

Precipitação e produtividade de grãos em zonas de transição Cerrado-Amazônia no Brasil: probabilidade, distribuição espacial e sistemas sinóticos

Rainfall and grain yield in the Cerrado-Amazon transition zones in Brazil: rain probability, spatial distribution, and synoptic systems

RESUMO

A pesquisa quantificou a probabilidade da precipitação mensal, trimestral e anual e analisou os sistemas sinóticos intervenientes em zonas de transição Cerrado-Amazônia no Brasil, especificamente a região médio norte de Mato Grosso (MNMT). O estudo foi baseado em dados de precipitação registrados em pluviômetros da rede hidrometeorológica nacional, de 1973 a 2017. Os procedimentos consistiram no emprego de análise estocástica e geoestatística da altura de chuva (mm), bem como a sazonalidade, a distribuição espacial e os períodos de ocorrência de eventos extremos de precipitação. Para modelagem estocástica foi utilizada a distribuição gama, sendo que os parâmetros foram estimados por meio do modelo de máxima verossimilhança e como teste de aderência utilizou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov. Para análise da distribuição espacial, os dados de chuva foram submetidos à modelagem geoestatística, com emprego do modelo krigagem ordinária para os processos de interpolação. Os resultados demonstram que existem duas estações bem definidas na área de estudo, uma chuvosa, que ocorre entre outubro e abril e uma seca, que predomina de maio a setembro. Os meses de abril e outubro podem ser considerados como meses de transição entre as duas estações. Os meses que possuem a maior altura de precipitação são dezembro, janeiro e fevereiro, sendo que o valor médio anual é de 1622 mm, com mínimo de 1341 e máximo de 1955 mm. A distribuição espacial da chuva apresenta um gradiente latitudinal, com tendência de aumento do total no sentido SE-NW, uma vez que as maiores alturas potenciais ocorrem no norte e noroeste da área de estudo. Os menores valores foram observados no sul e sudeste da área, principalmente no município de Nova Ubiratã.

Palavras-chave: planejamento agrícola, Mato Grosso, chuva, Amazônia legal, sazonalidade, modelagem estocástica.

ABSTRACT

The research quantified the probable monthly, quarterly, and annual precipitation height and analyzed the synoptic systems intervening over time for an important grain producing region located in the Brazilian legal Amazon. Through stochastic and geostatistical analysis, the study estimated the probable height of rain, showed its seasonality, its spatial behavior and the months with extreme rainfall. For stochastic modelling of rain, the gamma distribution, the maximum likelihood method was used to estimate the parameters, and the Kolmogorov-Smirnov test as an adhesion test. For spatialization of rain data, geostatistical modelling was performed using ordinary kriging as an interpolation method. We conclude that: there are two well-defined seasons in the middle north region of Mato Grosso (MNMT), a rainy one between October and April and a dry one between May and September; the months of April and October can be considered as months of transition between the two seasons; the months with the highest probable rainfall are December, January and February; the probable annual precipitation (PPA) in the MNMT region has an average value of 1622 mm, with a minimum of 1341 and a maximum of 1955 mm; the spatial distribution of rain is influenced by latitude and there is a tendency for the total to increase in the SE-NW direction. Finally, spatial analysis shows that the highest rainfall occurs in the north and northwest of the study area. The smallest, however, occur in the south and southeast of the area, mainly in the municipality of Nova Ubiratã.

Keywords: agricultural planning, Mato Grosso, rain, Legal Amazon, seasonality, stochastic modelling.

 Mairon Anderson Cordeiro
Correa de Carvalho ^a

 Eduardo Morgan Uliana ^b

 Bruce Francisco Pontes da
Silva ^c

 Camila Aparecida da Silva
Martins ^d

 Ibraim Fantin da Cruz ^e

 Uilson Ricardo Venâncio Aires ^f

 Múcio André dos Santos Alves
Mendes ^g

^{a, b, e, g} Universidade Federal de Mato
Grosso (UFMT)

^c Instituto Capixaba de Pesquisa, Assis-
tência Técnica e Extensão Rural (Incaper)

^d Universidade Federal do Espírito Santo
(UFES)

^f Universidade Federal de Viçosa (UFV)

