

Análise comparativa entre dados de precipitação observados em superfície e estimados por satélite TRMM na região norte do Tocantins

Helio Lopes Araújo^{1*}, Thiago de Loiola Araújo e Silva², Sergio Nascimento Duarte³, Jozé André M. Rodrigues⁴, Ediclea Lopes Araújo⁵, Antonio de Paula dos Santos⁶

¹ Doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas (ESALQ/USP) helio@live.co.uk;

² Docente do Instituto Federal do Tocantins – Campus Araguatins (IFTO);

³ Docente da Escola Superior 'Luiz de Queiroz' - ESALQ/USP;

⁴ Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE);

⁵ Bióloga, Universidade Federal do Tocantins (UFT).

⁶ Mestre em Irrigação no Cerrado, Instituto Federal Goiano (IF Goiano)

Histórico: Submetido em: 02/08/2021, Avaliado em: 27/09/2021 e Aceito em: 23/11/2021

RESUMO

O objetivo da pesquisa é comparar os dados de precipitação do banco da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), em relação aos dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) para a localidade conhecida como Bico do Papagaio no norte do Estado do Tocantins. Foram utilizados dados de precipitação mensal no período de 2009 a 2019, compreendendo um período de 10 anos. A análise estatística das séries foi realizada utilizando-se os coeficientes de correlação (r) e de determinação (R^2). As análises indicaram uma alta correlação, com coeficientes variando entre 0,84 e 0,91, enquanto os valores de R^2 foram entre 0,70 e 0,84. Os resultados obtidos foram satisfatórios, mostrando que as estimativas de precipitação mensal mediante a utilização do satélite TRMM podem ser uma fonte alternativa de dados quando não se dispõe de informações de estações pluviométricas em superfície.

Palavras-chave: Precipitação, estação meteorológica, hidrologia, TRMM

Comparative analysis between precipitation data observed on the surface and estimated by TRMM satellite in the northern region of Tocantins (Brazil)

ABSTRACT

This research aimed to compare the precipitation data from the National Water and Basic Sanitation Agency (ANA) database, in relation to the precipitation data estimated by the TRMM satellite (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) for the locality known as Bico do Papagaio in the north of Tocantins State. Monthly precipitation data were used for the period 2009 to 2019, comprising a 10-year period. Statistical analysis of the series was carried out using the correlation coefficients (r) and determination coefficients (R^2). The analyses indicated a high correlation, with coefficients between 0.84 and 0.91, while R^2 values were between 0.70 and 0.84. The results obtained were satisfactory, showing that precipitation estimates using the TRMM satellite can be an alternative source of data when surface station information is not available.

Keywords: Precipitation, weather station, hydrology, TRMM

Araújo, H. L.; Silva, T. L. A.; Duarte S. N.; Rodrigues, J. A. M.; Araújo, E. L.; Santos, A. P (2022). Análise comparativa entre dados de precipitação observados em superfície e estimados por satélite TRMM na região norte do Tocantins. *Revista Brasileira de Meio Ambiente.*, v.10, n.1, p.14-22.



1. Introdução

Métodos de regionalização vem sendo utilizados para estimar as vazões em regiões que apresentam carência ou mesmo inexistência de dados hidrológicos (Mello et al., 2020). A precipitação é amplamente reconhecida como a variável meteorológica mais importante na região tropical, sendo essencial para o planejamento das atividades humanas e desenvolvimento local, entretanto a sua alta variabilidade não linear em volume e distribuição espacial é um fator limitante na produção agrícola (Amanajás & Braga., 2012). Assim, considerando tal característica, medições da precipitação necessitam de uma rede de monitoramento densamente distribuída e contínua (Lopes et al., 2016).

A influência das características topográficas e os diferentes sistemas meteorológicos associados à formação da chuva afetam a precisão das estimativas de precipitação por satélite, sendo estes de suma importância para as aplicações hidrológicas (Mahmoud et al., 2021). O primeiro satélite para a estimativa de precipitação foi o *Multi-satellite Precipitation Analysis* (TMPA) 3B42R que foi produzido pela *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM). A Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA) lançou o satélite de sucesso no final de 1997. Os produtos TRMM foram amplamente usados e forneceram dois produtos: o produto pós-processado (3B42-V7) e o produto em tempo quase real (3B42RT) (Huffman & Bolvin, 2013).

