Victor Santos Galvão Baptista <sup>2</sup> & Adriano Rolim da Paz <sup>3</sup>*

**RESUMO** – O monitoramento e a previsão dos recursos hídricos sob as mudanças climáticas dependem de observações de sensoriamento remoto (SR) e de sistemas de modelagem hidrológica confiáveis. O SR oferece boa cobertura geográfica e detém a capacidade de fornecer a modelos hidrológicos (MH) grandes quantidades de dados distribuídos espacialmente. Neste sentido, este estudo apresenta uma análise espaço-temporal de dados de precipitação (TRMM), umidade do solo (SMOS) e evapotranspiração real - ETr (MODIS) comparando com dados simulados do MGB-IPH. A área analisada é a região do bioma brasileiro Caatinga e parte da bacia hidrográfica do rio Piancó. Os resultados mostram que a umidade do solo se concentra mais na região norte e nordeste da Caatinga coincidindo com a área de maior ocorrência de precipitações. As estimativas dos dados mensais obtidos por SR para a bacia hidrográfica do rio Piancó apresentaram relativamente boa correlação quando comparado às estimativas do MGB-IPH (Asc.SMOS = 0,71; Des.SMOS = 0,77 e ETr-MOD16 = 0,76). Verificou-se também que a precipitação (TRMM) possui relação direta com os dados da ETr (MOD16) e da umidade do solo (SMOS). Conclui-se que os dados estimados via SR quando comparados com os dados provenientes de simulação hidrológica do MGB-IPH apresentaram uma regularidade sazonal significativa.

**ABSTRACT**– Monitoring and prediction of water resources under climate change depend on remote sensing (RS) observations and reliable hydrological modelling systems. RS provides good geographic coverage and holds the ability to provide hydrological models (HM) with large amounts of spatially distributed data. In this context, this study presents a spatiotemporal analysis of rainfall data (TRMM), soil moisture (SMOS) and actual evapotranspiration - ETr (MODIS), comparing with simulated data of the MGB-IPH. The area analyzed is the region of the Brazilian Caatinga biome and part of the Piancó river basin. The results show that soil moisture is more concentrated in the north and northeast of the Caatinga, coinciding with the area with the highest occurrence of precipitation. The estimates of RS monthly data for the Piancó river basin presented a relatively good correlation when compared to the MGB-IPH estimates (Asc.SMOS = 0.71; Des.SMOS = 0.77 and ETr-MOD16 = 0.76). It was also verified that the precipitation (TRMM) is directly related to the ETr (MOD16) and soil moisture (SMOS) data. It is concluded that the data estimated by SR when compared to the data from MGB-IPH hydrological simulation showed a significant seasonality.

**Palavras-Chave** – Semiárido; Modelagem hidrológica; TRMM; SMOS; MOD16.

1) Pós-graduação em engenharia civil e ambiental/UFPB, João Pessoa – PB. E-mail: paloma\_mara@hotmail.com.br

2) Pós-graduação em engenharia civil e ambiental/UFPB, João Pessoa – PB. E-mail: victorsgb@gmail.com

3) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental/UFPB, João Pessoa – PB. E-mail: adrianorpaz@yahoo.com.br

## INTRODUÇÃO

As regiões semiáridas compreendem cerca de 30% da área terrestre global e estão localizadas nas Américas, Oceania, Ásia e África. Atualmente, existem 1.136 municípios na região semiárida do Brasil, ocupando uma área de 969.589,4 km<sup>2</sup>, distribuídos em oito estados da Região Nordeste do Brasil (NEB), e incluindo parte da região Sudeste (parte do Estado de Minas Gerais). Tal região é caracterizada por vegetação natural denominada caatinga, altas temperaturas e chuvas instáveis, tanto na dimensão temporal quanto espacial (Rossato *et al.*, 2017), sendo sua principal característica a seca frequente causada pela ausência prolongada de chuvas (Barbosa *et al.*, 2015; Marengo *et al.*, 2016). As mudanças climáticas têm sido amplamente estudadas, a fim de promover uma melhoria no conhecimento dos mecanismos de funcionamento de sistemas climáticos e do ciclo hidrológico. Projeções climáticas futuras indicam riscos de secas severas, reduções de precipitação de até 40% e aumento de dias secos consecutivos em regiões semiáridas (Marengo *et al.*, 2016).

