**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Estimativa de precipitação pluvial por satélites para o estado do Mato
Grosso**

Karlmer Abel Bueno Corrêa

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre
em Ciências. Área de concentração: Engenharia de
Sistemas Agrícolas

**Piracicaba
2020**

Karlmer Abel Bueno Corrêa
Engenheiro Agrônomo

Estimativa de precipitação pluvial por satélite para o estado do Mato Grosso
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **FELIPE GUSTAVO PILAU**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre
em Ciências. Área de concentração: Engenharia de
Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2020

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Corrêa, Karlmer Abel Bueno

Estimativa de precipitação pluvial por satélite para o estado do Mato Grosso / Karlmer Abel Bueno Corrêa. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2020.

61 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Chuva 2. Geoprocessamento 3. Sensoriamento remoto 4. Variabilidade temporal I. Título

DEDICATÓRIA

*Aos meus queridos pais
Sonia e Cleber*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Cleber e Sonia, por todo o suporte e amor para que eu pudesse finalizar mais uma etapa da minha vida.

À minha companheira Raissa Tandara, por aventurar-se ao meu lado por todos esses anos, com carinho e amizade.

Ao meu orientador Prof. Dr. Felipe Gustavo Pilau, pelos ensinamentos, oportunidades e orientação durante essa etapa.

Aos integrantes do Grupo GEPEMA-AGRIMET, por todo o apredizado e pela amizade, em especial a Brena, amiga de viagens marcantes, pelo companherismo e por todas as risadas.

Ao Departamento de Biossistemas e ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas, por permitir me desenvolver como pesquisador e possibilitar tanto crescimento como pessoa e como profissional.

À SMARTAGRI e seus funcionários, em especial ao Fernando e ao Mateus, pelo apredizado e parceria durante a realização desse projeto.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUÇÃO GERAL	9
REFERÊNCIAS	10
2. ESTIMATIVA DA PRECIPITAÇÃO POR SATÉLITES PARA REGIÕES PLUVIOMÉTRICAS HOMOGÊNEAS NO ESTADO DO MATO GROSSO	15
RESUMO	15
ABSTRACT	15
2.1. INTRODUÇÃO	16
2.2. MATERIAL E MÉTODOS	18
2.2.1. Área de estudo	18
2.2.2. Dados de precipitação medidos e estimados para o Mato Grosso	18
2.2.3. Regiões pluviométricas homogêneas do Mato Grosso	21
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
2.3.1. Análise dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS	22
2.3.2. Regiões pluviométricas homogêneas no estado do Mato Grosso.....	25
2.4. CONCLUSÃO	30
REFERÊNCIAS	31
3. ANÁLISES TEMPORAIS DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO ESTIMADOS POR SATÉLITES PARA O ESTADO DO MATO GROSSO.....	41
RESUMO	41
ABSTRACT	41
3.1. INTRODUÇÃO	42
3.2. MATERIAL E MÉTODOS	43
3.2.1. Área de estudo	43
3.2.2. Aquisição dos dados meteorológicos.....	44
3.2.3. Produto GPM	45
3.2.4. Produto GSMaP	45
3.2.5. Produto PERSIANN	46
3.2.6. Produto CHIRPS.....	46
3.2.7. Informações dos bancos de dados e das escalas temporais	47
3.2.8. Análise estatística dos dados.....	47

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
3.4. CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS	57

RESUMO

Estimativa de precipitação pluvial por satélites para o estado do Mato Grosso

Estudos do uso de produtos de satélite para a execução de planejamentos e monitoramentos relacionados a estimativas de precipitação pluvial têm aumentado nos últimos anos, procurando avaliar as diferenças das dinâmicas locais da precipitação. Porém, conforme a existência de um baixo número de postos pluviométricos em algumas regiões do Brasil, avançar nessas análises pode propiciar melhorias do entendimento sazonal espacializado da precipitação como ferramenta de gestão agrícola. O objetivo deste trabalho foi analisar uma longa série de dados de estimativa de precipitação por sensoriamento remoto, com o intuito identificar regiões pluviométricas homogêneas no estado do Mato Grosso. Foram utilizados dados estimados de precipitação pluvial mensal média do satélite CHIRPS para 170 localidades que possuem estações automáticas e pluviométricas distribuídas no território do estado. Posteriormente, definidas essas regiões, utilizando diferentes produtos de estimativa de precipitação pluvial, avaliou-se suas diferentes performances em diferentes escalas de tempo. Na primeira etapa, obteve-se os dados na escala diária pelo Instituto Nacional de Meteorologia e pela Agência Nacional de Águas, correspondendo à série temporal de abril de 2014 a maio de 2018. Depois de identificada a performance dos satélites em relação às estações, executou-se uma segunda etapa, usando as mesmas localidades, só que dividindo-se as estações em quatro regiões pluviométricas homogêneas. Como resultados são apresentadas as variações da precipitação pluvial das regiões estabelecidas de forma diária, mensal, anual e pela alternância entre estações secas e úmidas. Conclui-se que, para o estado do Mato Grosso, a utilização dos produtos CHIRPS e GPM providenciam diferentes propostas de utilização, podendo ser usados tanto no monitoramento climatológico como regional.

Palavras-chave: Geoprocessamento, Variabilidade da chuva, Banco de dados, Sensoriamento remoto.

ABSTRACT

Rainfall estimated by satellites for the state of Mato Grosso

Studies of the use of satellite products for the execution of planning and monitoring related to rainfall estimates have increased in recent years, seeking to assess the differences in local rainfall dynamics. However, depending on the existence of a low number of rainfall stations in some regions of Brazil, advancing these analyses may provide improvements in the spatialized seasonal understanding of rainfall as an agricultural management tool. The objective of this work was to analyze a long series of remote sensing rainfall estimation data in order to identify homogeneous rainfall regions in the state of Mato Grosso. Estimated monthly rainfall data from the CHIRPS satellite were used for 170 locations that have automatic and pluviometric stations distributed in the territory of the state. Subsequently, these regions were defined, using different rainfall estimation products, and their different performances were evaluated at different time scales. In the first stage, data was obtained on a daily scale by the National Institute of Meteorology and the National Water Agency, corresponding to the time series from April 2014 to May 2018. After identifying the performance of the satellites in relation to the stations, a second stage was performed, using the same locations, but dividing the stations into four homogeneous rain regions. The results are presented as rainfall variations of the established regions on a daily, monthly and annual basis and by alternating dry and wet stations. It is concluded that, for the state of Mato Grosso, the use of CHIRPS and GPM products provide different proposals for use, and can be used in both climatological and regional monitoring.

Keywords: Geoprocessing, Rainfall variability, Database, Remote sensing

1 INTRODUÇÃO GERAL

Devido à grande extensão territorial do Brasil, com suas divergentes regiões, biomas e relevos, analisar as condições atmosféricas, principalmente o ciclo hídrico, não é uma tarefa simples. Um número reduzido de estações meteorológicas, situação observada em diversas regiões do país, aumenta ainda mais essa dificuldade (KUCERA et al., 2013).

A análise de dados coletados por estações distantes entre si pode não retratar a plena condição meteorológica e climática de uma região. Por isso, quanto maior o número de estações operantes em um espaço, melhor será o retrato das mudanças e das condições meteorológicas atuais da região, principalmente com relação às variáveis ambientais que normalmente apresentam maior variação no espaço e no tempo, como a precipitação pluvial, com grande dinâmica, sobretudo, na escala diária (SALIO et al., 2015).

No Brasil, a distribuição espacial desses pontos de medição é desuniforme, e o número ou densidade de estações por unidade da federação é heterogêneo (ADAMI et al., 2006; INMET, 2020). Nem todos os municípios possuem registros locais e, muitas vezes, faz-se necessário o uso dos dados de uma estação próxima para qualquer análise agrometeorológica. Essa é a característica dos estados da região Centro-Oeste do Brasil (SABINO, 2018; SIQUEIRA et al., 2012).

Mesmo que haja estações meteorológicas em uma região, quando o objetivo é avaliar ou utilizar dados de precipitação, pode-se recorrer às alternativas remotas, radares e satélites meteorológicos, capazes de fornecer informação em maior resolução espacial. No Brasil, onde a distribuição e organização de dados de radares meteorológicos ainda são deficitárias, o uso de imagem de satélites é a melhor alternativa (COSTA et al., 2019)

A utilização do sensoriamento remoto permite observar mudanças espaciais e temporais em nível de paisagem e seus efeitos decorrentes à atmosfera, resultando em um crescente número de estudos, a partir da diversidade de produtos provenientes do sensoriamento remoto orbital para o monitoramento e planejamento dos recursos hídricos em bacias hidrográficas (SATGÉ et al., 2020; SILVA et al., 2018), previsões climáticas (SHARIFI et al., 2016; SPRACKLEN et al., 2012), planejamento agrícola e florestal (SILVA-FUZZO et al., 2015), além de dar suporte a estudos climatológicos e meteorológicos (FEITOSA, 2016; GUARIENTI, 2018).

As estimativas de precipitação pluvial por satélite foram e prosseguem sendo desenvolvidas e validadas para as diferentes regiões e condições do globo terrestre. As informações são fontes auxiliares de dados de precipitação (SENAY et al., 2016), aplicadas em

modelos matemáticos robustos que modelam o ciclo hidrológico em bacias hidrográficas (CHAGAS et al., 2020; FALCK, 2015; ZHANG et al., 2019), auxiliando assim quanto à limitação de dados de precipitação em estações de superfície. Vale ressaltar que a aplicação desses produtos, principalmente, nas estimativas de precipitação pluvial não é recente (AVILA, 2006; DINKU et al., 2007).

No Brasil, a utilização desses produtos de satélite é bem difundida na agrometeorologia, modelagem agrícola e no manejo hidrográfico (LOUZADA, 2016). Por isso, devido à fácil aquisição de dados, ampla cobertura espacial, resoluções espaço-temporais abundantes, observações ininterruptas e o livre acesso aos bancos de dados, essas informações tem se destacado na modelagem climática e agrícola, somando-se às observações realizadas por estações meteorológicas de superfície (CAMPAROTTO et al., 2013).

Alguns dos principais produtos de estimativa da precipitação pluvial são o *Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)*, o satélite *Global Precipitation Measurement (GPM)* com seu algoritmo *Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG)*, o *Climate Hazards Group Infra-Red Precipitation with Station (CHIRPS)*, o *Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks (PERSIANN)* e o *Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP)* (KUMMEROW et al., 2000; HUFFMAN et al., 2014; FUNK et al., 2015; ASHOURI et al., 2015; OKAMOTO et al., 2005).

Devido a ampla utilização desses produtos, a hipótese desse trabalho é que com base na assertividade em escalas menores (estado ou município) há a possibilidade de o sensoriamento remoto auxiliar no monitoramento de chuva em áreas de produção agrícola, permitindo o monitoramento, planejamento e vinculação a estudos de séries temporais.

A agregação dos conjuntos geoespaciais com diferentes comportamentos permite maior capacidade de detecção da variabilidade espaço-temporal das chuvas e possibilita a integração das medições advindas do sensoriamento remoto aos estudos agrícolas regionais. Assim, a proposta principal deste estudo foi analisar diferentes produtos de estimativas de precipitação pluvial por sensoriamento remoto, identificando suas performances no monitoramento para o estado do Mato Grosso.

REFERÊNCIAS

ADAMI, M.; GIAROLLA, A.; MOREIRA, M.A.; DEPPE, F. **Avaliação de diferentes escalas temporais de chuva obtidas por modelos matemáticos e por sensoriamento remoto**

- para o Paraná.** In Proceedings of Congresso brasileiro de meteorologia, Florianópolis, SC, Brasil, 2006.
- ASHOURI, H.; HSU, K.-L.; SOROOSHIAN, S.; BRAITHWAITE, D.K.; KNAPP, K.R.; CECIL, L.D.; NELSON, B.R.; PRAT, O.P. PERSIANN-CDR: Daily precipitation climate data record from multi-satellite observations for hydrological and climate studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.96, ed.1, p.69–83, 2015.
- AVILA, A.M.H. **Estimativa de precipitação em regiões tropicais utilizando imagens do satélite GOES 12.** 2006.136 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
- CAMPAROTTO, L.B.; BLAIN, G.C.; GIAROLLA, A.; ADAMIR, M.; CAMARGO, B.P. Validação de dados termopluviométricos obtidos via sensoriamento remoto para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.6, p.665-671, 2013.
- CHAGAS, V.B.P.; CHAFFE, P.L.B.; ADDOR, N.; FAN, F.M.; FLEISCHMANN, A.S.; PAIVA, R.C.D.; SIQUEIRA, V.A. CAMELS-BR: Hydrometeorological time series and landscape attributes for 897 catchments in Brazil. **Earth System Science Data**, v.67, p.41, 2020.
- COSTA, J.; PEREIRA, G.; SIQUEIRA, M.E.; CARDOZO, F.; SILVA, V.V. Validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para o Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.24, p.228-243, 2019.
- DINKU, T.; CECCATO, P.; GROVER-KOPEC, E.; LEMMA, M.; CONNOR, S.J.; ROPELEWSKI, C.F. Validation of satellite rainfall products over East Africa's complex topography. **International Journal of Remote Sensing**, v.28, n.7, p.1503-1526, 2007.
- FUNK, C.; PETERSON, P.; LANDSFELD, M.; PEDREROS, D.; VERDIN, J.; SHUKLA, S.; HUSAK, G.; ROWLAND, J.; HARRISON, L.; HOELL, A.; MICHAELSEN, J. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific Data**, n.150066, p.1-21, 2015.
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 21 jan. 2020.
- FALCK, A.S.; MAGGIONI, V.; TOMASELLA, J.; VILA, D.A.; DINIZ, F.L.R. Propagation of satellite precipitation uncertainties through a distributed hydrologic model: A case study in the Tocantins-Araguaia basin in Brazil. **Journal of Hydrology**, v.527, p.943-957, 2015.