Diversos trabalhos foram desenvolvidos com dados do projeto TRMM, em sua maioria em função de sua grande resolução espacial e temporal. Araújo et al. (2020) utilizaram dados do TRMM na obtenção da variabilidade espacial da precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Brígida em Pernambuco, o TRMM apresentou adequadas relações lineares com a precipitação medida na bacia, com coeficientes de determinação superiores a 0,70. Oliveira & Saraiva (2018) realizaram estudos da variabilidade da chuva na região do Amazonas, evidenciando a importância do uso do satélite TRMM, uma vez que o mesmo poderá ser usado nas pesquisas e também pelos órgãos governamentais para quantificar e identificar regiões com maior ou menor precipitação.

Oliveira et al. (2020) analisaram o Armazenamento Hídrico na Bacia do Paraná utilizando dados do par de satélites Grace, associado a dados Mod16 e TRMM, concluíram que os dados TRMM e MOD16 apresentam alta confiabilidade e são adequados para análises temporais. Mota et al. (2019) compararam os dados de precipitação gerados pelo sistema *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) frente àqueles observados em superfície de estações meteorológicas convencionais para o estado do Rio Grande do Sul, e observaram altos coeficientes de correlação entre os dados de precipitação estimados pelo sistema TRMM frente aos observados pelas estações do INMET, a exceção da safra de 2011/2012.

Superando as limitações encontradas na obtenção de dados de precipitação, o uso de dados de satélite tornou-se relevante fonte desse tipo de dados (Skofronick-Jackson *et al.*, 2017). Entender e monitorar a dinâmica da precipitação é essencial na prevenção e no impacto ao meio ambiente e no bem-estar social (Li e Wang 2017). Dados de precipitação e evapotranspiração em regiões de grandes extensões, são difíceis de serem adquiridas em períodos longos com precisão e na maioria das regiões as estações meteorológicas são limitadas (Jiang et al., 2020). A utilização de satélites como o TRMM, é uma importante fonte de dados e vem auxiliar nas pesquisas na região amazônica, uma vez que esta região possui uma rede incipiente de estações meteorológicas de superfície (Oliveira, & Saraiva, 2018).

A chuva é a principal forma de entrada da água no ciclo hidrológico, sendo um fenômeno climático com a importância de manter as fontes de água e usado para certas atividades humanas, como agricultura e pesca (Molina et al., 2014). A caracterização dos eventos chuvosos determina os seus parâmetros (intensidade, tempo de recorrência, duração e altura chuvosa) e na análise da distribuição desses parâmetros no tempo e no espaço (Depiné et al., 2014). A precipitação é um fenômeno natural complexo que se caracteriza por uma significativa variabilidade temporal e espacial, embora as observações em superfície forneçam registros, as densidades da maioria das redes pluviométricas podem não capturar a variabilidade espacial da precipitação em muitas regiões do mundo, principalmente em países em desenvolvimento e em áreas remotas (Yan, Liu, & Chen, 2018).

As observações convencionais de medidores in situ fornecem medições diretas da precipitação na superfície, mas sua cobertura de área é incompleta e geralmente insuficiente para caracterizar com precisão a variabilidade espacial da precipitação (Kidd & Huffman, 2011).

A maioria dos estudos anteriores com dados TRMM e GPM teve como ênfase a avaliação da precisão da estimativa da precipitação por satélite, bem como sua capacidade na representação da variabilidade total da precipitação. No entanto, ainda existem algumas incertezas não quantificadas em produtos de precipitação derivados de satélite, especialmente para eventos extremos de chuva, que muitas vezes têm processos mais complexos e são mais relevantes para alguns perigos desastrosos, como inundações e deslizamentos de terra (Prakash et al., 2016).