O monitoramento e a previsão dos recursos hídricos sob as mudanças climáticas dependem de observações *in loco* e de sensoriamento remoto (SR), além de sistemas de modelagem hidrológica confiáveis (Xu *et al.*, 2014). Observações de campo são geralmente baseadas em fontes pontuais irregulares, com cobertura espacial limitada e esparsa, exceto em áreas desenvolvidas. O SR oferece melhor cobertura geográfica e detém a capacidade de fornecer a modelos hidrológicos (MH) grandes quantidades de dados distribuídos espacialmente. Um grande número de variáveis hidrológicas pode ser estimado usando SR como: precipitação (Soares *et al.*, 2016), umidade do solo (Souza *et al.*, 2018; Rossato *et al.*, 2017), armazenamento de água terrestre (Meyer *et al.*, 2017), evapotranspiração (Chun *et al.*, 2018; Abiodun *et al.*, 2018), etc.

Produtos hidrológicos de SR estão cada vez mais disponíveis nas últimas décadas, podendo ser usados tanto como entrada de dados como na validação de MH (Kittel *et al.*, 2017; Meyer *et al.*, 2017), de forma a avaliar até que ponto os resultados simulados se aproximam ou não de observações de sensores remotos. Recentemente, surgiram novas possibilidades para avanços na integração de SR e MH no processo de calibração (Herman *et al.*, 2018; Rajib *et al.*, 2018; Odusanya *et al.*, 2018).

Missões de SR proporcionam produtos gratuitos com qualidade cada vez mais superior, em termos de resolução espacial e temporal. Missões como o SRTM (“*Shuttle Radar Topography Mission*”) apresentam produtos com 30 metros de resolução espacial, bem como o TRMM (“*Tropical Rainfall Measurement Mission*”) apresenta resolução temporal sub-diária. Destacam-se também o uso de produtos do SMOS (“*Soil Moisture and Ocean Salinity*”), lançado em 2009, para umidade do solo, do MODIS (“*Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer*”) para evapotranspiração real (ET<sub>r</sub>) e outras variáveis.

Nesse contexto, este artigo apresenta uma análise espaço-temporal de dados de precipitação (TRMM), umidade do solo (SMOS) e ETr (MODIS) comparando com dados simulados com o modelo hidrológico distribuído MGB-IPH. A área analisada é a região do bioma brasileiro Caatinga e parte da bacia hidrográfica do rio Piancó (área de aplicação do MGB-IPH), semiárido paraibano. Os dados utilizados para as análises compreendem o período de janeiro de 2010 a junho de 2018, em escala de tempo mensal.

## METODOLOGIA

### Descrição da área de estudo

A região do bioma Caatinga se concentra na maior parte do Nordeste brasileiro, ocupando cerca de 11% do território nacional e é o único sistema ambiental exclusivamente brasileiro e o bioma semiárido mais biodiverso do mundo. A bacia hidrográfica do Rio Piancó está totalmente inserida no sertão paraibano. A aplicação do modelo MGB-IPH usada para esse estudo foi realizada na sub-bacia hidrográfica delimitada a montante do posto fluviométrico Piancó (Código ANA 37340000) com área de drenagem de 4.603,39 km<sup>2</sup> (Figura 1).

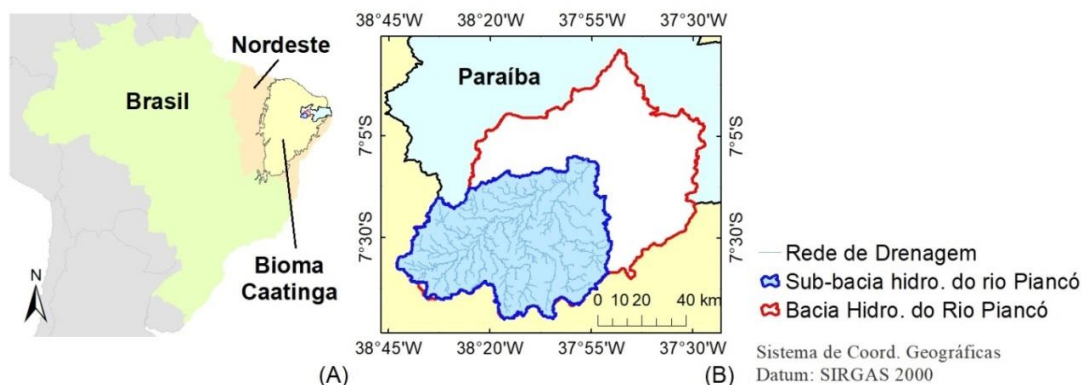


Figura 1 – (A) Localização do Bioma Caatinga e (B) Localização da sub-bacia hidrográfica do rio Piancó.