- FEITOSA, G.P. **Análise comparativa da hidroclimatologia e de índices de seca de regiões hidrográficas do semiárido brasileiro, da Tunísia e da Mauritânia.** 2016. 122 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
- GUARIENTI, G.S.S. **SWAMP: Uma metodologia espaço-temporal para análise de dados ambientais usando wavelets e séries temporais.** 2018. 109 f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2018.
- HUFFMAN, G.; BOLVIN, D.; BRAITHWAITE, D.; HSU, K.; JOYCE, R.; XIE, P. **Integrated Multi-Satellite Retrievals for GPM (IMERG), version 4.4.** NASA's Precipitation Processing Center, 2014. Disponível em: <ftp://arthurhou.pps.eosdis.nasa.gov/gpmdata/>. Acesso em: 15 set, 2019.
- KUCERA, P.A.; EBERT, E.E.; TURK, F.J.; LEVIZZANI, V.; KIRSCHBAUM, D.; TAPIADOR, F.J.; LOEW, A.; BORSCH, M. Precipitation from space: advancing earth system science. **American Meteorological Society**, v.94, p.365–375, 2013.
- KUMMEROW, C.; SIMPSON, J.; THIELE, O.; BARNES, W.; CHANG, A.T.C.; STOCKER, E.; ADLER, R.F.; HOU, A.; KAKAR, R.; WENTZ, F.; ASHCROFT, P.; KOZU, T.; HONG, Y.; OKAMOTO, K.; IGUCHI, T.; KUROIWA, H.; IM, E.; HADDAD, Z.; HUFFMAN, G.; FERRIER, B.; OLSON, W.S.; ZIPSER, E.; SMITH, E.A.; WILHEIT, T.T.; NORTH, G.; KRISHNAMURTI, T.; NAKAMURA, K. The status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after two years in orbit. **Journal of Applied Meteorology**, v.39, n.12, p.1965-1982, 2000.
- LOUZADA, F.L.R.O. **Balanço hídrico climatológico com dados estimados pelo satélite tropical rainfall measuring mission para a bacia hidrográfica do Rio Doce.** 2016. 107 f. Tese (Doutor em Produção Vegetal) – Universidade do Espírito Santo, Alegre, 2016.
- OKAMOTO, K.; IGUCHI, T.; TAKAHASHI, N.; IWANAMI, K.; USHIO, T. **The global satellite mapping of precipitation (GSMaP) project.** 25th IGARSS Proceedings, p.3414-3416, 2005.
- SABINO, M. **Intensidade-duração-frequência de precipitação máxima em Mato Grosso.** 2018. 67 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2018.
- SALIO, P.; HOBOUCHIAN, M.P.; SKABAR, Y.G.; VILA, D. Evaluation of high-resolution satellite precipitation estimates over southern South America using a dense rain gauge network. **Atmospheric Research**, v.163, p.146-161, 2015.

- SATGÉ, F.; DEFRANCE, D.; SULTAN, B. BONNET, M.-P.; SEYLER, F.; ROUCHÉ, N.; PIERRON, F.; PATUREL, J.-E. Evaluation of 23 gridded precipitation datasets across West Africa. **Journal of Hydrology**, v.581, 2020.
- SENAY, G.B.; FRIEDRICHS, M.; SINGH, R.K.; VELPURI, N.M. Evaluating Landsat 8 evapotranspiration for water use mapping in the Colorado River Basin. **Remote Sensing of Environment**, v.185, p.175-185, 2016.
- SHARIFI, E.; STEINACKER, R.; SAGHAFIAN, B. Assessment of GPM-IMERG and other precipitation products against gauge data under different topographic and climatic conditions in Iran: Preliminary results. **Remote Sensing**, v.8, p.135, 2016.
- SILVA-FUZZO, D.F.; PRELA-PANTANO, A.; CAMARGO, M.B.P. Modelagem agrometeorológica para estimativa de produtividade de soja para o vale do médio Paranapanema-SP. **Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**, v.20, n.3, p.490-501, 2015.
- SILVA, M.N.A.; PESSOA, F.C.L.; SILVEIRA, R.N.P.O.; ROCHA, G.S.; MESQUITA, D.A. Determinação da homogeneidade e tendência das precipitações na bacia hidrográfica do Rio Tapajós. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.33, n.4, p.665-675, 2018.
- SIQUEIRA, G.M.; BEZERRA, J.M.; VIEIRA, S.R.; CAMARGO, M.B.P. Zoneamento de parâmetros climáticos no estado de São Paulo (Brasil) utilizando técnicas de geoestatística. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.3, p.612-629, 2012.
- SPRACKLEN, D.V.; ARNOLD, S.R.; TAYLOR, C.M. Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests. **Nature**, v.489, p.282-285, 2012.
- ZHANG, Y.; KONG, D.; GAN, R.; CHIEW, F.H.S.; MCVICAR, T.R.; ZHANG, Q.; YANG, Y. Coupled estimation of 500 m and 8-day resolution global evapotranspiration and gross primary production in 2002-2017. **Remote Sensing of Environment**, v.222, p.165-182, 2019.

2 ESTIMATIVA DA PRECIPITAÇÃO POR SATÉLITES PARA REGIÕES PLUVIOMÉTRICAS HOMOGÊNEAS NO ESTADO DO MATO GROSSO

RESUMO

Com o desenvolvimento de inúmeros produtos de satélite, as resoluções tanto espaciais e temporais de estimativas de precipitação, as quais apresentam maior acurácia, mais estudos devem ser realizados para analisar suas performances em regiões de grande interesse econômico, podendo dar suporte ao monitoramento tanto climatológicos quanto meteorológicos. O objetivo desse trabalho foi analisar uma longa série de dados de estimativa de precipitação por sensoriamento remoto, com o intuito identificar regiões pluviométricas homogêneas no estado do Mato Grosso. Foram utilizados dados estimados de precipitação pluvial mensal média do satélite CHIRPS para 170 localidades que possuem estações automáticas e pluviométricas distribuídas no território do estado. Na primeira etapa obtiveram-se os dados na escala diária pelo Instituto Nacional de Meteorologia e pela Agência Nacional de Águas, correspondendo à série temporal de 2014 a 2018. Depois de identificada a capacidade de estimativa da precipitação pelo satélite, em relação as estações, executou-se uma segunda etapa, usando as mesmas localidades, e estimando a precipitação pluvial mensal para os anos de 1981 a 2019. Foi executada a análise de agrupamentos hierárquicos para definir o número ótimo de regiões homogêneas que se adequassem ao conjunto de dados espacializados de precipitação pluvial. Como resultados são apresentadas as discrepâncias climáticas das regiões estabelecidas de forma mensal e anual. Conclui-se que, para o estado do Mato Grosso, a utilização do produto CHIRPS pode auxiliar no monitoramento climatológico de regiões com defasada distribuição de pontos de observação da atmosfera.

Palavras-chave: Variabilidade temporal da chuva; série temporal; sistema de informação geográfica; dados geoespaciais.

ABSTRACT

With the development of numerous satellite products, with both spatial and temporal resolutions of rainfall estimates with greater accuracy, more studies should be conducted to analyze their performance in regions of great economic interest, which can support both climatological and meteorological monitoring. The objective of this work was to analyze a long series of remotely sensed rainfall estimation data in order to identify homogeneous rainfall regions in the state of Mato Grosso. We used estimated monthly rainfall data from the CHIRPS satellite for 170 locations that have automatic and pluviometric stations distributed in the territory of the state. In the first stage, data were obtained on a daily scale by the National Institute of Meteorology and the National Water Agency, corresponding to the time series from 2014 to 2018. After identifying the satellite's performance in relation to the stations, a second stage was carried out, using the same locations, and estimating the monthly rainfall for the years from 1981 to 2019. Hierarchical grouping analysis was used to define the optimal number of homogeneous regions that would fit the spatialized rainfall data set. As results, the climatic discrepancies of the regions established on a monthly and annual basis are presented. It is concluded that, for the state of Mato Grosso, the use of the product CHIRPS can help in the climatological monitoring of regions with lagged distribution of observation points of the atmosphere.

Keywords: Variability of rainfall; Time series; Geographic information system; Geospatial data.

2.1. INTRODUÇÃO

A precipitação é um componente determinante do ciclo hidrológico (ELTAHIR e BRAS, 1996; TRENBERTH et al., 2003) e é a variável mais importante e ativa associada à circulação atmosférica nos estudos climáticos e meteorológicos (KIDD e HUFFMAN, 2011). Registros precisos e confiáveis de precipitação são cruciais, não apenas para o estudo das tendências e variabilidade climática, mas também para a gestão dos recursos hídricos e do tempo, clima e previsão hidrológica (JIANG et al., 2012; LARSON e PECK, 1974; LIU et al., 2017; YILMAZ et al., 2005).

Vários conjuntos de dados climáticos em escalas espaço-temporais diferentes foram desenvolvidos a partir de observações de estações (*in situ*). Com instrumentos avançados de infravermelho e microondas, as observações por satélite compensam as deficiências existentes em medições locais, fornecendo uma distribuição espacial mais homogênea e de forma histórica, devido ser possível utilizar dados de reanálise vinculados a estações de superfície (KIDD e LEVIZZANI, 2011; XIE et al., 2003).

Alguns conjuntos de dados derivados de satélite estão agora operacionalmente disponíveis, incluindo os produtos *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) (HUFFMAN et al., 2007), *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station* (CHIRPS) (FUNK et al., 2015), o satélite *Global Precipitation Measurement* (GPM) com seu algoritmo *Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM* (IMERG) (HUFFMAN et al., 2019), *Global Satellite Mapping of Precipitation* (GSMaP) (MEGA et al., 2014) e *Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks* (PERSIANN) (ASHOURI et al., 2015). Esses diferentes tipos de produtos geoespaciais de precipitação suportam o desenvolvimento de uma ampla gama de campos de pesquisa.

Especificamente o produto CHIRPS, o qual possui tanto altas resoluções espacial quanto temporal, tem sido analisado em várias regiões do Brasil (CAVALCANTE et al., 2020; CÉRON et al., 2020), buscando-se adaptá-lo para os diferentes biomas brasileiros (NOGUEIRA et al., 2018; PAREDES-TREJO et al., 2017; SCHWALBERT et al., 2020).

As tendências globais e regionais das alterações climáticas podem ser quantificadas e evidenciadas com base em múltiplos conjuntos de dados. A climatologia em diferentes regiões e as mudanças no clima também podem ser investigadas através destes produtos de

sensoriamento remoto (ALEXANDER et al., 2006; KUNKEL et al., 2015; RAJAH et al., 2014; SUN et al., 2014).

Uma série de estudos comparando conjuntos de dados climáticos apareceu nos últimos anos (DERIN e YILMAZ, 2014; DONAT et al., 2014; GEHNE et al., 2016; JIANG et al., 2012; KIDD et al., 2012; MIAO et al., 2015; SUN et al., 2014; WANG e ZENG, 2015). Por conta do seu longo período de informações disponível, estudos demonstram a eficiência do produto CHIRPS para análises climáticas (CAVALCANTE et al., 2020; CÉRON et al., 2020; RIVERA et al., 2018).

Dentre inúmeras pesquisas que abordam a variabilidade climática, destaca-se a identificação de regiões hidrologicamente homogêneas por intermédio da análise de agrupamentos, do inglês *cluster analysis* (CA) (SHIRIN e THOMAS, 2016; GONÇALVES et al., 2016; FARSADNIA et al., 2013; HASSAN e PING, 2012; SANTOS et al., 2015) que, quando realizada de forma integrada a dados de sensoriamento remoto, pode suprir a ausência de informações de um determinado local. Dentre as diversas metodologias disponíveis, o algoritmo proposto por Ward (WARD, 1963) tem sido amplamente utilizado em estudos climatológicos no país, definindo as áreas homogêneas (MACEDO et al. 2010; OLIVEIRA et al. 2010).

Em particular, a análise de agrupamentos é uma técnica capaz de transformar séries históricas de dados pluviiais em zonas pluviométricas homogêneas. Cada posto meteorológico corresponde a uma série temporal de dados de um local, enquanto uma região homogênea é formada pelo agrupamento das séries temporais mais similares (COMUNELLO et al., 2013; CORREA et al, 2014; SEIDEL et al., 2008; LYRA et al., 2014; OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2017). Muitos trabalhos nas áreas de agrometeorologia e climatologia enfatizam a aplicação de técnicas de agrupamentos para a definição de regiões climáticas homogêneas para diversos estados do Brasil, como Rio de Janeiro (ANDRÉ et al., 2008), Pernambuco (FECHINE E GALVINCIO, 2008) e Rio Grande do Sul (BOSCHI et al., 2011).

Integrar medições de precipitação via satélite com observações terrestres pode colaborar no monitoramento hidrológico em áreas de produção agrícola que possuam características similares (SILVA et al., 2018). A partir de tais características, o objetivo deste trabalho foi o de identificar regiões homogêneas de precipitação pluvial no estado do Mato Grosso, utilizando produtos de estimativas provenientes de satélites meteorológicos.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1. Área de estudo

A extensão territorial do Estado de Mato Grosso (MT) é de 906.806,9 km² (IBGE, 2012), limitando-se entre os paralelos 10° a 19° Sul e os meridianos 51° a 62° Oeste (Figura 1). O estado apresenta verão quente e chuvoso, com inverno seco, definindo clima Aw segundo a classificação de Köppen (KÖPPEN, 1931). A temperatura média anual é de 26,5 °C, com precipitação média anual próxima dos 1500 mm.