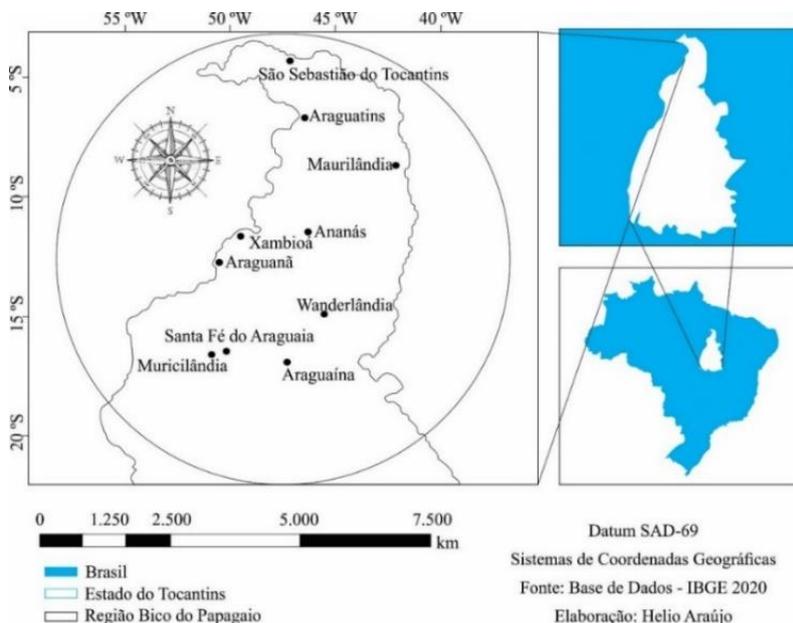
Entre os produtos mais utilizados para analisar as tendências de precipitação estão os derivados da Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), que é conhecida por gerar estimativas ininterruptas de dados de precipitação desde 1998, disponibilizando-os por meio de diferentes produtos e resoluções espaço-temporais para os trópicos (Huffman, Bolvin, 2017).

O setor ambiental ganhou sistemas de aquisição de dados como o TRMM favorecendo o monitoramento de variáveis no setor agrícola. Esses sistemas de automatização agrícola que estão ligados ao crescimento e desenvolvimento de plantas cultivadas, gerando um manejo de automação da aquisição de dados meteorológicos, de uma forma que amplia a utilização e a eficiência e toda a qualidade dos dados, eliminando boa parte dos erros decorrentes da leitura e interpretação desse tipo de dados.

2. Material e Métodos

A região do Bico do Papagaio, localiza-se no extremo norte do Estado do Tocantins na transição entre os biomas Cerrado e Amazônia, fazendo divisa com o sudeste do Pará e Maranhão. A região é também parte do MATOPIBA, um acrônimo que designa a região geoeconômica em processo de avanço da fronteira agrícola na porção setentrional do cerrado brasileiro, formada pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. A região faz divisa com o sudeste do Pará e Maranhão, que juntamente com elas são regiões consideradas em pleno desenvolvimento, beneficiando de forma direta para o crescimento regional do Tocantins.

Figura 1 - Ilustração da localização da área de estudo na região norte do Estado do Tocantins, conhecida como bico do papagaio.



Os dados de precipitação foram adquiridos da rede da Agência Nacional de Águas (ANA), para o período de 2009 a 2019, compreendendo um período de 10 anos. Os dados de precipitação TRMM provenientes do produto 3B43-V7, que corresponde as estimativas mensais de precipitação, com resolução espacial de 0,25° de latitude e 0,25° de longitude respectivamente, e foram obtidos no site <http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/>. Os dados de precipitação TRMM foram extraídos e analisados usando o software excel.

A análise estatística das séries foi realizada visando-se avaliar os dados mensal de precipitação interpolados, em relação aos dados observados, sendo utilizados os seguintes índices estatísticos: coeficiente de correlação (r) (Equação 1), que representa o grau de concordância entre as variáveis e o coeficiente de determinação (R²) (Equação 2), que mede o grau de associação entre os valores observados e calculados.

$$r = \frac{\sum_1^n (X_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_1^n (X_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_1^n (y_i - \bar{y})^2}} \tag{Eq. 01}$$

$$r^2 = \frac{\sum_1^n (X_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_1^n (X_i - \bar{x})^2 \sum_1^n (y_i - \bar{y})^2} \tag{Eq. 02}$$

Em que:

- x_i – dados observados de precipitação;
- y_i – dados estimados de precipitação;
- \bar{x} – média dos dados observados de precipitação;
- \bar{y} – média dos dados estimados de precipitação;
- n – número de dados da série.

3. Resultados e Discussões

A Tabela 1 mostra o resultado do coeficiente de correlação (r) entre os valores observados *in situ* e estimados por satélite. Os dados analisados mostraram que a correlação é alta porque fornecem um valor de coeficiente acima de 0,84, segundo Collischonn e Tucci (2001), valores de r acima de 0,75 são considerados bons e, valores entre 0,36 e 0,75 são considerados aceitáveis. O coeficiente de determinação (R²) é um critério estatístico que mede a proporção da variação de Y (variável dependente) que pode ser explicada pela variável X (variável independente), podendo esse valor variar de 0 a 1, dessa forma, 0 < R² < 1 (Crispim et al., 2019).