### Produtos de sensoriamento remoto

#### a) Precipitação (TRMM)

Os dados estimados pelo algoritmo 3B43 (versão 7) correspondem à precipitação obtida a partir da fusão de informações de diversos satélites (GMS, GOES-E, GOES-W, Meteosat-7, Meteosat-5, e NOAA-12) aos dados do satélite TRMM (disponibilizados no link: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>). O algoritmo é responsável pelas estimativas diárias e mensais numa resolução espacial de 0,25° x 0,25° (aproximadamente 27,5 km), abrangendo até as latitudes 50° Norte e 50° Sul (NASA, 2019). A partir dos dados espaciais mensais foram extraídas as séries temporais para as áreas de estudo delimitadas referentes ao período de janeiro de 2010 a junho de 2018.

#### b) Umidade do solo (SMOS)

A missão SMOS oferece produtos de umidade do solo ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ ) na versão L3 com resolução espacial de 25 km e resolução temporal mensal de órbita ascendente e descendente, para as áreas de estudo em análise, referentes ao período de janeiro de 2010 a junho de 2018. Tais produtos são disponibilizados pelo portal eletrônico do CATDS (<https://www.catds.fr/sipad/>). Os dados são fornecidos no sistema de grade EASE versão 2.0. Esses produtos foram gerados a partir do Produto de Dados do Usuário de Umidade do Solo L2 (UDP) fornecido pela ESA (Souza *et al.*, 2018). O motivo pelo qual as órbitas ascendente e descendente são processadas separadamente é que na primeira (horário de passagem perto das 06h00, horário local) se espera que os efeitos da ionosfera sejam mínimos, assim como que as condições da superfície estejam próximas do equilíbrio térmico, tendendo a apresentar resultados mais acurados que a segunda (horário de passagem perto das 18h00, horário local), cujos gradientes de temperatura são mais elevados (CATDS, 2013).

Para a integração temporal, o conjunto de dados foi inicialmente processado com a finalidade de se identificar e excluir todos os pixels com falhas das áreas referentes às delimitações da Caatinga e da bacia do Piancó. Um pixel foi considerado com falha quando este não continha informação de umidade do solo em pelo menos uma das imagens mensais do período considerado e sua exclusão visou permitir o cálculo dos valores médios mensais para cada área delimitada sem que tais pixels com falha viessem a enviesar os resultados. Tal exclusão correspondeu a uma redução de apenas 4,7% na quantidade total de pixels de delimitação da Caatinga e de nenhum para a delimitação da bacia do Piancó. Já a análise espacial foi realizada mediante a sobreposição das imagens de cada mês do ano e posterior reclassificação, visando a exclusão de pixels com falha, para obtenção da umidade do solo média, de cada mês do ano, em cada pixel. Tais imagens raster processadas possibilitaram a análise visual da distribuição média da umidade do solo, para cada mês do ano.

A comparação das informações de umidade do solo do SMOS com os dados provenientes de simulação hidrológica com o modelo MGB-IPH aconteceu mediante a normalização dos dados (Equação 1), segundo o procedimento adotado por Meyer *et al.* (2017).

$$z_i = \frac{X_i - X_{\text{médio}}}{s} \quad (1)$$

Onde  $z_i$  se refere ao dado normalizado (denominado percentil) de ordem  $i$  correspondente ao valor de umidade do solo  $X_i$ , que faz parte do conjunto de dados de umidade do solo nos quais  $X_{\text{médio}}$  e  $s$  são sua respectiva média e desvio padrão.

### c) Evapotranspiração real (MODIS)

O sensor MODIS oferece produtos de uso e cobertura da terra, de albedo, de índice de área foliar e de fração de radiação fotossinteticamente ativa absorvida, os quais, acoplados com dados

meteorológicos de reanálise de radiação solar incidente, pressão do vapor d'água e temperatura do ar, resultam em produtos globais de estimativas de ETr (Meyer *et al.*, 2017), disponibilizados a partir do algoritmo MOD16 (Mu *et al.*, 2013; Ruhoff *et al.*, 2013). Tal algoritmo é baseado na equação de Penman-Monteith, adaptado para dados de SR, para calcular transpiração da copa da vegetação, a evaporação da precipitação interceptada pelo dossel e a evaporação do solo.