2.2.2. Dados de precipitação medidos e estimados para o Mato Grosso

Os dados de precipitação estimados por satélite para o Estado do Mato Grosso foram obtidos a partir de coleções de cenas do satélite *Climate Hazards Group Infra-Red Precipitation with Station* (CHIRPS), desenvolvido pela agência *United States Geological Survey* (USGS) (FUNK et al., 2015). Esta base de dados tem uma cobertura espacial que se estende entre 50°S a 50°N, incluindo todas as longitudes. O CHIRPS incorpora imagens de satélite com resolução de 0,05° com dados de estações no local para criar séries temporais (FUNK et al., 2015). Os dados geoespaciais foram obtidos pela plataforma do *Google Earth Engine* (GEE) (GORELICK et al., 2017). Esse produto foi utilizado devido ao seu longo tempo de informações (desde do ano 1981 ao presente) e por ter a maior resolução espacial entre os produtos que serão testados no Capítulo 2.

Na interface do GEE, o processo de extração das informações de uma série temporal de imagens pode ser representada por uma *ImageCollection*, uma coleção de cenas de cada produto (GORELICK et al., 2017), necessitando-se criar uma função que tenha propriedades espaciais e temporais para cada produto para, posteriormente, realizar a extração pixel a pixel de uma ou múltiplas bandas do produto geoespacial em conjunto de cenas. Esse processo foi efetuado para todos os produtos utilizados nessa pesquisa.

Para a primeira análise da precipitação pluvial do estado do Mato Grosso foram usados dados de precipitação pluvial, medidos em 30 estações meteorológicas automáticas pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e 140 postos pluviométricos pertencentes a Agência Nacional das Águas (ANA), denominando-se esse conjunto de ESM (Figura 1). Para a análise do conjunto de dados de precipitação estimados pelo produto do satélite CHIRPS, em relação aos observados (ESM), foi utilizada a série de dados diários

coletados entre 1º de abril de 2014 e 31 de maio de 2018. O período foi definido com base na disponibilidade máxima de dados mensurados em superfície pelas ESM.

As informações provenientes do sensoriamento remoto foram comparadas pontualmente com as localizações das ESM, com a intenção de identificar o desempenho das estimativas de precipitação pluvial do produto CHIRPS para o estado do Mato Grosso, por meio da correlação dos dados geoespaciais às ESM. Em função das falhas do banco de ESM, buscou-se o intervalo de tempo com menor quantidade de dados faltantes, delimitando-se por utilizar todas as estações e pluviômetros com integridade dos seus dados diários, em um ano, acima de 80%. Por isso, o conjunto de dados utilizados abrange o período de abril de 2014 a maio de 2018, totalizando 50 meses de informações.

Figura 1. Disposição espacial das estações meteorológicas automáticas e de postos pluviométricos sobre a grade de pixels do satélite CHIRPS no estado do Mato Grosso.

Para uma segunda análise dos dados geoespaciais do produto CHIRPS, foi extraído nas mesmas localizações das ESM, informações das estimativas de precipitação histórica do satélite para o período de 1º de janeiro de 1981 a 31 de dezembro de 2019, formando-se 6.290 séries temporais (37 anos x 170 ESM), sendo essas informações usadas na análise de agrupamentos

com a intenção de obter regiões pluviométricas homogêneas para o estado do Mato Grosso. No processamento dos dados, foram eliminados dados “*outlier*” ou seja, observações que desviaram significativamente do restante da amostra, para melhor assertividade e padronização de escala dos dados (FÁVERO et al., 2009; HAIR et al., 2009).

A avaliação da assertividade dos dados geoespaciais foi realizada a partir do coeficiente de determinação (R^2) (Equação 1), pela raiz do erro quadrático médio (RMSE, do inglês *root mean square error*) (Equação 2), erro médio ou viés aditivo (BIAS, do inglês *additive bias*) (Equação 3) e probabilidade de BIAS (PBIAS) (Equação 4). O R^2 foi usado para determinar o ajuste entre os dados de precipitação das RMSE e dos dados estimados pelos satélites (EST). O Bias, por outro lado, é uma medida de como um valor estimado se desvia do valor observado (referência) e indica se há sub ou superestimação, enquanto o PBIAS é uma porcentagem do Bias relativo à média observada.

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (EST - ESTm)(ESM - ESMm)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (EST - ESTm)^2 \sum_{i=1}^n (ESM - ESMm)^2}} \right]^2 \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (ESM - EST)^2}{N}} \quad (2)$$

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (EST - ESM)}{N} \quad (3)$$

$$PBIAS = \frac{Bias}{\left(\frac{1}{N}\right) \sum_{i=1}^n ESM} \times 100 \quad (4)$$

Em que ESM são os dados observados pelas estações meteorológicas automáticas pertencentes ao INMET e dos postos pluviométricos da ANA, ESMm é a média dos valores observados, EST são os dados das estimativas por satélite (CHI), ESTm é a média dos valores estimados e N número de medições. Utilizou-se o programa estatístico R versão 3.6.1 (R CORE TEAM, 2019) para manipulação do banco de dados e de programas de sistema de informação geográfica (GIS - *Geographic Information System*, na sigla em inglês) para elaboração dos mapas dessa dissertação.

2.2.3. Regiões pluviométricas homogêneas do Mato Grosso

Foram empregadas 4 técnicas de análise de agrupamentos hierárquicos aglomerativos (método da ligação simples - SPS, ligação média - MED, método da ligação completa - CPT e critério de Ward - WRD) para determinar as regiões pluviométricas homogêneas. Para definir o método de agrupamento mais adequado foi usado o coeficiente de correlação cofenética, denominado CCC (CARVALHO et al., 2009; GOBO et al., 2018).

O CCC é obtido pelo quociente entre os valores de similaridade da matriz original e da matriz resultante da simplificação do dendrograma, sendo que quanto maior for o valor, menor será a distorção provocada pelos agrupamentos dos dados (VICINI e SOUZA, 2005; KOPP et al. 2007) (Equação 5).

$$CCC = \frac{C\hat{o}v(F, C)}{\sqrt{V(F)V(C)}} \quad (5)$$

Em que: F representa a matriz fenética; C retrata a matriz cofenética.

O método WRD, o qual obteve o maior CCC, foi utilizado nas análises, sendo descartado os outros métodos. Para validar o número de agrupamentos, empregou-se o índice de *Silhouette*, desenvolvido por Rousseeuw (1987). No método, a largura da silhueta avalia se a qualidade de uma solução do agrupamento, podendo ser considerado, tanto a compacidade (distância entre os pontos de dados dentro do mesmo grupo) quanto a separação (distância entre os pontos de dados em dois grupos vizinhos). Esse método possibilita determinar o número ideal de grupos, tal que o valor de k é escolhido de maneira que forneça o melhor valor médio do *Silhouette* (GIL et al., 2015; SANTOS et al., 2015; SILVA et al., 2018). O índice sinaliza a boa qualidade na formação dos grupos quando o seu valor for mais próximo de 1, sendo esse o seu valor máximo.

Ao final, foi gerado um dendrograma a partir da combinação das ESM e do método mais representativo aos dados geoespaciais. Os procedimentos estatísticos executados neste trabalho foram realizados no programa R versão 3.6.1 (R CORE TEAM, 2019), assim como as funções utilizadas foram *scale*, *dist* e *hclust*, e os pacotes *factoextra* (KASSAMBARA e MUNDT, 2019), *ggplot2* (WICKHAM, 2016) e *vegan* (OKSANEN et al., 2019), do mesmo programa, para realizar os agrupamentos hierárquicos, dendrograma e gráficos. Para a manipulação do banco de dados geoespaciais, foi utilizada a própria plataforma do GEE e de programas de

sistema de informação geográfica (GIS - *Geographic Information System*, na sigla em inglês) para elaboração dos mapas.

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1. Análise dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS

A relação entre os dados de precipitação pluvial mensurados nas ESM e provenientes do produto CHIRPS (Figura 2), relativos a série temporal de 2014 a 2018, mostra uma correlação (R^2) entre os dados de 0,69, com um desvio de 7,7% (PBIAS) e um erro médio de 3,03 mm dia⁻¹ (RMSE). O produto CHIRPS apresentou leve tendência de superestimar os valores de precipitação medidos na escala diária. Os resultados obtidos para o Mato Grosso (Figura 2) demonstram similaridade aos comparativos entre medições e estimativas feitas em estudos também realizados no Brasil (PAREDES-TREJO et al., 2017; SILVA et al., 2019).

As estimativas de precipitação pluvial por satélite, para a escala diária, costumam ter maiores interferências quando comparadas a maiores escalas temporais, como decêndiais, mensais e anuais (SILVA et al., 2019). Devido à diferença da topografia, da cobertura vegetal ou a questões físicas como variação térmica regional e localidades que propiciam a formação de estruturas de nuvens diversificadas, a variação espaço-temporal da precipitação pode afetar a relação das estimativas de satélite com os dados observados (CASTELHANO et al., 2017; MA et al., 2016; NOGUEIRA et al., 2018; ZHANG et al., 2018; XU et al., 2017).

Resultados de comparações de dados de chuva medidos por pluviômetros, cuja área de coleta varia entre 300 e 500 cm², e dados estimados por satélites para áreas de centenas ou milhares de metros quadrados, derivados das características meteorológicas dessas áreas, em especial presença de nuvens e algumas de suas características físicas, devem considerar essas diferenças, podendo sofrer modificações devido a resolução espacial do produto de satélite.

O satélite identifica o comportamento médio dentro da área padrão de coleta de dados e a partir de um algoritmo específico, estima quanto foi precipitado dentro dessa região. E mesmo que exista variações dentro do pixel, tais valores extremos são suavizados para a formação do valor médio em nível de pixel.

Por outro lado, diferente do produto de satélite, o pluviômetro identifica as variações da precipitação na escala diária, porém o dado observado representará a precipitação do seu local de instalação, sem vislumbrar qualquer nível de variabilidade mesmo para pequenas distâncias,

definidas por malhas pluviométricas (SCHILLING, 1991; JENSEN e PEDERSEN, 2005; GIRES et al., 2014; FERNEDA, 2020; SANTOS, 2020).

Considerando as diferenças entre os dados, especificamente sobre a forma de obtenção, apesar dos resultados (Figura 2) RMSE de 3,03 mm dia⁻¹ e PBIAS de 7,7%, pode-se inferir que os dados estimados podem refletir melhor a precipitação média, justificando o aumento da dispersão dos resultados com aumento do volume precipitado.

Figura 2. Correlação entre os dados precipitação pluvial das estações meteorológicas de superfície (ESM) e do produto CHIRPS (CHI), para o estado do Mato Grosso no período de 1º de abril de 2014 a 31 de maio de 2018.

Produtos que estimam a precipitação por satélite, em regiões tropicais, podem ter resultados diferentes ao longo de um ano, devido as variações sazonais dos volumes de chuva, a exemplo da climatologia do estado do Mato Grosso, interferindo e intensificando tais diferenças nos meses úmidos e secos (Figura 3). Conforme resultados de Fetter et al. (2018), o Mato Grosso apresenta alta variabilidade espaço-temporal da chuva ao longo do ano. Destacam-se os meses de setembro e outubro, que marcam o início da estação chuvosa no estado, com volumes acumulados mensais elevados, e os meses de abril, maio e junho, na estação seca, com pouca chuva acumulada. Todos esses períodos apresentaram o Índice de Proporção de Escalas (IPE) mais próximos a zero, indicando que a variação na quantidade de chuva deve-se em maior parte à heterogeneidade espacial. Para os demais meses do ano, apesar dos maiores valores de IPE, caracterizam algumas das áreas com maior variabilidade espaço-temporal.

Figura 3. Gráfico de box-plot da precipitação mensal média das estações de superfície (ESM) e do produto CHIRPS (CHI) no estado do Mato Grosso.

Portanto, subestimativas ou supertimativas da precipitação mensal para o Mato Grosso (Figura 3), são esperadas, em função das características diferenciadas de medição da chuva feita em ESM e no produto CHIRPS. Por tais motivos para os meses mais chuvosos, de outubro a março, têm-se resultados de apontam o aumento do desvio padrão. Destaca-se, no período, o mês de fevereiro, que teve a maior diferença entre os meses observados. Nos meses mais secos, de maio a setembro, o desvio do produto CHIRPS foi menor, sendo que para o mês de junho os resultados mostraram mínimo nível de diferença entre os dois conjuntos de dados.

A correlação dos dados de precipitação do produto de satélite com os dados de superfície (ESM), para a escala mensal, identifica uma estimativa para o estado do Mato Grosso, com melhor correlação em comparação ao ajuste obtido para a escala diária. Para estimativas mensais o RMSE ficou em $28,1 \text{ mm mês}^{-1}$, destacando que análises mensais (Figura 3) acusam estimativas diferentes dentro os meses, com maiores desvios para meses mais chuvosos.

Segundo Costa et al. (2019), ao analisar o comportamento mensal do produto CHIRPS e realizar a validação desses dados no período de 1998 a 2010, para todo o Brasil, encontrou-se coeficiente de determinação corresponde a 93% para a região Centro-Oeste, praticamente o resultado aqui obtido ($R^2 = 0,95$). Esses autores destacam que o produto CHIRPS tende a

subestimar os dados nas estações mais úmidas do ano, principalmente de setembro a março, onde a ocorrência de chuvas convectivas é acentuada. A mesma conclusão foi apresentada por Cavalcante et al. (2020) que analisaram o mesmo produto na região Norte do Brasil.

Figura 3. Correlação entre os dados de precipitação pluvial das estações meteorológicas de superfície (ESM) e do produto CHIRPS (CHI), para o estado do Mato Grosso, no período de 1º de abril de 2014 a 31 de maio de 2018.

2.3.2. Regiões pluviométricas homogêneas no estado do Mato Grosso

A partir dos dados de precipitação média mensal (CHI) da série de anos de 1981 a 2019, considerando-se o bom ajuste obtido para entre dados estimados e medidos em escala mensal (Figura 3) para um período parcial, 2014 a 2018, foram realizadas as análises para a formação dos agrupamentos hierárquicos das regiões pluviométricas homogêneas no estado do Mato Grosso.