DOI: 10.12957/geouerj.2022.52331

Correspondência:

maironcdecarvalho@gmail.com

morganuliana@ufmt.br

brucepontes@gmail.com

camila.cca@hotmail.com

ibraimfantim@gmail.com

uaires@gmail.com

mucioandre@gmail.com

Recebido em: 27 jul. 2022

Revisado em: 28 jul. 2022

Aceito em: 28 jul. 2022



Introdução

Para realizar planejamento agrícola é necessário conhecer a capacidade de produção de uma região em relação a fatores como preço de insumos, logística de transporte, desenvolvimento vegetativo, qualidade do solo e clima (Margarido e Santos, 2015). Dentre esses fatores, o clima é o fator que apresenta menor controle, mas a partir de previsões e do conhecimento da variabilidade espacial e temporal dos seus componentes é possível tomar decisões e adaptar as diferentes fases de produção agrícola de forma a mitigar perdas (Kengni *et al.*, 2019; Selvaraju, 2012).

Eventos extremos de precipitação são os principais responsáveis por perdas na produção de alimentos em vários países, sobretudo naqueles que têm em sua base a agricultura de sequeiro, fortemente dependente da quantidade de chuva e da sua variabilidade espacial e temporal (Asfaw *et al.*, 2018; Generoso, 2015; Kengni *et al.*, 2019; Goenster *et al.*, 2015). Essa vulnerabilidade a eventos de precipitação coloca em risco a segurança alimentar e causa enormes prejuízos econômicos a produtores rurais. No Brasil, sobretudo na Amazônia legal, a maior parte da produção de grãos é realizada no sequeiro.

Conhecer a probabilidade da precipitação de uma determinada área, zona ou região, ou seja, a quantidade de chuva que pode ser associada a um determinado risco, e sua distribuição espacial e sazonal já é um grande passo para elaboração de projetos de irrigação e para o planejamento de atividades no campo (Asfaw *et al.*, 2018; Dereje *et al.*, 2012; Ellouze; Azri; Abida, 2009; Souza *et al.*, 2018) como também para definição de períodos de plantio, colheita, aplicação de defensivos e fertilizantes.

Segundo Selvaraju (2012) e Nathan *et al.* (2016), o risco relacionado a determinado evento de precipitação refere-se a uma probabilidade que pode ser estimada a partir de informações anteriores (séries históricas). De acordo com esses autores, conhecer a probabilidade de ocorrência de chuva permite adaptar sistemas de produção e de gestão de recursos hídricos de forma a garantir a segurança hídrica e alimentar. Destaca-se que, no Brasil, a segurança hídrica também está diretamente relacionada à produção de energia, visto que a maior parte da geração é advinda de hidrelétricas.

Gilmont *et al.* (2018) afirmam que a relação entre a variabilidade da chuva e o crescimento econômico é complexa e tende a ser mais expressiva em países em desenvolvimento, onde a agricultura desempenha papel importante na economia.

Além de impactos na economia, a variabilidade das chuvas possui uma forte relação com incêndios florestais na Amazônia brasileira (Silva *et al.*, 2018; Van Solinge, 2016). Após a retirada da madeira de alto valor comercial, proprietários de terras aproveitam os períodos com baixa precipitação ou com ocorrência de anomalias climáticas para remover o restante da vegetação por meio de queima, aumentando a fragmentação da floresta e levando para a atmosfera grandes quantidades de gases de efeito estufa.

A pesquisa quantificou a altura de precipitação mensal, trimestral e anual provável e analisou os sistemas sinóticos intervenientes no tempo da região Médio-Norte do Estado de Mato Grosso, localizada na zona



de transição Cerrado-Amazônia do Brasil. Essa região é constituída por 16 municípios com área total de 97.594,7 km² e possui 353.581 habitantes (IBGE, 2019). Trata-se de uma região que se destaca na produção de grãos, cuja safra 2017/2018 de soja e milho, estimada pelo Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária - IMEA (2019ab), foi de 10.995.502,0 e 12.369.316,0 toneladas, respectivamente. Esses números correspondem a, aproximadamente, 34% e 45% da produção de soja e milho, nesta ordem, de todo o Estado de Mato Grosso na safra 2017/2018.

Por meio da análise das alturas de chuva e interpolação com auxílio de procedimentos geoestatísticos o estudo mostrou sua sazonalidade no decorrer do ano, explicita os meses com precipitações extremas e seu comportamento espacial. Essas informações são essenciais no planejamento agrícola no que se refere a plantio, colheita, adubação, aplicação de defensivos e justificativa para seguro agrícola no caso de perda de produção decorrente de eventos extremos. Destaca-se que o trabalho caracteriza a precipitação para uma região específica do Brasil, importante economicamente, mas os procedimentos e as técnicas utilizadas podem ser empregados em outras regiões para monitoramento da precipitação e sua relação com o planejamento urbano e agrícola.