Os produtos da ETr (MOD16A2ET – disponibilizados no portal da NASA: <https://modis.ornl.gov/data.html>) foram processados (conversão das imagens - correção de escala - transformação para dados diários e aplicação de filtros) e recortados utilizando o limite da área de interesse. A discretização das imagens foi de aproximadamente 21744 células, com aproximadamente 500 x 500 m de resolução espacial e composição de imagens a cada 8 dias (mm/8 dias). As imagens utilizadas foram agregadas a nível mensal para o período de janeiro de 2010 a junho 2018.

### **Aplicação do modelo MGB-IPH**

O MGB-IPH é um modelo hidrológico distribuído para grandes bacias bem descrito em Collischonn *et al.* (2007). Para este estudo, foi tomado a aplicação do MGB-IPH à sub-bacia hidrográfica do rio Piancó desenvolvida por Felix e Paz (2016). No referido estudo, a área citada foi discretizada em 151 células, com aproximadamente 5 x 5 km, e o modelo foi rodado com passo de tempo diário. O período da calibração foi do dia 01/jan/1970 até 31/dez/1990, enquanto o período utilizado para validar o modelo foi de 01/jan/1991 até 31/dez/2011.

O detalhamento metodológico e resultados da calibração são apresentados em Felix e Paz (2016), mas em síntese o modelo conseguiu simular a forte sazonalidade da bacia, a distinção do efeito de anos mais úmidos e anos mais secos em relação ao porte das cheias, o instante de tempo de subida e de descida dos hidrogramas, e a intensidade das cheias de pequeno e médio porte, apresentando, entretanto, dificuldades quanto à representação dos picos das maiores cheias e à representação da intermitência do rio.

### **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A Figura 2 exibe a variação média da umidade do solo da Caatinga, de órbita ascendente e descendente do SMOS. Pode-se observar que houve uma variação considerável na umidade média mensal, com valores máximos e mínimos locais presentes em geral no primeiro e segundo semestre, respectivamente. Nota-se que em média a umidade do solo na passagem da órbita descendente é ligeiramente superior que a média da umidade registrada quando em órbita ascendente, o que pode ser explicado pelas condições diferentes da superfície, assim como outros fatores de interferência durante a passagem do satélite, como abordado anteriormente. A umidade do solo é mais acentuada, na média para toda a bacia, nos meses de fevereiro a abril (média de 14%, para órbita descendente e

12%, para órbita ascendente), e menos acentuada nos meses de setembro e outubro (média de 5,6%, para órbita descendente e 3,7%, para órbita ascendente).

Do ponto de vista espacial, em geral foi observada uma boa concordância entre os produtos, refletindo a coerência das estimativas de SR. Houve distinção entre valores de ETr e umidade do solo, com maiores valores nos meses úmidos (janeiro a junho) e menores valores nos meses secos (julho a dezembro). Na Figura 3a se observa que a umidade do solo se concentra mais na região norte e nordeste da Caatinga, de fevereiro a maio, tendendo a aumentar em uma pequena faixa na zona costeira ao leste de junho a agosto. No período de fevereiro a maio, pode-se notar que a região norte e nordeste da Caatinga também compreende os maiores valores de precipitação, indicando uma correspondência entre as duas variáveis (Figura 3b).

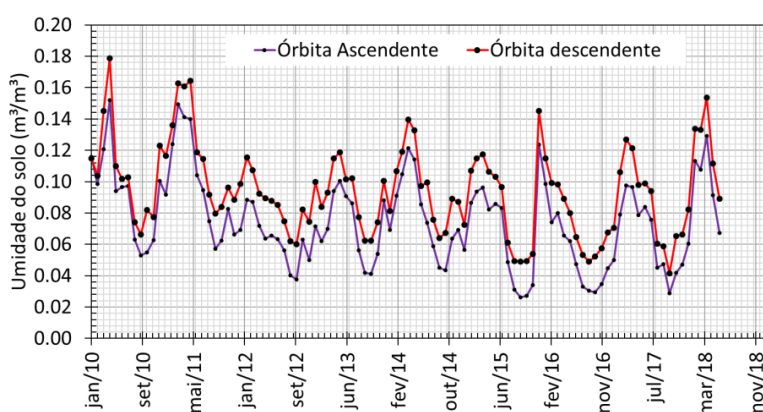


Figura 2 - Séries temporais de umidades do solo médias da Caatinga.