Tabela 1 – Localização das estações da rede da Agência Nacional das Águas na área de estudo e os valores de coeficiente de correlação (r) entre os dados.

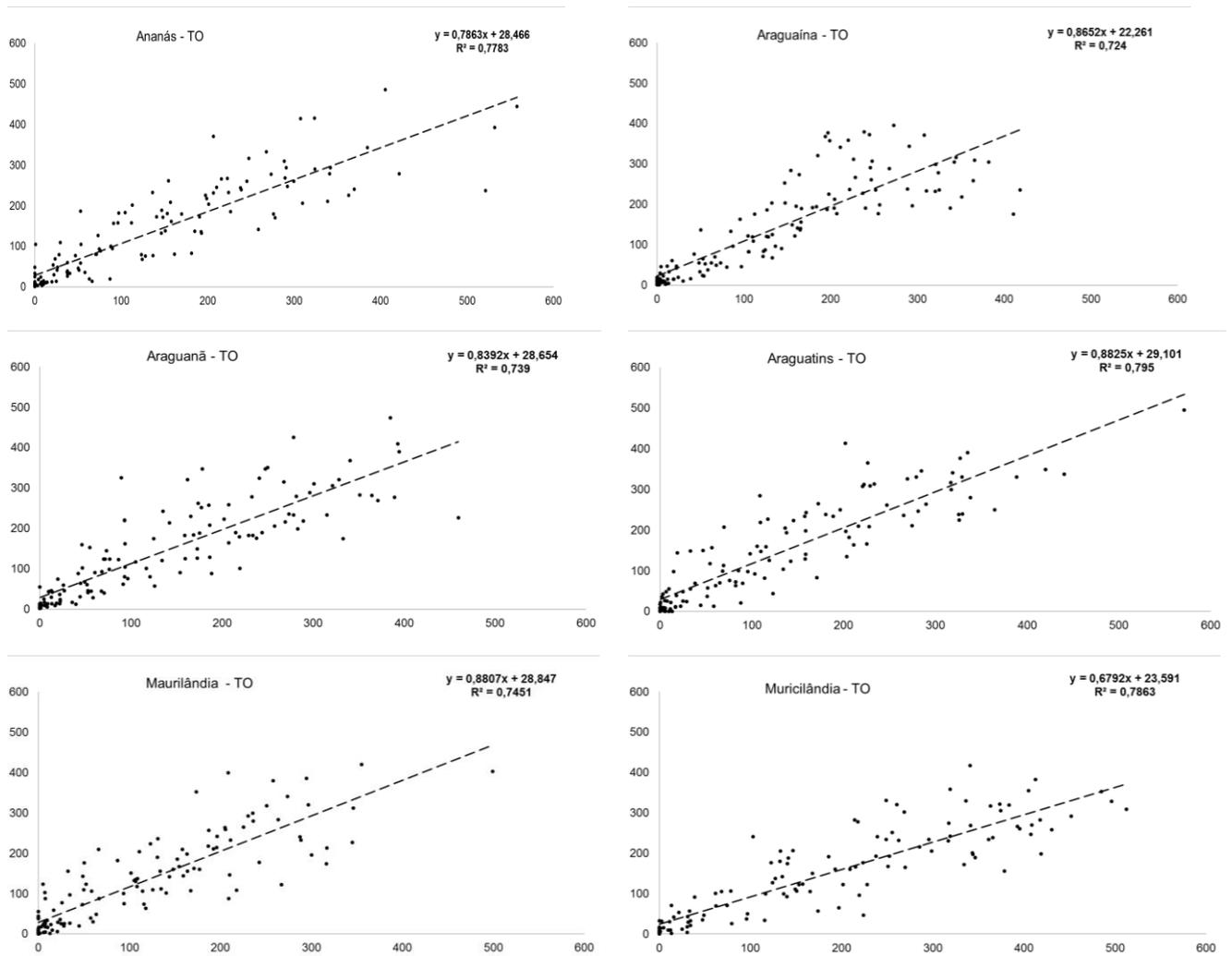
	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude	r
Ananás	-6.36	-48.07	220 m	0,88
Araguaína	-7.20	-48.20	236 m	0,85
Araguanã	-6.67	-48.47	146 m	0,85
Araguatins	-5.65	-48.13	103 m	0,89
Maurilândia	-5.95	-47.51	156 m	0,86
Muricilândia	-7,15	-48.60	190 m	0,88
Santa Fé do Araguaia	-7.15	-48.70	190 m	0,89
São Sebastião	-5.26	-48.21	105 m	0,91
Xambioá	-6.41	-48.53	135 m	0,84
Wanderlândia	-6.84	-47.97	257 m	0,84