Na região amazônica e na transição Cerrado-Amazônia, onde a área de estudo está inserida, a densidade de estações é muito baixa comparativamente a outras regiões do país. Algumas localidades são de difícil acesso, o que resulta em falta de manutenção dos equipamentos e, conseqüentemente, em falhas no registro. Assim, grandes áreas ficam desprovidas de mensuração, o que aumenta a dificuldade na realização de estudos hidrológicos.

Os registros de chuva na região de estudo iniciaram na década de 70, que coincide com o início do desenvolvimento agropecuário e, concomitantemente, socioeconômico. Sabe-se que existe a recomendação da Organização Meteorológica Mundial (WMO,2017) para utilização de séries históricas com, no mínimo, 30 anos de dados. Entretanto, na maior parte dos estudos realizados no Brasil não se consegue contemplar esse período de informações em função das limitações na base de dados.

Na região Médio-Norte de Mato Grosso essa realidade não é diferente, a rede de estações pluviométricas apresentou problemas relacionados à pequena extensão das séries históricas, distribuição heterogênea, erros sistemáticos e grosseiros nos registros, bem como ausência de medições por períodos esporádicos. Apesar disso, neste trabalho foram utilizadas técnicas hidrológicas para solucionar os problemas supracitados.

A medição indireta de chuva por sensoriamento remoto deve ser considerada em regiões onde as medições diretas são escassas. Produtos como o PERSIANN, TRMM, GPM e CHIRPS têm sido utilizados para estimativa de chuva, no entanto, esta deve ser validada com dados de superfície, ou seja, medições pontuais em pluviômetro, pluviógrafo ou pluviômetro digital. O presente trabalho é uma primeira etapa para embasar estudos futuros no que se refere ao emprego do sensoriamento remoto para análise pluviométrica nos municípios da região.



Para calcular a probabilidade de precipitação provável foram utilizadas 34 séries históricas de pluviômetros pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA). As séries, com período adotado entre os anos de 1973 e 2017, foram obtidas na plataforma Hidroweb, no seguinte endereço eletrônico: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>. Informações detalhadas das estações pluviométricas utilizadas podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1. Informações relacionadas às estações pluviométricas utilizadas no estudo.

Cod. Est.	ID	Nome	Município	Latitude	Longitude	Dados disponíveis
1056001	4	Estância Buriti	Alta Floresta	-10,40	-56,42	2000-2017
1053001	2	Fazenda Santa Emília	Marcelândia	-10,54	-53,61	1976-2017
1052000	1	Vila São José Xingu	São José do Xingu	-10,81	-52,75	1976-2017
1055003	3	Fazenda Tratex	Colíder	-10,96	-55,55	1994-2017
1154000	5	Rancho de Deus	Marcelândia	-11,00	-54,81	1985-2017
1154005	9	Riacho de Deus	Marcelândia	-11,13	-54,48	2006-2017
1157001	16	Juara	Juara	-11,25	-57,51	1983-2017
1156002	13	Tabaporã	Tabaporã	-11,30	-56,83	2004-2017
1156000	11	Fazenda Itauba	Tabaporã	-11,47	-56,43	1982-2017
1154004	8	Cláudia	Cláudia	-11,49	-54,87	2004-2017
1154002	7	Fazenda Rio Negro	União do Sul	-11,52	-54,36	1999-2017
1157000	15	Porto dos Gaúchos	Porto dos Gaúchos	-11,54	-57,42	1973-2017
1156003	14	Nova Americana	Porto dos Gaúchos	-11,64	-56,16	2004-2017
1155000	10	Cachoeirão	Sinop	-11,65	-55,70	1975-2017
1156001	12	Fazenda Sempre Verde	Porto dos Gaúchos	-11,69	-56,45	1983-2017
1157002	17	Olho D'água	Porto dos Gaúchos	-11,77	-57,04	1999-2017
1154001	6	Santa Felicidade	Santa Carmem	-11,93	-55,00	1982-2017
1257000	24	Brasnorte	Brasnorte	-12,12	-58,00	1984-2017
1254002	19	Consul	Nova Ubitatã	-12,37	-54,49	1997-2012
1255002	22	Núcleo Colonial Rio Ferro	Feliz Natal	-12,52	-54,91	1976-2017
1255001	21	Teles Pires	Sorriso	-12,68	-55,79	1976-2017
1254003	20	Agropecuária Três Irmãos	Paranatinga	-12,80	-54,25	2000-2017
1254001	18	Agrovensa	Nova Ubitatã	-12,81	-54,75	1982-2017
1256002	23	Fazenda Divisão	Lucas do Rio Verde	-12,98	-56,18	1999-2017
1357000	31	Nova Maringá	Nova Maringá	-13,03	-57,09	1982-2017
1354002	27	Fazenda Itaguaçu	Paranatinga	-13,14	-54,44	2003-2017
1354001	26	Agropecuária MALP	Paranatinga	-13,34	-54,08	1999-2017
1354000	25	Fazenda Agrochapada	Paranatinga	-13,45	-54,28	1976-2017
1356004	30	São José do Rio Claro	São José do Rio Claro	-13,45	-56,73	2004-2017
1355001	28	Porto Roncador	Santa Rita do Trivelato	-13,56	-55,33	1985-2017
1357001	32	Campo Novo do Parecis	Campo Novo do Parecis	-13,69	-57,89	2000-2017
1356002	29	Nova Mutum	Nova Mutum	-13,82	-56,12	1985-2017
1457003	34	Deciolândia	Diamantino	-14,18	-57,51	1982-2017
1455009	33	Fazenda Rio Novo	Nobres	-14,22	-55,51	2000-2017