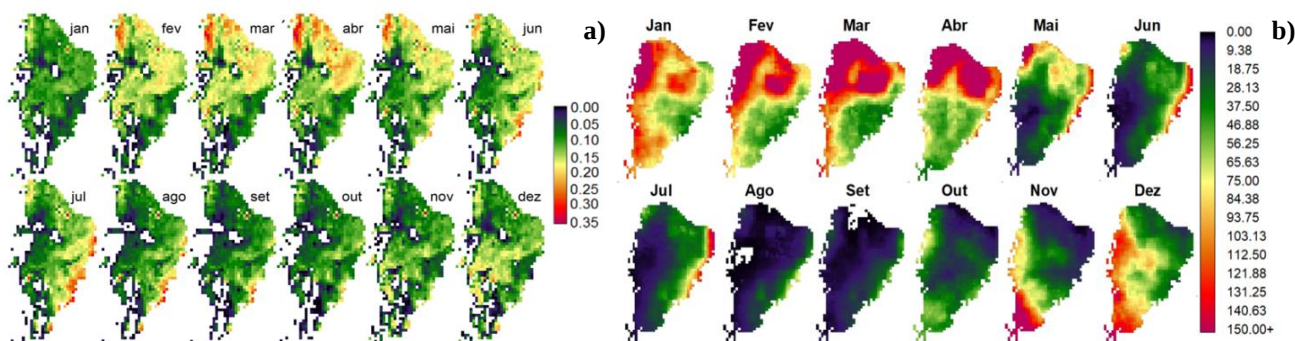


Figura 3 – a) Umidade do solo média ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ ) estimada pelos dados do sensor SMOS e b) precipitação média (mm) estimada pelos dados do TRMM-3Bxx para cada mês do ano, na Caatinga.

As chuvas também são mais acentuadas na zona costeira ao leste de maio a julho, indicando também certa correspondência com os padrões de umidade do solo. Porém, nos meses de novembro e dezembro as chuvas se concentram na região do sul a oeste da Caatinga e tal fenômeno não pôde ser observado quanto à distribuição espacial da umidade do solo. Isso aconteceu provavelmente porque houve muitos pixels com falha na referida região. As regiões mais afastadas da costa litorânea brasileira são as regiões onde a umidade do solo registrada pelo SMOS é menor, em média. A precipitação incidente na delimitação da Caatinga, registrada pelo TRMM, também seguiu

essa tendência. Na Figura 4, pode-se observar que os valores médios da Caatinga representaram bem o que aconteceu na bacia do rio Piancó, é possível mesmo padrão sazonal para os dados de precipitação (eixos da direita) e umidade do solo de órbita ascendente e descendente do SMOS (eixos da esquerda), como ilustrado na Figura 4, bem como em termos de variação de ETr.

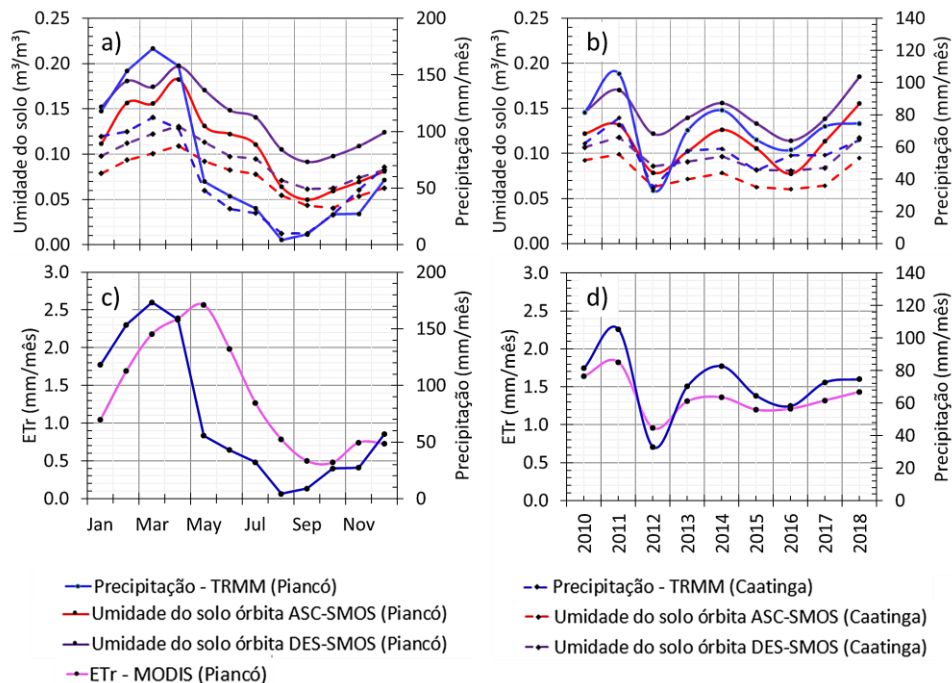


Figura 4 - Séries temporais médias do bioma Caatinga e da sub-bacia hidrográfica do rio Piancó: a) De cada mês do ano de umidade do solo (SMOS); b) Anuais de umidade do solo (SMOS); c) De cada mês do ano de ETr (MODIS) e d) Anuais de ETr (MODIS)