A análise dos resultados dos quatro métodos de agrupamentos usados indicaram valores de CCC de 0,495, 0,713, 0,612 e 0,792, respectivamente, para os métodos SPS, MED, CPT e WARD. Dessa forma, o melhor resultado obtido foi a partir do método de Ward. Com a escolha do método de Ward, foi aplicado o índice *Silhouette* para validar os agrupamentos formados.

Os grupos formados de acordo com os valores do índice de *Silhouette*, $s(i)$, foram definidos por 4 regiões pluviométricas homogêneas de precipitação do estado do Mato Grosso (Figura 4). Nele, cada grupo pode ser identificado pela quantidade de elementos incluídos em seu respectivo agrupamento (n), o valor da largura média da silhueta, $\bar{s}(k)$, tanto por grupo

quanto médio aos 4 grupos formados, demonstrando valor médio de 0,59. Em estudo realizado por Santos et al. (2015), foram encontrados valores menores do que 0,5 para o índice, o que pode ser provocado pelas grandes diferenças entre os regimes de chuvas para todo o estado do Mato Grosso e pela dificuldade de agregação dos grupos conforme os dados analisados.

Figura 4. Valores do índice de *Silhouette* para cada um dos 4 agrupamentos (grupos) formados para o estado do Mato Grosso.

Definido a disposição das ESM em quatro grupos, , representado pelo dendrograma (Figura 5), tem-se um primeiro agrupamento (Grupo 1), ao sul do estado, resultado do agrupamento de 58 pontos de medição, sempre coincidentes as coordenadas geográficas das estações meteorológicas (INMET) e postos pluviométricos (ANA) no estado do Mato Grosso. Já o segundo (Grupo 2), localizado mais ao norte do Grupo 1, promoveu o agrupamento de dados de precipitação estimada correspondentes ao posicionamento de outras 36 ESM. O terceiro (Grupo 3), distribuído na região centro-norte do Mato Grosso, agrupou um conjunto de 41 ESM enquanto o quarto (Grupo 4), posicionado no extremo norte do estado, agregou 35 ESM (Figuras 5 e 6).

Figura 5. Dendrograma com os quatro agrupamentos formados pelo aglomerado de grupos de dados homogêneos no estado do Mato Grosso, com base na distância euclidiana e o método de agrupamento de Ward.

Figura 6. Localização dos grupos pluviométricos homogêneos no estado do Mato Grosso, com base na média distância euclidiana e no método de agrupamento de Ward.

Observa-se, através da disposição dos *clusters*, que no território Mato-grossense há distribuição crescente nos volumes de chuva com o aumento da latitude local, observado entre

a extremidade sul (divisa com a Bolívia e estados de Goiás e Mato Grosso do Sul) e a porção norte do estado (Região Amazônica) (Figura 7).

Os totais acumulados médios de chuva variaram entre 900 e 1500 mm para o Grupo 1 (região sul do estado), entre 950 e 1750 mm para o Grupo 2 (região médio-sul), entre 950 e 1880 mm para o Grupo 3 (região centro-norte) e entre 1000 e 2000 para o Grupo 4 (região norte).

Situado no subtrópico, o estado do Mato Grosso sofre influências dos sistemas atmosféricos de origem tropical e extratropical, ocasionando diferenças nas características climáticas ao estado, principalmente, nas variações regionais e temporais de grande escala do clima, devido a intensa circulação da atmosfera sobre a região (ALVES, 2009; DINIZ et al., 2018). A seção norte recebe influências dos sistemas que atuam na região amazônica e a seção sul sofre a ação dos sistemas extratropicais, tais como os sistemas frontais (ALVES, 2009).

O norte do estado insere-se no bioma Amazônia, cujas florestas apresentam elevada taxa de retorno de água a atmosfera pelo processo de evapotranspiração (SALATI e VOSE, 1984; SPRACKLEN et al., 2012; NOBRE, 2014); logo, nessa região, haverá uma maior devolução por parte da evapotranspiração como precipitação pluvial. Quando se avança ao sul, tem-se um arco transicional para o bioma Cerrado. A partir dessa região há uma mudança da vegetação, onde a densidade florestal é menor e aumentam-se os campos de cultivo agrícolas. Nesse sentido, altera-se o clima em função dos mecanismos água/energia, acarretando a diminuição dos volumes acumulados de chuva (BONAN, 2008; BRÜMMER et al., 2012).

As diferenças de precipitação anual média entre agrupamentos (G1, G2, G3 e G4) e suas distribuições (Figura 7) evidenciam que o G1 apresenta a menor variabilidade de precipitação pluvial anual histórica, quando comparado aos outros grupo. Já o G3 foi caracterizado de forma contrária, com maior variabilidade, diferenciando-se em relação aos outros agrupamentos. Valores extremos (mínimo e máximo) seguem um padrão de acréscimo com redução da latitude local.

Figura 7. Box-Plot dos dados de precipitação pluvial média anual dos agrupamentos do estado do Mato Grosso (1981-2019).

A análise mensal da distribuição da precipitação em cada grupo permite identificar os períodos que mais contribuem para a diferenciação latitudinal do estado do Mato Grosso em relação ao seu regime pluviométrico anual (Figura 8).

O grupo G1, localizado no sul do estado, tem valores médios mensais mais baixos nas estações chuvosas quando comparado com os outros três grupos. Porém, mesmo com a ocorrência de precipitações pluviais menores ou nulas nos meses da estação seca, o grupo 1 possuiu maiores valores precipitados em relação aos outros para essa época do ano, e também com maior percentual de chuva na estação seca em relação ao total precipitado no ano (10,8 %).

Por outro lado, os grupos G2, G3 e G4, possuem maior similaridade em sua distribuição média mensal de precipitação, mostrando que nos meses mais chuvosos, principalmente dezembro, janeiro, fevereiro e março, os três têm regimes pluviométricos maiores, superando em mais de 30 mm os valores observados para o grupo G1.

O grupo 4 (G4) é o agrupamento com maior percentual de chuva na estação úmida (93,6%). Os grupos 2 e 3 possuem percentagens de chuva diferentes tanto nas estações secas quanto nas úmidas, mas seus valores são próximos das regiões extremas do estado, G1 e G4. No período seco G2 e G3, na estação seca acumulam 8,7 e 7,6% do total de chuva.

Outro comportamento que pode ser identificado é a ocorrência da antecipação das chuvas em cada região no mês de setembro. As regiões mais ao norte do estado, como G3 e G4, possuem maiores valores de precipitação pluvial, identificando-se também o prolongamento da estação chuvosa.

Segundo Nimer (1989), o período chuvoso da região está associado ao deslocamento para sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), acompanhando a marcha aparente do sol em direção ao Trópico de Capricórnio. Sobre a porção central da América do Sul, a ZCIT avança mais para sul do que nas regiões costeiras, gerando instabilidade em todo o Brasil central nos meses de verão. Em função da influência da massa de ar tropical marítima e equatorial, as temperaturas são elevadas durante todo o ano.

No inverno, quando a ZCIT está deslocada para o norte, a região apresenta baixa ou nenhuma precipitação, algo próximo dos índices pluviométricos encontrados nos 4 agrupamentos.

Figura 8. Gráfico de box-plot da série de precipitação mensal dos 4 agrupamentos do estado do Mato Grosso.

2.4. CONCLUSÃO

O estudo demonstrou que, para locais como o Mato Grosso, onde o número de estações meteorológicas de superfície é pequeno, e as séries de dados ainda recentes, o uso de dados estimados de forma remota, isolados ou associados a dados das estações meteorológicas, possibilita encontrar uma estratificação adequada da distribuição da precipitação no estado.

Utilizar o produto CHIRPS para análises meteorológicas possibilita o monitoramento da precipitação pluvial tanto de forma estadual como regional. O estudo mostrou que o Estado do Mato Grosso pode ser dividido em quatro regiões pluviometricamente homogêneas, com cerca de, aproximadamente, 89 a 94% das precipitações ocorrendo no verão e 6 a 11 % no inverno.

REFERÊNCIAS

- ANDRÉ, R.G.B.; MARQUES, V.S.; PINHEIRO, F.M.A.; FERRAUDO, A.S. Identificação de regiões pluviometricamente homogêneas no estado do Rio de Janeiro, utilizando valores mensais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, p.501-509, 2008.
- ALEXANDER, L.V.; ZHANG, X.; PETERSON, T.C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; KLEIN TANK, A.M.G.; HAYLOCK, M.; COLLINS, D.; TREWIN, B.; RAHIMZADEH, F.; TAGIPOUR, A.; RUMA KUMAR, K.; REVADEKAR, J.; GRIFFITHS, G.; VICENT, L.; STEPHENSON, D.B.; BURN, J.; AGUILAR, E.; BRUNET, M.; TAYLOR, M.; NEW, M.; ZHAI, R.; RUSTICUCCI, M.;VAZQUEZ-AGUIRRE, J.L. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research**, v.111, p.1-22, 2006.
- ALVES, L.M. Clima da região Centro-Oeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, N.J.; DIAS, M.A.F.S.; SILVA, M.G.A.J.da. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.235-242.
- ASHOURI, H.; HSU, K.-L.; SOROOSHIAN, S.; BRAITHWAITE, D.K.; KNAPP, K.R.; CECIL, L.D.; NELSON, B.R.; PRAT, O.P. PERSIANN-CDR: Daily precipitation climate data record from multi-satellite observations for hydrological and climate studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.96, ed.1, p.69–83, 2015.
- BONAN, G.B. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. **Science**, v.320, n.5882, p.1444-1449, 2008.
- BOSCHI, R.S.; OLIVEIRA, S.R.M.; ASSAD, E.D. Técnicas de mineração de dados para análise pluvial decenal do Rio Grande do Sul. **Engenharia Agrícola**, v.31, p.1189-1201, 2011.
- BRÜMMER, C.; BLACK, T.A.; JASSAL, R.S.; GRANT, N.J.; SPITTLEHOUSE, D.L.; CHEN, B.; NESIC, Z.; AMIRO, B.D.; ARAIN, M.A.; BARR, A.G.; BOURQUE, C.P.A. How climate and vegetation type influence evapotranspiration and water use efficiency in Canadian forest, peatland and grassland ecosystems. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.153, p.14-30, 2012.

- CARVALHO, M.F.; ALBUQUERQUE JUNIOR, C.L.; GUIDOLIN, A.F.; FARIAS, F.L. Aplicação da análise multivariada em avaliações de divergência genética através de marcadores moleculares dominantes em plantas medicinais. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v.11, ed.3, p.339-346, 2009.
- CASTELHANO, F.J.; PINHEIRO, G.M.; ROSEGHINI, G.M. Correlação entre precipitação estimada por satélite e dados de superfície para aplicação em estudos climatológicos. **Geosul**, v.32, n.64, p.179-192, 2017.
- CAVALCANTE, R.B.L.; FERREIRA, D.B.S.; PONTES, P.R.M.; TEDESCHI, R.G.; COSTA, C.P.W.; SOUZA, E.B. Evaluation of extreme rainfall indices from CHIRPS precipitation estimates over the Brazilian Amazonia. **Atmospheric Research**, v.238, n.104879, 2020.
- CÉRON, W.L.; MOLINA, -C.J.; RIVERA, I.A.; ANDREOLI, R.V.; KAYANO, M.T.; CANCHALA, T. A principal component analysis approach to assess CHIRPS precipitation dataset for the study of climate variability of the La Plata Basin, Southern South America. **Natural Hazards**, 2020.
- COMUNELLO, E.; ARAÚJO, L.B.; SENTELHAS, P.C.; ARAÚJO, M.F.C.; DIAS, C.T.S.; FIETZ, C.R. O uso da análise de cluster no estudo de características pluviométricas. **Sigmae**, v.2, n.3, p.29-37, 2013.
- CORREA, C.C.G.; TEODORO, P.E.; CUNHA, E.R.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; GOIS G.; RIBEIRO, L.P.; BACANI, V.M.; TORRES, F.E. Spatial interpolation of annual rainfall in the State Mato Grosso do Sul (Brazil) using different transitive theoretical mathematical models. **International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology**, v.3, n.10, p.16618-16625, 2014.
- COSTA, J.; PEREIRA, G.; SIQUEIRA, M.E.; CARDOZO, F.; SILVA, V.V. Validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para o Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.24, p.228-243, 2019.
- DINIZ, F.A.; RAMOS, A.M.; REBELLO, E.R.G. Brazilian climate normal for 1981-2010. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.53, n.2, p.131-143, 2018.
- DERIN, Y.; YILMAZ, K.K. Evaluation of multiple satellite-based precipitation products over complex topography. **Journal of Hydrometeorology**, v.15, ed.4, p.1498–1516, 2014.
- DONAT, M. G.; SILLMANN, J.; WILD, S.; ALEXANDER, L.V.; LIPPMANN, T.; ZWIERS, F.W. Consistency of temperature and precipitation extremes across various global gridded in situ and reanalysis datasets. **Journal of Climate**, v.27, ed.13, p.5019–5035, 2014.