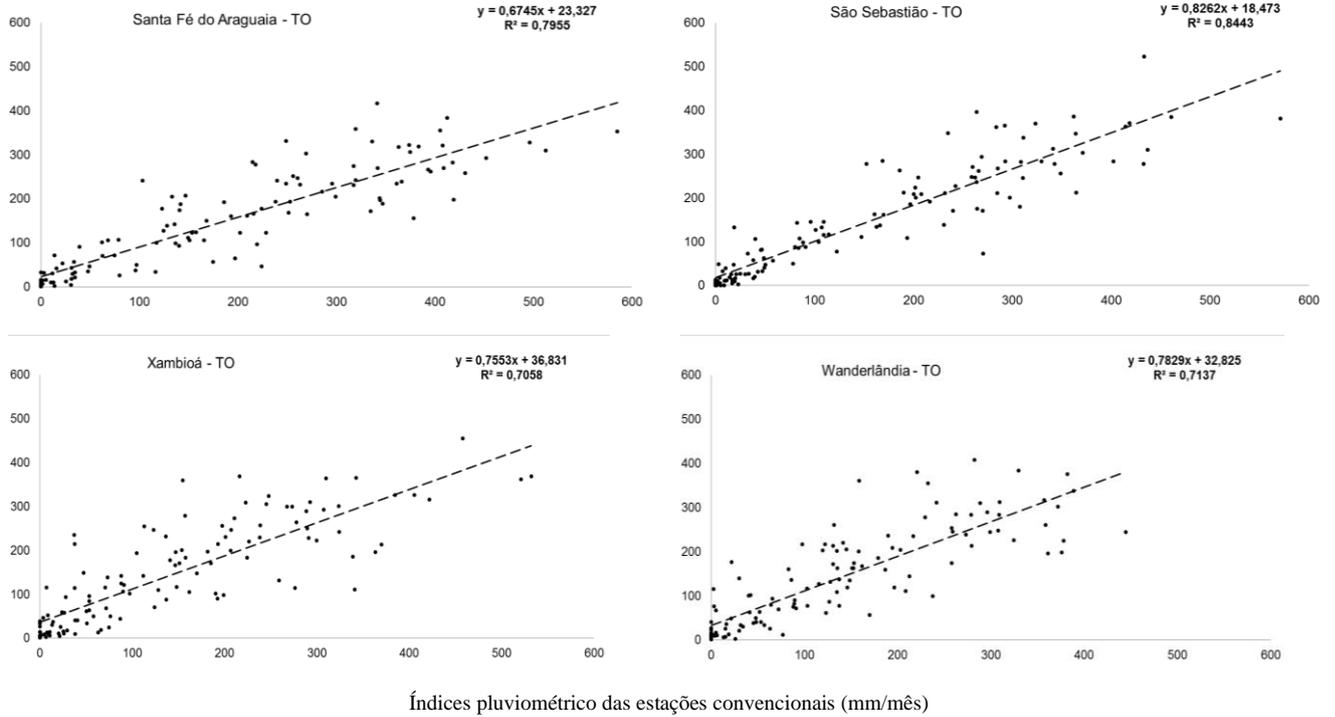
Fonte: ANA (2020).

A Figura 2 mostra uma comparação entre a precipitação mensal e as estimativas obtidas usando o satélite TRMM. Existe uma boa correlação entre os dados observados, indicando que os dados estimados por satélites conseguiram fornecer uma estimativa aproximada dos dados medidos pelos pluviômetros em superfície na escala temporal analisada. A Figura 2 apresenta os valores do coeficiente de determinação (R^2) da área analisada com valores acima de 0,70. Verifica-se que de modo geral, os dados de precipitação analisados aproximam-se da linha de tendência, sendo verificados somente alguns pontos discrepantes. Além disso, observa-se que os valores de coeficiente de determinação dos pontos interpolados analisados, são entre 0,72 e 0,84. Araújo (2020) em estudo na bacia Hidrográfica do Rio Brígida em Pernambuco, encontrou valor de coeficiente superior a 0,70. Veber et al. (2019) em estudo de consistência de dados de estações terrestre e de satélite para a cidade de Pelotas – RS, encontraram boa correlação entre os dados superiores a 0,80 e coeficiente de determinação acima de 0,73.