Os dados de precipitação (TRMM) ao comparar com os dados de precipitação de postos pluviométricos (média mensal de 14 postos pluviômetros distribuídos na bacia hidrográfica do rio Piancó) demonstraram boa correlação ( $r = 0.97$ ). Na Figura 5a se pode observar que as estimativas mensais do satélite TRMM (01/jan/2010 a 31/dez/2011) reproduzem de modo geral o padrão temporal do regime de chuvas na área citada, em termos de sazonalidade. Quanto à distribuição espacial das chuvas foi observado o mesmo apesar de não ser mostrado neste estudo devido à diferença de escala com relação à bacia hidrográfica do rio Piancó. Soares *et al.* (2016), confirmam as estimativas satisfatórias de precipitação do satélite TRMM para o estado da Paraíba, identificando padrões espaço-temporais em conformidade com o observado nas medições de vários postos pluviométricos.

Nas estimativas de ETr (MODIS), ao se comparar com as estimativas de ETr do modelo MGB-IPH, percebe-se uma tendência de subestimação. A Figura 5b mostra a variabilidade média mensal da ETr estimada pelo MGB-IPH e pelo MODIS, na qual se percebe que as estimativas seguiram um padrão sazonal se mantendo maiores no período chuvoso (janeiro a maio) e menores no período de estiagem (junho a dezembro). Os meses de março de 2011 (MGB-

IPH = 131,9 mm mês<sup>-1</sup> e MODIS = 98,7 mm mês<sup>-1</sup>) e setembro de 2010 (MGB-IPH = 6,0 mm mês<sup>-1</sup> e MODIS = 13,5 mm mês<sup>-1</sup>) apresentaram os maiores e menores valores totais mensais estimados de ETr, respectivamente. Sobretudo, percebe-se ainda que quanto maior a variação dos valores de precipitação maior é a variação da ETr (Figuras 6a e 6b), pela maior disponibilidade hídrica para atendimento da alta demanda evaporativa da região. Em termos absolutos a ETr apresentou relativamente boa correlação ( $r = 0,76$ ) quando comparada às estimativas do modelo MGB-IPH. Meyer *et al.* (2017), ao validar o modelo MGB-IPH com estimativas de ETr (MOD16), demonstraram maior discordância entre as séries históricas, apresentando resultados insatisfatórios para essa variável. Por outro lado, estudos como Ruhoff *et al.* (2013) e Ferreira *et al.* (2016) demonstraram boa correlação quando comparados às estimativas do MGB-IPH.