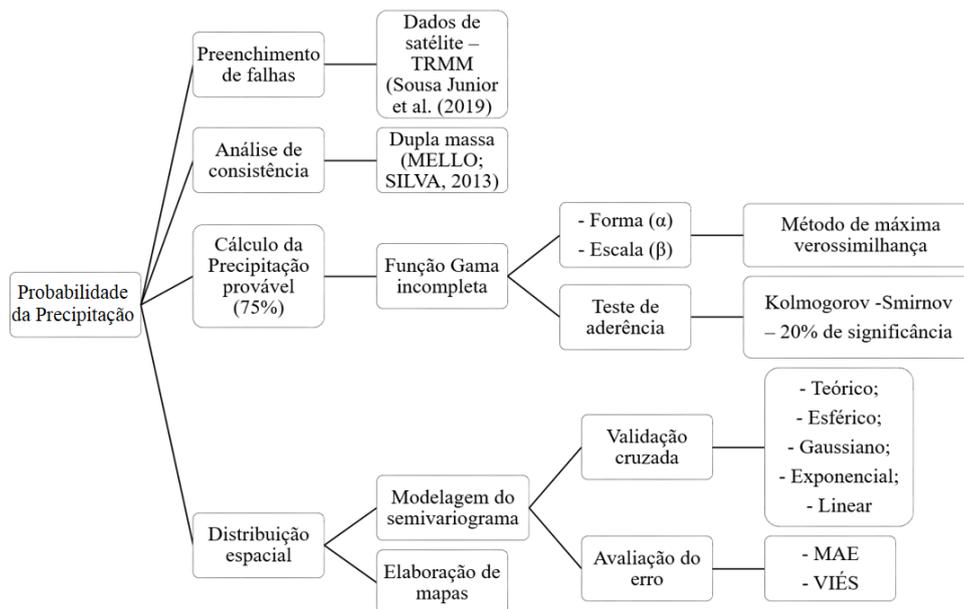
ID: identificação do pluviômetro no mapa da Figura 1. Nome: nome da localidade onde está instalado o pluviômetro.

Fonte: dados dos autores.



Na Figura 2 estão apresentadas as principais etapas para determinação da precipitação provável e análise da sua distribuição espacial na região MNMT. Em seguida esses procedimentos são descritos com mais detalhes.

Figura 2. Resumo dos procedimentos utilizados para determinação da precipitação provável e análise da sua distribuição espacial.



Fonte: dados dos autores.

Preenchimento de falhas e análise de consistência

Após obtenção das séries históricas diárias, foram calculados os totais mensais, trimestrais e anuais (mm) de precipitação e, logo em seguida, o preenchimento de falhas e a análise de consistência dos valores.

Os métodos da Ponderação Regional, da Regressão Linear e da Ponderação Regional com base em Regressão Linear foram aplicados inicialmente para preenchimento de falhas de dados mensais e anuais de chuva, mas apresentaram erros elevados para tal finalidade. Esses métodos foram descritos detalhadamente por Collischonn e Dornelles (2015).