Figura 2 - Correlação entre os dados medidos em superfície e os dados estimados pelo satélite TRMM nas escalas mensal.

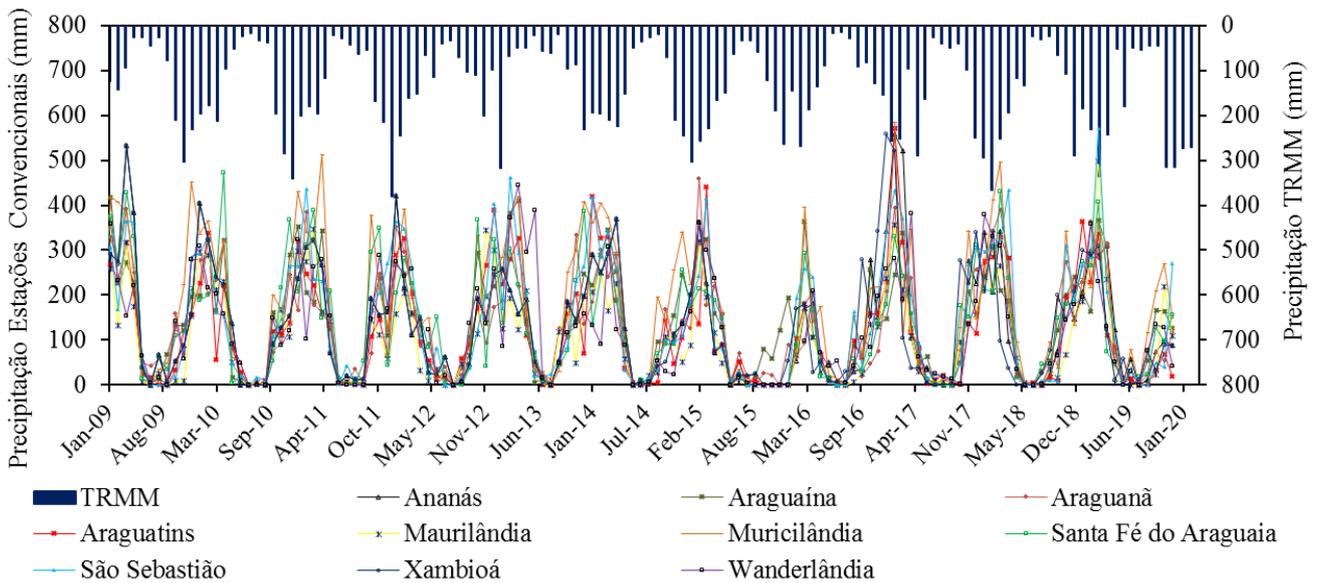
Índices pluviométrico TRMM (mm/mês)





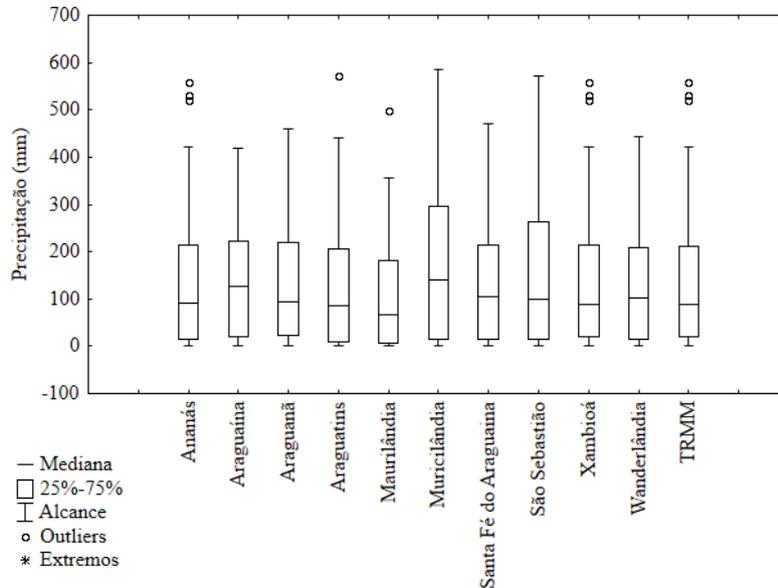
As precipitações mensais tanto para as estações convencionais como o TRMM, se mostram bastante similar em relação ao quantitativo precipitado como mostra a Figura 3. Vários autores encontram resultados satisfatório em relação dados observados com o TRMM (Brasil Neto, 2020; Santos et al., 2020; Silva et al., 2021). Medeiros-Feitosa e Oliveira (2020) encontraram valores estimados com o satélite TRMM que foram aproximados com os dados observados em solo pelos postos pluviométricos.