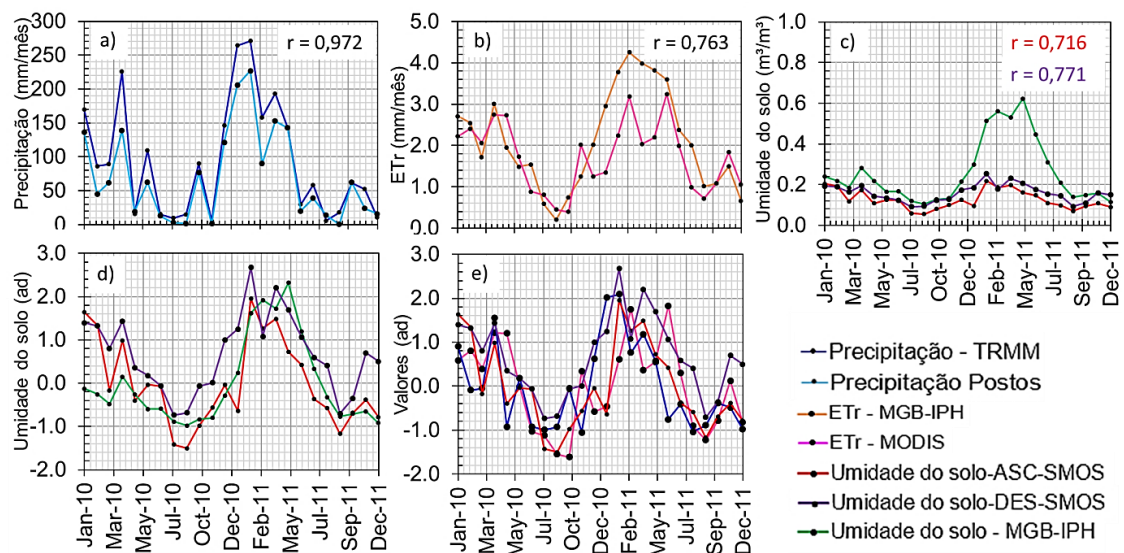


Figura 5 – Comparação com as séries observadas ou simuladas pelo modelo MGB-IPH e as series estimadas por SR: (a) precipitação (TRMM); (b) ETr (MODIS); (c) umidade do solo de órbita ascendente e descendente (SMOS); (d) umidade do solo normalizada (SMOS) e (e) ETr (MODIS), umidade do solo (SMOS) e precipitação (TRMM) normalizadas.

A Figura 5c e 5d exibe as séries de umidade do solo médias mensais na bacia do rio Piancó, provenientes do SMOS, para a órbita ascendente e descendente, e das simulações obtidas através da aplicação do modelo MGB-IPH na bacia hidrográfica do rio Piancó, realizada por Felix e Paz (2016). Na Figura 5d mostra os dados da Figura 5c normalizados segundo a Equação 1, para uma melhor visualização da variação da umidade do solo. Assim é possível observar que as diferenças entre os dados do SMOS e do MGB-IPH concentraram-se na sua maioria no período chuvoso de 2011 com valores alcançando até 144% superiores, coincidindo com o período posterior aos picos de precipitação como mostra a Figura 5e. Apesar da maior diferença entre as estimativas no ano de 2011, apresentaram correlação de 0,71 e 0,77 para as estimativas de umidade do solo de órbitas ascendentes e descendentes, respectivamente. Meyer *et al.* (2017) em seu estudo na bacia hidrográfica do rio Purus também observou boa concordância entre os dados de umidade do solo do

SMOS e do MGB-IPH, através da normalização dos dados também verificou padrão sazonal coerente na área estudada.

Na Figura 5e observa-se que a precipitação estimada a partir de imagens do satélite TRMM com agregação mensal (mm/mês) possui relação direta com os dados da ETr (MOD16) e da umidade do solo (SMOS). Em termos de sazonalidade foi possível identificar o comportamento da variação de umidade do solo e da ETr estimados por SR corroborando com o padrão das estimativas do MGB-IPH. De fato, fica evidente a coerência da variação temporal da umidade do solo (SMOS) e da ETr (MOD16) com a ocorrência de precipitação (TRMM).

## CONCLUSÕES

O presente estudo mostrou que, independentemente da consideração da área da Caatinga ou de uma parcela relativamente pequena dessa área (parte da bacia do rio Piancó), as sazonalidades presentes nas estimativas de chuva, umidade do solo e evapotranspiração real oriundas de produtos de SR se mantiveram consistentes para todo o período de janeiro de 2010 a junho de 2018. Também observou-se uma regularidade sazonal quando comparados com os dados provenientes de simulação hidrológica com o modelo distribuído MGB-IPH. Quanto à análise temporal, conclui-se que os resultados estimados pelo satélite SMOS diferem significativamente para o ano de 2011, nas regiões de interesse, mas o padrão de variação percebido com a normalização indica forte semelhança entre dados de SR e modelo hidrológico. Os dados estimados de ETr (MODIS) se aproximaram mais dos dados de ETr simulados com o MGB-IPH do que os dados de umidade do solo (SMOS) em relação aos resultados do modelo hidrológico, para a área da bacia do rio Piancó.