- ELTAHIR, E.A.B.; BRAS, R.L. Precipitation recycling. **Reviews of Geophysics**, v.34, ed.3, p.367–378, 1996.
- FARSADNIA, F.; KAMROOD, M.R.; MOGHADDAM NIA, A.; MODARRES, R.; BRAY, M.T.; HAN, D.; SADATINEJAD, J. Identification of homogeneous regions for regionalization of watersheds by two-level self-organizing feature maps. **Journal of Hydrology**, v.509, p.387-397, 2013.
- FÁVERO, L.P.L., BELFIORE, P. **Análise de Dados: Modelagem multivariada para tomada de decisões**. Rio de Janeiro: Elsevier, p.646, 2009.
- FECHINE, J.A.L.; GALVINCIO, J.D. Agrupamento da precipitação mensal da bacia hidrográfica do rio Brígida–PE, através da multivariada. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.1, p.39-46, 2008.
- FERNEDA, B.G. **Variabilidade e efeitos da precipitação pluvial sobre a disponibilidade hídrica, crescimento e produção de soja em uma fazenda no estado de Mato Grosso**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas). Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.
- FETTER, R; OLIVEIRA, C.H.; STEINKE, E.T. Um índice para avaliação da variabilidade espaço-temporal das chuvas no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.33, n.2, p.225-237, 2018.
- FUNK, C.; PETERSON, P.; LANDSFELD, M.; PEDREROS, D.; VERDIN, J.; SHUKLA, S.; HUSAK, G.; ROWLAND, J.; HARRISON, L.; HOELL, A.; MICHAELSEN, J. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific Data**, n.150066, p.1-21, 2015.
- GEHNE, M.; HAMILL, T.M.; KILADIS, G.N.; TRENBERTH, K.E. Comparison of global precipitation estimates across a range of temporal and spatial scales. **Journal of Climate**, v.29, ed.21, p.7773–7795, 2016.
- GIL, V.O.; FERRAI, F.; EMMENDORFER, L. Investigação da aplicação de algoritmos de agrupamento para o problema astrofísico de classificação de galáxias. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, v.7, ed.2, p.52-61, 2015.
- GIRES, A.; TCHIGUIRINSKAIA, I.; SCHERTZER, D.; SCHELLART, A.; BERNE, A.; LOVEJOY, S. Influence of small scale rainfall variability on standard comparison tools between radar and rain gauge data. **Atmospheric Research**, v.138, p.125-138, 2014.

- GOBO, J. P. A.; GALVANI, E.; WOLLMANN, C. A. Influência do clima regional sobre o clima local a partir do diagnóstico de abrangência espacial e extrapolação escalar. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.22, p.210-228, 2018.
- GONÇALVES, M.F.; BLANCO, C.J.C.; SANTOS, V.C.; OLIVEIRA, L.L.S.; PESSOA, F.C.L. Identification of rainfall homogenous regions taking into account El Niño and La Niña and rainfall decrease in the state of Pará, Brazilian Amazon. **Acta Scientiarum**, v.38, n.2, p.209-216, 2016
- GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v.202, p.18-27, 2017.
- HAIR JR., J. F.; BLACK, W.C.; BABIN, B.J.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L. **Análise Multivariada de Dados**. Porto Alegre: Bookman, ed.6, p.688, 2009.
- HASSAN, B.G.H.; PING, F. Regional frequency analysis of daily rainfall extremes using L-moments approach. **APCBEE Procedia**, v.1, p.126-135, 2012.
- HUFFMAN, G.J.; BOLVIN, D.T.; NELKIN, E.J.; WOLFF, D.B.; ADLER, R.F.; GU, G.; NELKIN, E.J.; BOWMAN, K.P.; HONG, Y.; STOCKER, E.F.; WOLFF, D.B. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. **Journal of Hydrometeorology**, v.8, ed.1, p.38–55, 2007.
- HUFFMAN, G.J.; BOLVIN, D.T.; BRAITHWAITE, D.; HSU, K.; JOYCE, R.; KIDD, C.; NELKIN, E.J.; SOROOSHIAN, S.; TAN, J.; XIE, P. **NASA Global Precipitation Measurement (GPM) Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG)**. In: Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD), 2019. Disponível em: https://docserver.gesdisc.eosdis.nasa.gov/public/project/GPM/IMERG_ATBD_V06.pdf Acesso em: 22 jan. 2020.
- IBGE. Mapas IBGE. Rio de Janeiro: IBGE 2012. Disponível em: <<https://mapas.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 04 mar. 2020.
- JENSEN, N.E.; PEDERSON, L. Spatial variability of rainfall: Variations within a single radar pixel. **Atmospheric Research**, v.77, n.1-4, p.269-277, 2005.
- JIANG, S.; REN, L.; HONG, Y.; YONG, B.; YANG, X.; YUAN, F.; MA, M. Comprehensive evaluation of multi-satellite precipitation products with a dense rain gauge network and optimally merging their simulated hydrological flows using the Bayesian model averaging method. **Journal of Hydrology**, v.452–453, p.213–225, 2012.

- KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. (2019). factoeextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. R package version 1.0.6, 2019. <https://CRAN.R-project.org/package=factoeextra>
- KIDD, C.; LEVIZZANI, V. Status of satellite precipitation retrievals. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.15, ed.4, p.1109–1116, 2011.
- KIDD, C.; HUFFMAN, G. Global precipitation measurement. **Meteorological Applications**, v.18, ed.3, p.334–353, 2011.
- KIDD, C.; BAUER, P.; TURK, J.; HUFFMAN, G.J.; JOYCE, R.; HSU, K.L.; BRAITHWAITE, D. Intercomparison of high-resolution precipitation products over northwest Europe. **Journal of Hydrometeorology**, v.13, ed.1, p.67–83, 2012.
- KOPP, M.M.; DE SOUZA, V.Q.; COIMBRA, J.L.M.; LUZ, V.K.; MARINI, N.; OLIVEIRA, A.C. Melhoria da correlação cofenética pela exclusão de unidades experimentais na construção de dendrogramas. Revista da FZVA. **Uruguiana**, v.14, n.2, p.46-53, 2007.
- KÖPPEN, W. **Grundriss der Klimakunde**: Outline of climate science. Berlin: Walter de Gruyter, 1931.
- KUNKEL, K.E.; VOSE, R.S.; STEVENS, L.E.; KNIGHT, R.W. Is the monthly temperature climate of the United States becoming more extreme? **Geophysical Research Letters**, v.42, p.629–636, 2015.
- LARSON, L.W.; PECK, E.L. Accuracy of precipitation measurements for hydrologic modeling. **Water Resources Research**, v.10, ed.4, p.857–863, 1974.
- LIU, X.; YANG, T.; HSU, K.; LIU, C.; SOROOSHIAN, S. Evaluating the streamflow simulation capability of PERSIANN-CDR daily rainfall products in two river basins on the Tibetan Plateau. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.21, ed.1, p.169–181, 2017.
- LYRA, G.B.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; ZERI, M. Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Alagoas state, Northeast of Brazil. **International Journal of Climatology**, v.34, p.2345-2341, 2014.
- MA, Y.; TANG, G.; LONG, D.; YONG, B.; ZHOUNG, L.; WAN, W.; HONG, Y. Similarity and error intercomparison of the GPM and its predecessor-TRMM multisatellite precipitation analysis using the best available hourly gauge network over the Tibetan Plateau. **Remote Sensing**, v.8, p.569-586, 2016.

- MACEDO, M.J.H.; GUEDES, R.V.S.; SOUSA, F.A.S.; DANTAS, F.R.C. Análise do índice padronizado de precipitação para o estado da Paraíba, Brazil. **Revista Ambiente & Água**, v.5, n.1, p.204-214, 2010.
- MEGA, T.; USHIO, T.; KUBOTA, T.; KACHI, M.; AONASHI, K.; SHIGE, S. Gauge adjusted global satellite mapping of precipitation (GSMaP_Gauge). In. XXXIth URSI General Assembly and Scientific Symposium (URSI GASS), ed.30, 2014, Beijing, 2014. **Anais** [...]. Beijing: China, 2014, p.1-4.
- MIAO, C.; ASHOURI, H.; HSU, K.-L.; SOROOSHIAN, S.; DUAN, Q. Evaluation of the PERSIANN-CDR daily rainfall estimates in capturing the behavior of extreme precipitation events over China. **Journal of Hydrometeorology**, v.16, ed.3, p.1387–1396, 2015.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 421p. 2.ed. 1989.
- NOBRE, A.D. **O Futuro Climático da Amazônia**. Relatório de Avaliação Científica. ARA Articulación Regional Amazônica. 42 p. 2014.
- NOGUEIRA, S.M.C.; MOREIRA, M.A.; VOLPATO, M.M.L. Evaluating Precipitation Estimates from Eta, TRMM and CHIRPS Data in the South-Southeast Region of Minas Gerais State—Brazil. **Remote Sensing**, v.10, n.2, p.313, 2018.
- OKSANEN, J.; BLANCHET, F.G.; FRIENDLY, M.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MCGLINN, D.; MINCHIN, P.R.; O'HARA, R.B.; SIMPSON, G.L.; SOLYMOS, P.; STEVENS, M.H.; SZOECS, E.; WAGNER, H. (2019). **vegan: Community Ecology Package**. R package version 2.5-6. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- OLIVEIRA, L.F.C.; FIOREZE, A.P.; MEDEIROS, A.M.M.; SILVA, M.A.S. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.11, p.1186–1192, 2010.
- OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; XAVIER, F.M.G.; TEODORO, P.E.; GOIS, G.; DELGADO, R.C. Cluster analysis identified homogeneous regions in Tocantins State, Brazil. **Bioscience Journal**, v.33, n.2, p.333-340, 2017.
- PAREDES-TREJO, F.J.; BARBOSA, H.A.; KUMAR, T.V.L. Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. **Journal of Arid Environments**, v.139, p.23-40, 2017.
- R CORE TEAM, 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

- RAJAH, K.; O'LEARY, T.; TURNER, A.; PETRAKIS, G.; LEONARD, M.; WESTRA, S. Changes to the temporal distribution of daily precipitation. **Geophysical Research Letters**, v.41, p.8887–8894, 2014.
- RIVERA, J.A.; MARIANETTI, G.; HINRICHS, S. Validation of CHIRPS precipitation dataset along the Central Andes of Argentina. **Atmospheric Research**, v.213, p.437-449, 2018.
- ROUSSEEUW, P.J. Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. **Journal of Computational and Applied Mathematics**, v.20, p.53-65, 1987.
- SALATI E.; VOSE P. Amazon Basin: A system in equilibrium. **Science**, v.225, n.4658, 1984.
- SANTOS, T.L. **Variabilidade espacial e temporal da precipitação em Piracicaba (SP) e influência sobre a produtividade estimada da Soja**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas). Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.
- SANTOS, E.B.; LUCIO, P.S.; SILVA, C.M.S. Precipitation regionalization of the Brazilian Amazon. **Atmospheric Science Letters**, v.16, p.185-192, 2015.
- SCHWALBERT, R.A.; AMADO, T.; CORASSA, G.; POTT, L.P.; PRASAD, P.V.V.; CIAMPITTI, I.A. Satellite-based soybean yield forecast: Integrating machine learning and weather data for improving crop yield prediction in southern Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.284, 107886, 2020.
- SCHILLING, W. Rainfall data for urban hydrology: what do we need? **Atmospheric Research**, v.27, p.5-21, 1991.
- SEIDEL, E.J.; MOREIRA JÚNIOR, F.J.; ANSUI, A.P.; NOAL, M.R. Comparação entre o método Ward e o método K-médias no agrupamento de produtores de leite. **Ciência e Natureza**, v.30, n.1, p.7-15, 2008.
- SHIRIN, A.H.S.; THOMAS, R. Regionalization of rainfall in Kerala state. **Procedia Technology**, v.24, p.15-22, 2016.
- SILVA, M.N.A.S.; PESSOA, F.C.L.; SILVEIRA, R.N.P.O.; ROCHA, G.S.; MESQUITA, D.A. Determinação da homogeneidade e tendência das precipitações na bacia hidrográfica do Rio Tapajós. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.33, ed.4, p.665-675, 2018.
- SILVA, C.B.; SILVA, M.E.S.; AMBRIZZI, T.; TOMMASELLI, J.T.G.; PATUCCI, N.N.; MATAVELI, G.A.V.; LIMA, B.S., CORREA, W.C. Precipitação na América do Sul –

- Dados obtidos em estações meteorológicas automáticas e sistemas ornítais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.25, p.54-79, 2019.
- SPRACKLEN, D.V.; GARCIA, L.-C. The impact of Amazonian deforestation on Amazon basin rainfall. **Geophysical Research Letters**, v.42, p.9546-9552, 2012.
- SUN, Q.; MIAO, C.; DUAN, Q.; KONG, D.; YE, A.; DI, Z.; GONG, W. Would the ‘real’ observed dataset stand up? A critical examination of eight observed gridded climate datasets for China. **Environmental Research Letters**, v.9, ed.1, p.1-16, 2014.
- TRENBERTH, K.E.; DAI, A.; RASMUSSEN, R.M.; PARSONS, D.B. The changing character of precipitation. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.84, ed.9, p.1205–1217, 2003.
- VICINI, L; SOUZA, A.M. **Análise multivariada da teoria à prática**. Santa Maria: UFSM; CCNE, p.215, 2005.
- WANG, A.; ZENG, X. Global hourly land surface air temperature datasets: inter-comparison and climate change. **International Journal of Climatology**, v.35, ed.13, p.3959–3396, 2015.
- WARD, J.H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, v.58, n.301, p.236-244, 1963.
- WICKHAM, H. **ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**. Springer-Verlag: New York, 2016.
- XIE, P.P.; JANOWIAK, J.E.; ARKIN, P.A.; ADLER, R.; GRUBER, A.; FERRARO, R.; HUFFMAN, G.J.; CURTIS, S. GPCP Pentad precipitation analyses: An experimental dataset based on gauge observations and satellite estimates. **Journal of Climate**, v.16, ed.13, p.2197–2214, 2003.
- XU, Z.; TANG, Y.; CONNOR, T.; LI, D.; LI, Y.; LIU, J. Climate variability and trends at a national scale. **Scientific Reports**, v.7, n.3258, 2017.
- YILMAZ, K.K.; HOGUE, T.S.; HSU, K.L.; SOROOSHIAN, S.; GUPTA, H.V.; WAGENER, T. Intercomparison of rain gauge, radar, and satellite-based precipitation estimates with emphasis on hydrologic forecasting. **Journal of Hydrometeorology**, v.6, ed.4, p.497–517, 2005.

ZHANG, S.; WANG, D.; QIN, Z.; ZHENG, Y.; GUO, J. Assessment of the GPM and TRMM precipitation products using the rain gauge network over Tibetan plateau. **Journal of Meteorological Research**, v.32, p.324-336, 2018.