Figura 3 - Precipitações mensais das estações convencionais comparadas as precipitações TRMM no período de 2009 a 2019.



Na análise de boxplot (Figura 4) foi observada ocorrência de valores discrepantes (*outliers*) nos municípios de Ananás, Araguatins, Maurilândia e Xambioá, bem como para os dados do TRMM.

Figura 4. Dispersão de dados pluviométricos mensais das estações e de TRMM na área de estudo.



O gráfico mostrou uma boa noção do comportamento da distribuição, tem como base alguns parâmetros descritivos de um conjunto de dados, são eles: a mediana (q_2), o quartil inferior (q_1), o quartil superior (q_3) e o intervalo interquartil ($IQR = q_3 - q_1$), analisou-se a precipitação mensal acumulada (PMA) das estações meteorológicas localizadas na região do extremo norte do Tocantins durante (2009 – 2019). Esse tipo de representação gráfica nos permitiu avaliar a simetria dos dados, sua dispersão e a existência ou não de *outliers* (valores atípicos, na figura 4 os círculos).

Notou-se que a maior frequência dos valores da PMA (intervalo inter quartil, entre q_1 e q_3), ocorreu entre os valores de 10 e 400 mm/mês, mostrando que a densidade da distribuição durante as fases comportou-se de forma assimétrica. Com esse resultado independentemente da região de localização, a frequência da distribuição espacial da precipitação esteve abaixo de 400 mm mensal.

4. Conclusão

Sabendo da importância de se conhecer a precipitação de uma determinada região, utilizando-se as tecnologias disponíveis, visto que algumas regiões não dispõem de dados hidrológicos e sendo a precipitação uma importante variável no planejamento de ações, especialmente em regiões tropicais, este trabalho possibilitou a comparação de dados de precipitação do banco de dados da ANA e dados estimados pelo satélite TRMM na região específica do Bico do Papagaio. A metodologia apresentou consistência dos coeficientes de determinação em relação aos dados com valores de r^2 entre 0,70 e 0,84, indicando alto grau estatístico de dependência entre as variáveis dos dados interpolados, em relação aos dados observados. Dessa forma, os dados do satélite TRMM podem ser utilizados de forma alternativa para a obtenção de dados de precipitação em regiões com escassez de postos pluviométricos ou em casos em que haja falhas de dados em series temporais longas.

5. Referências

- Amanajás, J. C.; Braga, C. C. (2012). Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 27(4), 423-434.
- Araújo, H. L.; Montenegro, A.; A. A.; Iug, L.; Carvalho, A. A.; Silva, E. C.; Gonçalves, G. E. (2020). Espacialização da precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Brígida no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 13(1), 391-405.
- Brasil Neto, R. M. (2020). **Avaliação da seca e de suas características sobre o Estado da Paraíba utilizando dados TRMM e de pluviômetros (1998–2017)**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB. Brasil.
- Collischonn, W., Tucci, C. E. M., & Clarke, R. T. (2001). Further evidence of changes in the hydrological regime of the River Paraguay: part of a wider phenomenon of climate change? **Journal of Hydrology**, 245 (1-4), 218-238.
- Crispim, D. L.; Rodrigues, R. S. S.; Vieira, A. S. A.; Silveira, R. N. P. O.; Pessoa, F. C. L. (2019). Análise estatística da precipitação do município de Brasiléia–Acre, Brasil. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, 8(2), 104-122.
- Depiné, H.; Castro, N.M.R.; Pinheiro, A.; Pedro, O. (2014). Preenchimento de falhas de dados horários de precipitação utilizando redes neurais artificiais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 19(1), 51-63.
- Medeiros-Feitosa, J. R., & Oliveira, C. W. (2020). Estudo comparativo dos dados de precipitação do satélite TRMM e postos pluviométricos no estado do Ceará, Brasil. **Revista Geográfica de América Central**, (65), 239-262.
- Huffman, G. J., & Bolvin, D. T. (2013). TRMM and other data precipitation data set documentation. **NASA, Greenbelt**, USA, 28(2.3), 1.
- Huffman, G.J.; Bolvin, D.T. (2017). TRMM and Other Data Precipitation Data Set Documentation. **Global Change Master Directory; NASA: Washington, DC, USA**, 45.
- Jiang, S., Ruolan, L. I. U., Liliang, R. E. N., Menghao, W. A. N. G., Junchao, S. H. I., Zhong, F., & Zheng, D. U. A. N. (2020). Evaluation and Hydrological Application of CMADS against TMPA 3B42V7, CMORPH-BLD, CHIRPS, and PERSIANN-CDR in the Upper Huaihe River Basin, China. **Journal of Meteorological Research**, 34(5), 1-18.
- Kidd, C., & Huffman, G. (2011). Global precipitation measurement. **Meteorological Applications**, 18(3), 334-353.
- Li, C., & Wang, R. (2017). Recent changes of precipitation in Gansu, Northwest China: An index-based analysis. **Theoretical and Applied Climatology**, 129(1), 397-412.
- Lopes, I., Leal, B. G., Ramos, C. M. C., & de Melo, J. M. M. (2016). Espacialização da precipitação para a região do Submédio São Francisco. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, 10(5), 893 - 903.
- Mahmoud, M. T., Mohammed, S. A., Hamouda, M. A., & Mohamed, M. M. (2021). Impact of topography and