## REFERÊNCIAS

- ABIODUN, O. O., GUAN, H., POST, V. E. A., & BATELAAN, O. (2018). *“Comparison of MODIS and SWAT evapotranspiration over a complex terrain at different spatial scales”*. Hydrology and Earth System Sciences, 22(5), pp. 2775–2794.
- BARBOSA *et al.* (2015) *“Recent trends in vegetation dynamics in the South America and their relationship to rainfall”*. Nat Hazards vol. 77 no. 2 pp. 883-899.
- COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D. G.; SILVA, B. C.; TUCCI, C. E. M. (2007). *“The MGB-IPH model for large-scale rainfall–runoff modelling”*. Hydrological Science Journal, 52, pp.878–895.
- CATDS (2013). *“CATDS SMOS L3 Soil Moisture Retrieval Processor: Algorithm Theoretical Baseline Document”*. Centre Aval de Traitement des Données SMOS. France, July. pp. 73.
- CHUN, J. A., BAIK, J., KIM, D., & CHOI, M. (2018). *“A comparative assessment of SWAT-model-based evapotranspiration against regional-scale estimates”*. Ecological Engineering, 122(July), pp. 1-9.

- FELIX, V.S.; PAZ, A.R. (2016). “*Representação dos processos hidrológicos em bacia hidrográfica do semiárido paraibano com modelagem hidrológica distribuída*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos 21(3), pp. 556-569.
- FERREIRA, P. M. L.; FELIX, V. S.; PAZ, A. R. (2016). “*Evapotranspiração real no semiárido paraibano: modelagem hidrológica x estimativas MODIS*”. In Anais do XIII simpósio de recursos hídricos do Nordeste, Aracajú, Sergipe, nov. 2016, pp. 1-10.
- HERMAN, M. R.; NEJADHASHEMI, A. P.; ABOUALI, M.; ...; SHARIFI, A. (2018). Evaluating the role of evapotranspiration remote sensing data in improving hydrological modeling predictability. Journal of Hydrology, 556, 39–49.
- KITTEL, C. et al. (2017). “*Informing a hydrological model of the Ogooué with multi-mission remote sensing data*”. In: EGU General Assembly Conference Abstracts. Viena, Áustria, 2017. p. 8182.
- MARENGO et al. (2016). “*Impacts of Climate Extremes in Brazil: The Development of a Web Platform for Understanding Long-term Sustainability of Ecosystems and Human Health in Amazonia (PULSE-Brazil)*”. Bulletin of the American Meteorological Society vol. 100.
- MEYER, A.; FLEISCHMANN, A.; PAIVA, R.; COLLISCHONN, W. (2017). “*Como acertar pelos motivos certos? Integração de modelagem hidrológica-hidrodinâmica e sensoriamento remoto visando a calibração de modelos*”. In Anais XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis, nov. 2017, pp. 1-8.
- MU, Q., ZHAO, M., KIMBALL, J. S., MCDOWELL, N. G., RUNNING, S. W. (2013). “*A remotely sensed global terrestrial drought severity index*”. Bulletin of the American Meteorological Society, 94(1), pp. 83-98.
- NASA. (2019) “*NASA Facts: TRMM Instruments*”. Disponível em: <[http://disc.gsfc.nasa.gov/datacollection/TRMM\\_3B43\\_V7.shtml](http://disc.gsfc.nasa.gov/datacollection/TRMM_3B43_V7.shtml)>. Acesso em abr. 2019.
- ODUSANYA, A. E.; MEDHI, B.; ...; SCHULZ, K.(2018) “*Multi-site calibration and validation of SWAT with satellite-based evapotranspiration in a data sparse catchment in southwestern Nigeria*”. Hydrol. Earth Syst. Sci., Discussion started: 23 April 2018.
- ROSSATO, L. et al. (2018). “*Validation of Soil Moisture in the Brazilian Semiarid, Using Smos Satellite Product And Simagri Model*” IGARSS 2018 - 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Valencia, pp. 84-87.
- RUHOFF, A. L.; et al. (2013) “*Assessment of the MODIS global evapotranspiration algorithm using eddy covariance measurements and hydrological modelling in the Rio Grande basin*”. Hydrological Sciences Journal, 58:8, pp.1658-1676.
- SOARES, A. S. D.; PAZ, A. R.; PICCILLI, D. G. A. (2016). “*Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH. vol. 21 nº 2, Porto Alegre, pp. 288 – 299.
- SOUZA, A. GSS.; RIBEIRO NETO, A.; ROSSATO, L.; ALVALÁ, R. CS; SOUZA, L. L. (2018). “*Use of SMOS L3 Soil Moisture Data: Validation and Drought Assessment for Pernambuco State, Northeast Brazil*”. Remote Sensing. Vol. 10(8), pp. 1314.
- XU, XIAOYONG; LI, JONATHAN; TOLSON, B. A. (2014). “*Progress in integrating remote sensing data and hydrologic modeling*”. Progress in Physical Geography. Vol. 38(4), pp. 464–498.