3 ANÁLISES TEMPORAIS DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO ESTIMADOS POR SATÉLITES PARA O ESTADO DO MATO GROSSO

RESUMO

A utilização de técnicas computacionais mais refinadas e de tecnologias embarcadas em satélites com múltiplos sensores, permeou a aceleração da criação de produtos de satélite que que atuem com performances variadas em diferentes regiões geográficas com condições climáticas e físicas diversas. O objetivo deste trabalho foi analisar diferentes produtos de estimativa de precipitação pluvial por sensoriamento remoto no estado do Mato Grosso. Foram utilizados dados estimados de precipitação pluvial diária média dos satélites CHIRPS, GPM, GSMaP e PERSIANN para 170 localidades que possuem estações automáticas e pluviométricas distribuídas no território do estado. Na primeira etapa obteve-se os dados na escala diária pelo Instituto Nacional de Meteorologia e pela Agência Nacional de Águas, correspondendo à série temporal de abril de 2014 a maio de 2018. Depois de identificada a performance dos satélites em relação as estações, executou-se uma segunda etapa, usando as mesmas localidades, só que dividindo-se as estações em quatro regiões pluviométricas homogêneas conforme estipuladas no Capítulo 1. Como resultados são apresentadas as variações da precipitação pluvial das regiões estabelecidas de forma diária, mensal, anual e pela alternância entre estações secas e úmidas. Conclui-se que, para o estado do Mato Grosso, a utilização dos produtos CHIRPS e GPM providenciam diferentes propostas de utilização, podendo ser usados tanto no monitoramento climatológico como no meteorológico local.

Palavras-chave: Produtos meteorológicos; Análise de agrupamentos; Variabilidade da precipitação; Monitoramento regional.

ABSTRACT

The use of more refined computing techniques and technologies embedded in satellites with multiple sensors, permeated the acceleration of the creation of satellite products that act with varied performances in different geographic regions with diverse climatic and physical conditions. The objective of this work was to analyze different products for rainfall estimation by remote sensing in the state of Mato Grosso. We used estimated daily average rainfall data from CHIRPS, GPM, GSMaP and PERSIANN satellites for 170 locations that have automatic and pluviometric stations distributed throughout the state. In the first stage, the data were obtained on a daily scale by the National Institute of Meteorology and the National Water Agency, corresponding to the time series from April 2014 to May 2018. After identifying the performance of the satellites in relation to the stations, a second stage was performed, using the same locations, only dividing the stations into four homogeneous rainfall regions as stipulated in Chapter 1. As results are presented the rainfall variations of the established regions on a daily, monthly, annual basis and by alternating between dry and wet stations. It is concluded that for the state of Mato Grosso, the use of CHIRPS and GPM products provide different proposals for use, and can be used both in local climate and in meteorological monitoring.

Keywords: Meteorological products; Analysis of clusters; Variability of rainfall; Regional monitoring.

3.1. INTRODUÇÃO

Conhecer o regime pluviométrico de uma região é necessário, devido as consequências que períodos de excassez ou excesso podem ter sobre as atividades humanas, como agricultura, abastecimento hídrico, geração de energia elétrica e serviços urbanos diversos (COURAULT et al., 2016; DAHRIA et al., 2016; PEREIRA et al., 2002).

A mensuração da precipitação é comumente feita em estações meteorológicas de superfície, as quais não estão regularmente distribuídas nos estados brasileiros, havendo assim lacunas de informação meteorológica para diversas localidades. Tal condição, associada às recorrentes falhas de registros representam uma situação problemática quanto ao conhecimento das ocorrências e variabilidades espaciais da precipitação (TSUKAHARA et al., 2010; VENTURA, 2012).

Segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM), especificamente tratando-se da variável precipitação pluvial, a recomendação quanto a disposição de estações meteorológicas está atrelada a diversas características devido a variação da distribuição espacial e temporal desse elemento (WMO, 1982; WMO, 2018). Porém, o recomendado é que uma rede pluviométrica possua uma distância entre os postos, em média, de 25 a 30 km em terreno plano, e aproximamente a metade dessa distância em áreas montanhosas (WMO, 1970). Por conta disso uma maior quantidade de pontos de observação seria necessária, o que normalmente esbarra em custo de instalação e manutenção. Desse modo, uma alternativa para a obtenção dessas informações tanto meteorológicas como climatológicas, é o uso de produtos de satélites.

Certos algoritmos desenvolvidos por sensoriamento remoto têm sido utilizados para observar a variabilidade da precipitação de forma temporal e espacial em diversos lugares do mundo. Também vem sendo desenvolvidos para estudos relacionados à agricultura, meteorologia e climatologia, utilizando modelos estatísticos e computacionais para apurar previsões meteorológicas das estruturas hidrológicas em uma localidade (LI et al., 2013; WANG et al., 2017; XUE et al., 2013).

Contudo, as fontes de erro associadas a esses produtos ainda não foram bem compreendidas. Como resultado, esses erros devem ser caracterizados pela utilidade da sua aplicação (VARIKODEN et al., 2010; XUE et al., 2013). Dessa forma, quantificar as incertezas e erros inerentes aos dados de precipitação dos satélites continua sendo um desafio (AGHAKOUCHAK et al., 2012; MEHRAN e AGHAKOUCHAK, 2014)

A natureza dos erros pode mudar com a atualização dos algoritmos ou mudança das fontes de dados (HIRPA et al., 2010; JIANG et al., 2012). Para um mesmo produto, o

desempenho pode variar significativamente entre diferentes estações do ano, regiões e tipos de precipitação (EBERT et al., 2007; GEBREGIORGIS e HOSSAIN, 2011).

Portanto, muitos produtos que estimam a precipitação têm sido avaliados para obter medições confiáveis e que capturem as variações espaço-temporais desse elemento (BECK et al., 2019; DULIÈRE et al., 2011; TRENBERTH, 2011). Além disso, há também diferença entre a qualidade e a resolução espaço-temporal dos produtos (SOROOSHIAN et al., 2011). Portanto, a quantificação dos erros é necessária para a assimilação dos dados, atualização do algoritmo e uso adequado em diversas aplicações.

Por conta do exposto, inúmeros trabalhos buscam intercomparar produtos de precipitação baseados em satélites em relação a observações pluviométricas pontuais ou produtos de pluviometria pós-investigação em escala global ou regional (HABIB et al., 2012; TANIGUCHI et al., 2013; VEERAKACHEN et al., 2014). Essas informações podem ser úteis, também, para o zoneamento agroclimático de uma região e definição do planejamento, tanto hídrico quanto agrícola, podendo caracterizar períodos de seca e seus efeitos na agricultura (AGUILAR et al., 1986).

Poucos esforços, porém, têm sido executados na avaliação e quantificação da confiabilidade e precisão desses produtos de precipitação por satélite para o Centro-Oeste brasileiro. Portanto, o objetivo dessa pesquisa foi analisar quatro produtos de sensoriamento remoto com diferentes características espaço-temporais vinculados às estimativas de precipitação pluvial, efetuando esse estudo em diferentes escalas de tempo para o estado do Mato Grosso.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1. Área de estudo

A extensão territorial do Estado de Mato Grosso (MT), localizado na porção central da América do Sul, é de 906.806,9 km² (IBGE, 2012), limitando-se entre os paralelos 10° a 19° Sul e os meridianos 51° a 62° Oeste (Figura 1). O estado é majoritariamente classificado por Aw, com verão quente chuvoso e inverno seco segundo a classificação de Köppen (KÖPPEN, 1931). A temperatura média anual é de 26,5°C com precipitação média anual próxima aos 1500 mm.

3.2.2. Aquisição dos dados meteorológicos

Os dados de precipitação para o Mato Grosso foram obtidos a partir de 30 estações meteorológicas automáticas pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e de outros 140 postos pluviométricos pertencentes a Agência Nacional das Águas (ANA). Esse conjunto de dados será identificado como ESM (Figura 1).

Figura 1. Localização das estações meteorológicas automáticas e postos pluviométricos no estado do Mato Grosso.

A partir das imagens dos satélites GPM, GSMaP, CHIRPS e PERSIANN (Tabela 1) foram obtidos os produtos estimados de precipitação na escala diária. Para o processamento das imagens foi usada a plataforma *Google Earth Engine* (GEE), na qual ocorreu toda a obtenção dos dados geoespaciais (GORELICK et al., 2017). Na interface do GEE, o processo de extração das informações de uma série temporal de imagens pode ser representada por uma *ImageCollection*, uma coleção de cenas de cada produto (GORELICK et al., 2017), necessitando criar uma função que tenha propriedades tanto espaciais quanto temporais para cada produto. Para a execução da metodologia, extraíram-se os valores pixel a pixel de uma ou

de múltiplas bandas do produto geoespacial em um conjunto de cenas. Esse processo foi efetuado para todos os produtos utilizados (Tabela 1).

Tabela 1. Informações gerais dos satélites utilizados nesse estudo.

Nome	Sigla usada	Versão	Resolução temporal	Resolução especial	Período de dados	Acesso ao banco de dados	Referências
GPM	GPM	v05 final	Meia hora	0.10° x 0.10° (~12 km)	2014-2019	GES DISC	Huffman et al. (2014)
GSMaP	GSM	Operacional	Horário	0.10° x 0.10° (~12 km)	2014-2020	GEE	Okamoto et al. (2015)
CHIRPS	CHI	v2.0 final	Diário	0.05° x 0.05° (~6 km)	1981-2020	GEE	Funk et al. (2015)
PERSIANN	PER	CDR – v1	Diário	0.25° x 0.25° (~30 km)	1983-2020	GEE	Ashouri et al. (2015)

3.2.3. Produto GPM

A Medição Global de Precipitação (*Global Precipitation Measurement* - GPM) é uma missão internacional de satélites para fornecer observações de última geração de chuva e neve em todo o mundo a cada três horas. O *Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM* (IMERG) é o algoritmo unificado que fornece estimativas de precipitação combinando dados de todos os instrumentos de microondas passivos na Constelação GPM. Esse algoritmo destina-se a intercalar, mesclar e interpolar todas as estimativas de precipitação por satélite, juntamente com estimativas de satélites de infravermelho (IR) calibradas por micro-ondas, análises de medidor de precipitação e outros estimadores de precipitação em tempo e espaço para as escalas TRMM e GPM em todo o globo. O sistema é executado várias vezes para cada tempo de observação, fornecendo uma estimativa rápida e com sucessivos ajustes nas estimativas à medida que mais dados são integrados. A etapa final usa dados de indicadores mensais para criar produtos no nível da pesquisa (HUFFMAN et al., 2014).

3.2.4. Produto GSMaP

O Mapeamento de Precipitação por Satélite Global (GSMaP, do inglês *Global Satellite Mapping of Precipitation*) é um algoritmo integrado que produz mapas globais de precipitação

com resolução temporal horária e espacial de $0,10^\circ \times 0,10^\circ$. O algoritmo combina observações de micro-ondas passivas (TRMM TMI, Aqua AMSR-E, DMSP SSM/I e SSMIS, NOAA-19 AMSU-B e MetOp-A MHS), micro-ondas ativas (TRMM PR) e infravermelho (GEO IR), sendo o infravermelho utilizado para propagar no tempo e no espaço as estimativas dos sensores de micro-ondas. O algoritmo GSMAP utiliza tabelas de correspondência (LUTs, do inglês *look-up-tables*), para estabelecer uma relação entre as taxas de chuva e o vetor de temperatura de brilho (Tbs) calculado a partir de um modelo de transferência radiativa (RTM, do inglês *radiative transfer model*). A recuperação das taxas de precipitação é realizada a partir das Tbs observadas utilizando as LUTs mencionadas anteriormente (OKAMOTO et al., 2015). Estudos abordam a sua utilização vinculada a modelos integrados de sensoriamento remoto para monitoramentos de bacias hidrográficas e estimativas de evapotranspiração, tanto no Brasil quanto no mundo (SATGÉ et al., 2020; FALCK, 2015)

3.2.5. Produto PERSIANN

PERSIANN-CDR (*Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks - Climate Data Record*) é um produto diário de precipitação quase global, que abrange o período de primeiro de janeiro de 1983 até o presente. Os dados são produzidos trimestralmente, com um atraso típico de três meses. O produto é desenvolvido pelo Centro de Hidrometeorologia e Sensoriamento Remoto da Universidade da Califórnia, Irvine (UC-IRVINE / CHRS) usando dados de infravermelho *Gridded Satellite* (GridSat-B1) que são derivados da fusão de dados IR do ISCCP B1, junto com a versão GPCP 2.2 (NOAA, 2018).

3.2.6. Produto CHIRPS

O produto CHIRPS (*Climate Hazards Group Infra-Red Precipitation with Station*), é um conjunto de dados de precipitação de cobertura espacial quase global, abrangendo as latitudes entre 50°S e 50°N por um período superior a 30 anos (iniciando em 1981), com resolução espacial de $0,05^\circ$ interpolados com dados de estações *in situ* para criar séries temporais que permitam a análise de tendências e monitoramento da precipitação. O método utilizado baseia-se em estimativas de dados de precipitação obtidos pela técnica *Cold Cloud Duration* (CCD) combinados aos dados de superfície, na escala diária (FUNK et al., 2015).

3.2.7. Informações dos bancos de dados e das escalas temporais

Devido ao banco de dados de ESM possuir falhas, buscou-se o intervalo de tempo com menor quantidade de dados faltantes, delimitando-se por utilizar todas as estações e pluviômetros com integridade dos seus dados diários, em um ano, acima de 80%. Dessa forma, selecionaram-se 170 ESM (Figura 1). Por essa razão, nas duas análises realizadas nesse capítulo, o mesmo conjunto de dados utilizado abrange o período de abril de 2014 a maio de 2018, totalizando 50 meses de informações.

Para avaliar o desempenho de diferentes produtos geoespaciais, selecionaram-se quatro algoritmos de estimativa de precipitação por satélite (EST) (Tabela 1). As informações foram extraídas de suas cenas utilizando o mesmo período de dados das ESM, pelas suas coordenadas geográficas.