rainfall intensity on the accuracy of IMERG precipitation estimates in an arid region. **Remote Sensing**, 13(1), 13.

Mello, F. W. P. J., Pessoa, F. C. L., & Santana, L. R. (2020). Regionalização de vazões mínimas da bacia hidrográfica do Rio Mearim no estado do Maranhão. **Research, Society and Development**, 9(6), e114962651-e114962651.

Molina, S. K. M., de Almeida, I. K., Steffen, J. L., & Sobrinho, T. A. (2014). Caracterização de disponibilidade hídrica e comparação de metodologias de regionalização de vazões. **Geociências (São Paulo)**, 33(3), 506-515.

Mota, M. C., Rizzi, R., Härter, F. P., & Damé, R. D. C. F. (2019). Precipitações estimadas pela missão TRMM e observadas em superfície no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Engenharia na Agricultura**, 27(3), 237-247.

Oliveira, L. Y. D., Junior, J. M., de Oliveira, P. T. S., Arminini, B. X., & Coenio, D. F. R. (2020). Análise de Armazenamento Hídrico na Bacia do Paraná Utilizando Dados Grace, Associado a Dados Mod16 e TRMM. **Anuário do Instituto de Geociências**, 42(3), 624-630.

Oliveira, R. N., & Saraiva, J. M. B. (2018). Variabilidade da chuva na região central do Amazonas: o uso do satélite TRMM. **Revista Geonorte**, 9(33), 251-255.

Prakash, S.; Mitra, A. K.; Pai, D. S.; Aghakouchak, A. (2016). From TRMM to GPM: How well can heavy rainfall be detected from space. **Advances in Water Resources**, 88, 1-7.

Santos, G. O., Lima, F. B., Silva, C. A. P., Aronovitch, W., & Júnior, J. P. M. (2020). Distribuição espacial da variação de dados pluviométricos entre estações de superfície e sensoriamento remoto. **Agrometeoros**, 27, 93-100.

Silva, M. A., Merlo, M. N., Thebaldi, M. S., & Viola, M. R. (2021). Validação da precipitação estimada pelo produto 3b42 do satélite “tropical rainfall measuring mission” para a sub-bacia hidrográfica paraíba do sul, Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, 28, 585 – 601.

Skofronick-Jackson, G.; Petersen, W. A.; Berg, W.; Kidd, C.; Stocker, E.F.D.; Kirschbaum, B.; Kakar, R.; Braun, S.A.; Huffman, G.J.; Iguchi, T.; Kirstetter, P.E.; Kummerow, C.; Meneghini, R.; Oki, R.; Olson, W.S.; Takayabu, Y.N.; Furukawa, K. & Wilhelm, T. (2017). The Global Precipitation Measurement (GPM) Mission for Science and Society. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 9(8)8, 1679-1695.

Veber, P. M., Neta, M. C. C., Manke, E. B., Gandra, C. F. A. T., & Damé, R. D. C. F. (2019). Análise de consistência entre dados interpolados e observados de precipitação do município de Pelotas/RS. **Brazilian Journal of Development**, 5(6), 5993-6000.

Yan, G., Liu, Y., & Chen, X. (2018). Evaluating satellite-based precipitation products in monitoring drought events in southwest China. **International Journal of Remote Sensing**, 39(10), 3186-3214.