Com o propósito de comparar os produtos geoespaciais e as ESM, primeiramente efetuaram-se comparações entre as ESM e as EST nas escalas temporais diária, mensal, anual, escala estacional (sendo estabelecido, verão, entre 20 de dezembro até 20 de março, outono, de 21 de março até 21 de junho, inverno, de 22 de junho até 22 de setembro e primavera, entre 23 de setembro até 19 de dezembro) e pelas estações secas e úmidas (respectivamente, 01 de maio a 30 de setembro e 01 de outubro a 30 de abril entre os anos analisados).

Posteriormente, optou-se por utilizar a divisão formulada no Capítulo 2, a partir da aglomeração hierárquica das ESM selecionadas no estado do Mato Grosso, realizando-se as análises diárias, mensais e por estações secas e úmidas. O intuito de repetir as análises dos produtos geoespaciais em grupos foi identificar se, devido as suas diferentes resoluções espaciais, esses apresentam diferenças entre si e entre as ESM, mesmo em regiões pluviométricas homogêneas.

3.2.8. Análise estatística dos dados

A avaliação da qualidade dos dados geoespaciais foi realizada a partir do coeficiente de determinação (R^2) (Equação 1), pela raiz do erro quadrático médio (RMSE, do inglês *root mean square error*) (Equação 2), do erro médio ou viés aditivo (BIAS, do inglês *additive bias*) (Equação 3) e da probabilidade de BIAS (PBIAS) (Equação 4).

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (ESM - ESMm)(EST - ESTm)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (ESM - ESMm)^2 (EST - ESTm)^2}} \right]^2 \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (EST - ESM)^2}{N}} \quad (2)$$

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (EST - ESM)}{N} \quad (3)$$

$$PBIAS = \frac{Bias}{\left(\frac{1}{N}\right) \sum_{i=1}^n ESM} \times 100 \quad (4)$$

Em que ESM são os observados pelas estações meteorológicas automáticas pertencentes ao INMET e dos postos pluviométricos da ANA, ESMm é a média dos valores observados, EST são os dados das estimativas por satélites (CHI, GPM, GSM e PER), ESTm é a média dos valores estimados e N número de medições. Utilizou-se o programa estatístico R versão 3.6.1 (R CORE TEAM, 2019) para manipulação do banco de dados e de programas de sistema de informação geográfica (GIS - *Geographic Information System*, na sigla em inglês) para elaboração dos mapas desse estudo.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados (Figura 2) mostram as correlações entre a precipitação estimada por satélite (Tabela 1) e a precipitação proveniente da rede de estações meteorológicas no estado de Mato Grosso, na escala diária. Como pode ser observado nas figuras de dispersão (Figura 2), os quatro produtos analisados apresentaram coeficiente de determinação (R^2) variando entre o máximo de 0,76 (GSM) e o mínimo de 0,55 (PERSIANN), caracterizando uma acentuada dispersão entre medidas e estimativas feitas para a escala diária.

Resultados para os produtos CHIRPS e GPM (Figura 2) apontam leve tendência de superestimativa da precipitação na escala diária, enquanto resultados contrários foram obtidos para os produtos GSM e PERSIANN, ambos subestimando os dados medidos, conforme os coeficientes angulares das retas de correlação.

Ao analisar as estimativas a partir do índice estatístico RMSE observa-se que o desempenho dos quatro produtos de satélite (Tabela 1) foi similar, com diferença mínima entre as estimativas e medidas de 2,46 mm dia⁻¹ do GSM e máximo de 3,31 mm dia⁻¹ do PERSIANN. Complementarmente, o índice PBIAS, ao assinalar a tendência média entre valores estimados e medidos, acusa superestimativas para os produtos CHIRPS (7,7) e GPM (2,0) e subestimativas para GSM (-23,8) e PERSIAAN (4,4).

O que pode ser indicado nessa análise é que a resolução espacial, sendo ela maior, como ao produto CHI, nessas localidades estudadas, não mostrou melhorias em seu desempenho quando comparado aos outros produtos que possuem resoluções espaciais menores. Uma das causas pode ser a diferença de captura das informações que os algoritmos dos produtos possuem, porém esse aspecto não será abordado nessa pesquisa.

Figura 2. Correlações entre dados diários de precipitação medidos nas estações de superfície (ESM) e estimados pelos produtos de satélite (CHI, GPM, GSM e PER) para o estado do Mato Grosso.

Camparotto et al. (2013) avaliaram dados obtidos via satélites TRMM e MODIS para o estado de São Paulo, validando as estimativas com dados observados de 30 estações meteorológicas, coletados entre os anos de 2003 a 2010. Os resultados encontrados estão próximos às estimativas obtidas na escala diária nesse trabalho pelo produto CHIRPS. Diferenças em capacidade preditiva dos produtos de satélites para diferentes regiões devem-se, sobretudo, à topografia, às variações regionais de formação de nuvens e, especialmente, à forma como o satélite responde a essas estruturas e à resolução espacial do produto utilizado (CASTELHANO et al., 2017; MA et al., 2016; NOGUEIRA et al., 2018; XU et al., 2017).

Quando analisados os produtos na escala mensal (Figura 3), identifica-se a manutenção dos padrões dos produtos de satélite. Com melhor ajuste aos dados de precipitação, o produto GPM obteve coeficiente de determinação de 0,98 e RMSE com valor de $17,67 \text{ mm mês}^{-1}$, sendo considerado adequado para análises regionais de precipitação, mesmo apresentando maiores

valores de erro do que foi exposto na escala diária (RMSE de 2,95 mm dia⁻¹). Fazendo a mesma comparação, diferente do GPM, quando analisamos as performances dos outros produtos, maiores diferenças entre os valores de RMSE e PBIAS são encontradas.

O produto PER, apresentou alguns valores extremos em suas estimativas, e por isso obteve o maior RMSE dos produtos, com valor de 59,63 mm mês⁻¹, sendo um erro muito alto, principalmente se tratando da região do Centro-Oeste, que possui períodos chuvosos bem definidos durante o ano mas que tem a presença de chuvas convectivas no verão. Assim, em períodos mais secos, essa constelação pode provocar maiores incertezas em suas estimativas. Essa análise será realizada posteriormente nessa pesquisa.

Algo que pode ser identificado é a semelhança da performance entre os produtos CHI e GPM que superestimaram as chuvas tanto nas estimativas diárias quanto mensais de precipitação. Esse resultado apresentou-se diferente nos outros produtos, como o GSM e o PER que além de possuírem elevados erros, respectivamente, RMSE de 43,14 e 59,63 mm mês⁻¹, subestimaram da mesma forma nas duas escalas de tempo analisadas.

Figura 3. Correlações entre dados mensais de precipitação medidos nas estações de superfície (ESM) e estimados pelos produtos de satélite (CHI, GPM, GSM e PER) para o estado do Mato Grosso.

O padrão sazonal de precipitação do estado do Mato Grosso, descrito a partir dos dados das ESM, foi seguido pelas estimativas dos satélites (Figura 4). Para os meses chuvosos (de outubro a março), as estimativas de precipitação apresentaram maiores erros e desvios entre os

produtos analisados, em comparação com os resultados relativos aos meses mais secos das estações do outono-inverno (de abril a setembro).

Os melhores resultados foram obtidos para os produtos de satélites CHI e GPM, tanto nos meses chuvosos como naqueles mais secos. Diferente desses produtos, o GSM subestimou os dados medidos para todos os meses analisados, não sendo satisfatória sua utilização para o estado do Mato Grosso na escala mensal.

Por outro lado, o produto PER teve uma performance variada, superestimando os valores de precipitação nos períodos mais secos e subestimando nos chuvosos. Essa é uma característica normal dos satélites meteorológicos com baixas resoluções espaciais. Devido à sua grande área de cobertura, costuma computar falsos alertas de precipitação em regiões onde ocorre a formação de nuvens, mas que não são precipitadas naquele momento. Porém, poucos trabalhos relatam tais análises no território nacional, ainda mais utilizando um produto de satélite como PER.

Figura 4. Gráfico de box-plot da série de precipitação pluvial média na escala mensal dos dados de ESM em relação aos produtos (CHI, GPM, GSM e PER) para o estado do Mato Grosso.

Utilizando uma escala temporal maior, como a anual, verifica-se as estimativas de precipitação pluvial dos diferentes produtos para os anos de 2015 a 2017, conforme apresentado na Figura 5. Avaliando-se o acumulado anual médio, as menores diferenças entre a precipitação medida e estimada pelo satélite, foi do produto GPM, sendo uma diferença média de 46 mm por ano.

Os produtos CHI, PER e GSM, possuíram diferenças médias entre os valores estimados e os observados pelas ESM, respectivamente, de 133 mm, 141 mm e 305 mm por ano. Em todos os anos analisados, o produto GSM subestimou os volumes de precipitação, da mesma forma que nas escalas diária (Figura 2) e mensal (Figura 3).

O produto PER demonstrou um comportamento satisfatório para os anos de 2015 e 2017, subestimando somente para o ano de 2016. Os resultados indicam a possibilidade de utilizá-lo em escalas de tempo maiores, como a anual, devido apresentar uma longa série temporal de dados geoespaciais e ,assim, possibilitar a calibração ou validação desse para análises regionais de precipitação histórica.

Figura 5. Distribuição da precipitação acumulada anual para cada produto de satélite (CHI, GPM, GSM e PER) comparado à estações de superfícies (ESM).

Algo que explica alguns desempenhos dos satélites, são as suas diferenças nas estruturas dos seus algoritmos para coleta de dados. No caso do GPM, ele foi desenvolvido para captar precipitações com elevada amplitude, tanto *light* quanto *heavy rain*, e ter melhores estimativas em regiões mais planas, possibilitando resultados mais satisfatórios do que os outros satélites utilizados (HUFFMAN et al., 2014; SHARIFI et al., 2016).

Em outros estudos, a utilização do satélite CHI trouxe resultados bons quando executado em regiões montanhosas e ou acidentadas (RIVERA et al, 2018). Devido ser o produto com maior resolução espacial nessas análises (0,01°), o CHI tem valores próximos às estimativas do GPM. Segundo Gadelha et al. (2019), ao analisar a performance do GPM para diferentes localidades do Brasil, esses autores justificaram o melhor desempenho nas diferentes regiões,

devido suas estimativas possuírem valores próximos a processos de interpolação de dados de postos pluviométricos em regiões com baixa densidades de estações.

Quando avaliada as relações entre ESM e EST com o uso de regressões na escala mensais dos produtos, dividindo-se em grupos com diferentes volumes de chuva, utilizando a mesma divisão dos agrupamentos abordado no Capítulo 1, observa-se que em regiões com maiores volumes de precipitação pluvial, alguns satélites sofrem menores penalizações em suas estimativas, conforme apresentado na Tabela 2.

Separando os produtos de precipitação pluvial de acordo com os respectivos agrupamentos, demonstra-se uma variação nas estimativas dos satélites meteorológicos nas 4 regiões do estado do Mato Grosso, desde a região mais seca no sul, à região mais úmida ao norte. Da mesma forma que os produtos estimam a precipitação de formas diferentes durante o ano, devido a sazonalidade da precipitação, a partir das análises por agrupamentos, o mesmo ocorre por regiões.

Os resultados demonstram que existe uma diferença nas estimativas de satélite entre as regiões sul e norte do estado do Mato Grosso. Quando avaliados os produtos ao norte, maiores foram as incertezas nas estimativas da precipitação. Já no sul do estado, utilizando os mesmos produtos, menores foram essas diferenças nas estimativas. E isso ocorreu independente da resolução espacial do produto utilizado. Porém a região sul tem menos frequência de observações de precipitação.

Um exemplo é o produto CHI, que ao mudar do grupo 1 (G1) ao G4, possuiu uma mudança do PBIAS de 7,9 a 22,4%, superestimando em decorrência do aumento do volume precipitado mensalmente em um ano. Da mesma forma é o seu RMSE que de 83,98 foi para 121,41 mm mês⁻¹. Porém, o produto GPM mostrou as menores variações estatísticas, quando submetido aos diferentes agrupamentos.

Independente do grupo que o produto GSM foi submetido, possuiu subestimativa de precipitação variando de região para região; entretanto, o menor valor encontrado foi no G3, no qual observou-se menor PBIAS e maior R², respectivamente, -14,9% e 0,53. Outro produto que possuiu variação em sua performance foi o PER, o qual possuiu maiores coeficientes de determinação nas regiões centrais do estado, como G2 e G3, e menores valores de PBIAS.

Tabela 2. Indicadores estatísticos para os valores mensais de precipitação pluvial para os produtos estimados comparados com as ESM durante o período de janeiro de 2015 a dezembro de 2017 para cada um dos grupos estabelecidos para o estado do Mato Grosso.

Produto	Grupo	Equação	R ²	RMSE (mm mês ⁻¹)	PBIAS (%)
CHI	G1	$y = 55,4 + 0,59x$	0,50	83,98	7,90
GPM	G1	$y = 58,7 + 0,60x$	0,50	85,14	11,70
GSM	G1	$y = 39,0 + 0,44x$	0,43	91,25	-21,50
PER	G1	$y = 63,4 + 0,41x$	0,41	93,84	10,50
CHI	G2	$y = 62,2 + 0,67x$	0,49	101,07	14,70
GPM	G2	$y = 51,1 + 0,67x$	0,54	92,23	6,70
GSM	G2	$y = 39,8 + 0,53x$	0,50	95,28	-16,80
PER	G2	$y = 52,0 + 0,59x$	0,48	96,51	-0,70
CHI	G3	$y = 59,3 + 0,77x$	0,56	103,63	18,00
GPM	G3	$y = 47,9 + 0,74x$	0,59	93,27	6,70
GSM	G3	$y = 36,9 + 0,60x$	0,53	97,77	-14,90
PER	G3	$y = 64,7 + 0,57x$	0,43	108,43	1,30
CHI	G4	$y = 71,9 + 0,69x$	0,49	121,41	22,40
GPM	G4	$y = 61,1 + 0,65x$	0,52	110,84	10,60
GSM	G4	$y = 49,9 + 0,43x$	0,40	121,74	-20,50
PER	G4	$y = 62,3 + 0,50x$	0,42	118,75	-3,80

Submetendo-se os produtos de satélite às divisões dos agrupamentos, buscando analisar as suas performances médias mensais de precipitação, pode ser observado grandes oscilações entre os produtos (Figura 12). Devido a existência de falsos alertas, quando existe presença de nuvens estratiformes na atmosfera e não ocorre precipitação, o satélite pode contabilizar a precipitação mesmo que não tenha ocorrência da mesma. Entre as estações do outono-inverno, entre os meses de abril a setembro, no estado do Mato Grosso, costuma-se permanecer por muitos dias uma grande massa de nebulosidade.

Por conta disso, justifica-se a existência dos pontos extremos nos meses de junho a agosto e também por estar intrinsecamente ligado às suas respectivas áreas de cobertura das estimativas, tamanho de *pixel*, como comentado anteriormente. No caso do CHI, sendo o satélite com maior resolução espacial analisado nesse estudo (0,01°), devido ao seu detalhamento na obtenção de informações geospaciais, pode estabelecer maiores erros em suas estimativas por

conta da sensibilidade que o algoritmo possui em relação as mudanças da superfície terrestre e os efeitos que a atmosfera pode provocar nas estimativas.

De acordo com os comportamentos das estimativas mensais dos produtos CHI e GPM, utilizar ambos para análises regionais prevê bons resultados independente da região do estado escolhida. O mesmo não pode ser afirmado para os produtos GSM e PER, que dependem de uma avaliação prévia das suas estimativas em cada localidade.

Figura 12. Gráfico de box-plot da precipitação pluvial média na escala mensal em relação aos dados de ESM e os produtos (CHI, GPM, GSM e PER) para os agrupamentos (G1, G2, G3 e G4) do estado do Mato Grosso.

3.4. CONCLUSÃO

Com base nos resultados verifica-se a possibilidade de utilizar os diferentes produtos, GPM e CHI, com o propósito de monitorar regionalmente a precipitação pluvial. Tais produtos obtiveram melhores resultados devido suas diferentes características estruturais, como resoluções espaciais e temporais, e capacidade de captar uma larga amplitude de precipitações pluviais. Porém, é necessário avaliar por meio de mais estudos as variabilidades espaciais e temporais desses produtos para a estimativa de precipitação pluvial regional e municipal. Pode-se por tais análises, permitir maiores testes para averiguar o desempenho desses produtos ou de sua utilização em conjunto com calibrações locais para diminuição das incertezas das estimativas desses produtos.

REFERÊNCIAS

- AGHAKOUCHAK, A.; MEHRAN, A.; NOROUZI, H.; BEHRANGI, A. Systematic and random error components in satellite precipitation data sets. **Geophysical Research Letters**, v.39, n.L09406., 2012.
- AGUILAR, D.; KRUKER, J.; CALHEIROS, R.D.; SILVA, C. **Determinação da vapotranspiração potencial e balanço hídrico climático da região da Grande Dourados, MS.**Dourados: EMBRAPA-UEPAE Dourados, 1986.
- ASHOURI, H.; HSU, K.; SOROOSHIAN, S.; BRAITHWAITE, D.K.; KNAPP, K.R.; CECIL, L.D.; NELSON, B.R.; PRAT, O.P. PERSIANNCDR: Daily precipitation climate data record from multisatellite observations for hydrological and climate studies. **American Meteorological Society**, v.96, p.69–83, 2015.
- BECK, H.E.; PAN, M.; ROY, T.; WEEDON, G.P.; PAPPENBERGER, F.; DIJK, A.I.M.V.; HUFFMAN, G.J.; ADLER, R.F. WOOD, E.F. Daily evaluation of 26 precipitation datasets using Stage-IV gauge-radar data for the CONUS. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.23, p.207–224, 2019.
- CAMPAROTTO, L.B.; BLAIN, G.C.; GIAROLLA, A.; ADAMI, M.; CAMARGO, M.B.P. Validação de dados termopluviométricos obtidos via sensoriamento remoto para o Estado de São Paulo. **Campina Grande**, v.17, p.665-671, 2013.
- CASTELHANO, F.J.; PINHEIRO, G.M.; ROSEGHINI, G.M. Correlação entre precipitação estimada por satélite e dados de superfície para aplicação em estudos climatológicos. **Geosul**, v.32, n.64, p.179-192, 2017.

- COURAULT, D.; DEMAREZ, V.; GUÉRIF, M.; PAGE, M.L.; SIMONNEAUX, V.; FERRANT, S.; VELOSO, A. Contribution of remote sensing for crop and water monitoring. *In*: BAGHDADI, N.; ZRIBI, M. **Land Surface Remote Sensing in Agriculture and Forest**. Reino Unido: Elsevier, 2016. p.113-177.
- DAHRIA, Z.H.; LUDWIG, F.; MOORS, C.E.; AHMADA, B.; KHANE, A.; KABAT, P. An appraisal of precipitation distribution in the high-altitude catchments of the Indus basin. **Science of The Total Environment**, v.548-549, p.289-306, 2016.
- DULIÈRE, V.; ZHANG, Y.; SALATHÉ, E.P. Extreme precipitation and temperature over the U.S. Pacific Northwest: a comparison between observations, reanalysis data, and regional models. **Journal of Climate**, v24, 1950–1964, 2011.
- EBERT, E.E.; JANOWIAK, J.E.; KIDD, C. Comparison of near-real-time precipitation estimates from satellite observations and numerical models. **Bulletin of American Meteorological Society**, v.88, p.47–64, 2007.
- FALCK, A.S.; MAGGIONI, V.; TOMASELLA, J.; VILA, D.A.; DINIZ, F.L.R. Propagation of satellite precipitation uncertainties through a distributed hydrologic model: A case study in the Tocantins-Araguaia basin in Brazil. **Journal of Hydrology**, v.527, p.943-957, 2015.
- FUNK, C.; PETERSON, P.; LANDSFELD, M.; PEDREROS, D.; VERDIN, J.; SHUKLA, S.; HUSAK, G.; ROWLAND, J.; HARRISON, L.; HOELL, A.; MICHAELSEN, J. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific Data**, n.150066, p.1-21, 2015.
- GADELHA, A.N.; COLEHO, V.H.R.; XAVIER, A.C.; BARBOSA, L.R.; MELO, D.C.D.; XUAN, Y.; HUFFMAN, G.J.; PETERSON, W.A.; ALMEIDA, C.N. Grid box-level evaluation of IMERG over Brazil at various space and time scales. **Atmospheric Research**, v.218, p.231-244, 2019.
- GEBREGIORGIS, A.S.; HOSSAIN, F. Understanding the dependency of satellite rainfall uncertainty on topography and climate for hydrologic model simulation. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.51, p.704–718, 2011.
- GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v.202, p.18-27, 2017.
- HABIB, E.; HAILE, A.T.; TIAN, Y.; JOYCE, R.J. Evaluation of the high-resolution CMORPH satellite rainfall product using dense rain gauge observations and radar-based estimates. **Journal Hydrometeorology**, v.13, p.1784–1798, 2012.

- HIRPA, F.A.; GEBREMICHAEL, M.; HOPSON, T. Evaluation of high-resolution satellite precipitation products over very complex terrain in Ethiopia. **Journal Applied Meteorology and Climatology**, v.49, p.1044–1051, 2010.
- 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, Disponível em: https://gpm.nasa.gov/sites/default/files/document_files/IMERG_ATBD_V4.4.pdf. Acesso em: 15 fev, 2020.
- IBGE. Mapas IBGE. Rio de Janeiro: IBGE 2012. Disponível em: <<https://mapas.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 04 mar. 2020.
- JIANG, S.; REN, L.; HONG, Y.; YONG, B.; YANG, X.; YUAN, F.; MA, M. Comprehensive evaluation of multi-satellite precipitation products with a dense rain gauge network and optimally merging their simulated hydrological flows using the Bayesian model averaging method. **Journal of Hydrology**, v.452–453, p.213–225, 2012.
- KÖPPEN, W. **Grundriss der Klimakunde**: Outline of climate science. Berlin: Walter de Gruyter, 1931.
- LI, X.; ZHANG, Q.; YE, X. Dry/wet conditions monitoring based on TRMM rainfall data and its reliability validation over poyang lake basin, China. **Water**, v.5, n.4, p.1848–1864, 2013.
- MA, Y.; TANG, G.; LONG, D.; YONG, B.; ZHONG, L. Similarity and error intercomparison of the gpm and its predecessor trmm multisatellite precipitation analysis using the best available hourly gauge network over the Tibetan Plateau. **Remote Sensing**, v.8, p.569, 1-17, 2016.
- MEHRAN, A.; AGHAKOUCHAK, A. Capabilities of satellite precipitation datasets to estimate heavy precipitation rates at different temporal accumulations. **Hydrological Processes**, v.28, p.2262–2270, 2014.
- NOAA. Climate Data Record (CDR) of Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks (PERSIANN-CDR), Version 1 Revision 1, 2018. Página inicial. Disponível em: <https://data.nodc.noaa.gov/cgi-bin/iso?id=gov.noaa.ncdc:C00854> . Acesso em: 03 de mar. de 2020.
- NOGUEIRA, S.M.C.; MOREIRA, M.A.; VOLPATO, M.M.L. Evaluating Precipitation Estimates from Eta, TRMM and CHRIPS Data in the South-Southeast Region of Minas Gerais State—Brazil. **Remote Sensing**, v.10, n.2, p.313, 2018.

- OKAMOTO, K.; IGUCHI, T.; TAKAHASHI, N.; IWANAMI, K.; USHIO, T. The Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) project, 25th IGARSS. **Proceedings**, p.3414-3416, 2015.
- PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, p.487, 2002.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria. R Foundation for Statistical Computing, 2019. Disponível em: <http://www.r-project.org/>.
- RIVERA, J.A.; MARIANETTI, G.; HINRICHS, S. Validation of CHIRPS precipitation dataset along the Central Andes of Argentina. **Atmospheric Research**, v.213, p.437-449, 2018.
- SATGÉ, F.; DEFRANCE, D.; SULTAN, B. BONNET, M.-P.; SEYLER, F.; ROUCHÉ, N.; PIERRON, F.; PATUREL, J.-E. Evaluation of 23 gridded precipitation datasets across West Africa. **Journal of Hydrology**, v.581, 2020.
- SHARIFI, E.; STEINACKER, R.; SAGHAFIAN, B. Assessment of GPM-IMERG and other precipitation products against gauge data under different topographic and climatic conditions in Iran: preliminary results. **Remote Sensing**, v.8, ed.2, p.135, 2016.
- SOROOSHIAN, S.; AGHAKOUCHAK, A.; ARKIN, P.; EYLANDER, J.; FOUFOULA-GEORGIOU, E.; HARMON, R.; HENDRICKX, J.M.H.; IMAM, B.; KULIGOWSKI, R.; SKAHILL, B.; SKOFRONICK, G.-J. Advanced concepts on remote sensing of precipitation at multiple scales. **Bulletin American Meteorological Society**, v.92, p.1353–1357, 2011.
- TANIGUCHI, A.; SHIGE, S.; YAMAMOTO, M.K.; MEGA, T.; KIDA, S.; KUBOTA, T.; KACHI, M.; USHIO, T.; AONASHI, K. Improvement of high-resolution satellite rainfall product for Typhoon Morakot (2009) over Taiwan. **Journal of Hydrometeorology**, v.14, p.1859–1871, 2013.
- TRENBERTH, K.E. Changes in precipitation with climate change. **Climate Research**, v.47, p.123–138, 2011.
- TSUKAHARA, R.; JENSEN, T.; CARAMORI, P. H. Utilização de Redes Neurais Artificiais para Preenchimento de Falhas em Séries Horárias de Dados Meteorológicos. **XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Belém, PA, 2010.
- VARIKODEN, H.; SAMAH, A.A.; BABU, C.A. Spatial and temporal characteristics of rain intensity in the Peninsular Malaysia using TRMM rain rate. **Journal of Hydrology**, v.387, p.312–319, 2010.

- VEERAKACHEN, W.; RAKSAPATCHARAWONG, M.; SETO, S. Performance evaluation of global satellite mapping of precipitation (GSMaP) products over the Chaophraya river basin, Thailand. **Hydrological Research Letters**, v.8, p.39–44, 2014.
- VENTURA, T.M. **Preenchimento de falhas de dados micrometeorológicos utilizando técnicas de inteligência artificial**. 2012. 84 f. Dissertação (Dissertação em Física Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2012.
- WANG, Z. et al. Evaluation of the GPM IMERG satellite-based precipitation products and the hydrological utility. **Atmospheric Research**, v. 196, n. May, p. 151–163, 2017.
- World Meteorological Organization (WMO). **The planning of meteorological station networks**, WMO n.265. Technical note, n.111. Genebra, Suíça, 1970.
- World Meteorological Organization (WMO). **Concepts and techniques in hydrological network design**, WMO n.580. Operational hydrology report, n.19. Genebra, Suíça, 1982.
- World Meteorological Organization (WMO). **Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation**, WMO n.8. Genebra, Suíça, 2018
- XU, Z.; TANG, Y.; CONNOR, T.; LI, D.; LI, Y.; LIU, J. Climate variability and trends at a national scale. **Scientific Reports**, v.7, n.3258, 2017.
- XUE, X.; HONG, Y.; LIMAYE, A.S.; GOURLEY, J.J.; HUFFMAN, G.J.; KHAN, S.I.; DORJI, C.; CHEN, S. Statistical and hydrological evaluation of TRMM-based multi-satellite precipitation analysis over the Wangchu basin of Bhutan: Are the latest satellite precipitation products 3B42V7 ready for use in ungauged basins? **Journal of Hydrology**, v.499, p.91-99, 2013.