Para contornar esse problema, foram utilizados dados de satélite da missão **Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)**, mais especificamente o produto 3B43V7. Os dados da TRMM foram obtidos na plataforma Giovanni (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>) da **National Aeronautics and Space Administration** – NASA.

Apesar de ser uma medida indireta da precipitação, os dados da TRMM já haviam sido validados para a região Médio-Norte no estudo de Sousa Junior *et al.* (2019). Os autores verificaram que os dados da TRMM apresentam valores próximos aos dados de superfície (pluviômetros) da região e podem ser utilizados no preenchimento de falhas de totais mensais de chuva.



Para análise de consistência das séries mensais e anuais de precipitação, foi utilizado o método de Dupla Massa, descrito por Mello e Silva (2013).

Cálculo da probabilidade da precipitação

Neste estudo foi considerada como precipitação provável a lâmina (mm) mensal, trimestral ou anual que ocorre com uma probabilidade maior ou igual a 75%. Assim, a chance de ocorrer uma chuva com valor menor é de 25%. Este valor corresponde ao risco assumido e a um período de retorno de 4 anos. Esse nível de risco é considerado aceitável para o planejamento agrícola como discutido no estudo de Uliana *et al.* (2017).

Para calcular a precipitação associada ao nível de probabilidade de 75% foi utilizada a distribuição teórica de probabilidade Gama. A função densidade de probabilidade da distribuição Gama é dada por:

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} \quad (1)$$

em que: α é o parâmetro de forma, β o parâmetro de escala e Γ é a função gama.

Os parâmetros de forma e escala foram obtidos com a técnica da máxima verossimilhança a partir das séries históricas mensais e anuais de precipitação.

A chuva provável foi obtida por meio da integração numérica da Equação 1 considerando a probabilidade de 25% de ficar menor (ou 75% de ficar maior).

Para verificar o ajuste da distribuição de probabilidade a séries de dados utilizou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 20% de significância. Este nível de significância foi selecionado com o objetivo de tornar este teste de hipótese mais rigoroso, uma vez que com o aumento do nível de significância há redução do valor crítico da estatística do teste. Para realização do teste foram seguidos os procedimentos de cálculo descritos por Naghettini (2016).

Distribuição espacial da precipitação provável

O primeiro passo para a análise de dependência espacial foi obter a semivariância dos dados observados em função da distância que separa as amostras. Com o cálculo da semivariância em função de diferentes distâncias foi obtido o semivariograma experimental. A semivariância foi obtida por da Equação 2.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i+h)]^2 \quad (2)$$

em que: $N(h)$ é o número de pares de valores medidos $Z(X_i)$, $Z(X_i+h)$, separados por um vetor h .



De posse do semivariograma experimental, foi necessário ajustar a este um modelo teórico. Os modelos teóricos de semivariograma avaliados foram o esférico (Equação 3), o exponencial (Equação 4), o gaussiano (Equação 5) e o linear (Equação 6).

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right], 0 < h < a, \gamma(h) = C_0 + C_1, h \geq a \quad (3)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp \left(-3 \frac{h}{a} \right) \right], 0 < h < d \quad (4)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp \left(-3 \left(\frac{h}{a} \right)^2 \right) \right], 0 < h < d \quad (5)$$

$$\gamma(h) = C_0 + \frac{C_1}{a} h, 0 < h < a; \gamma(h) = C_0 + C_1, h \geq a \quad (6)$$

Nas Equações apresentadas (Equações 2 a 6) C_0 é o efeito pepita; $C_0 + C_1$ é o patamar; a é o alcance do semivariograma; e d é a máxima distância na qual o semivariograma foi definido.

Com base em informações do semivariograma teórico foram elaborados os mapas de precipitação provável mensal (PPM), trimestral (PPT), e anual (PPA) interpolados por krigagem ordinária.

O modelo teórico de semivariograma escolhido foi o que resultou na validação cruzada no menor erro de estimativa entre os valores observados e estimados por krigagem ordinária. Para avaliar o erro foi utilizado o erro absoluto médio (Equação 7) e o viés (Equação 8).

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n |O_i - P_i| \quad (7)$$

$$\text{viés} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i) \quad (8)$$

em que P_i é a precipitação estimada (mm); O_i , a precipitação observada (mm); e N , o número de valores da amostra.

Mais detalhes sobre os procedimentos geoestatísticos utilizados na pesquisa podem ser obtidos no material de Yamamoto e Landim (2013). Todos os procedimentos estatísticos descritos na metodologia foram realizados com auxílio do software R (R Core Team, 2020).

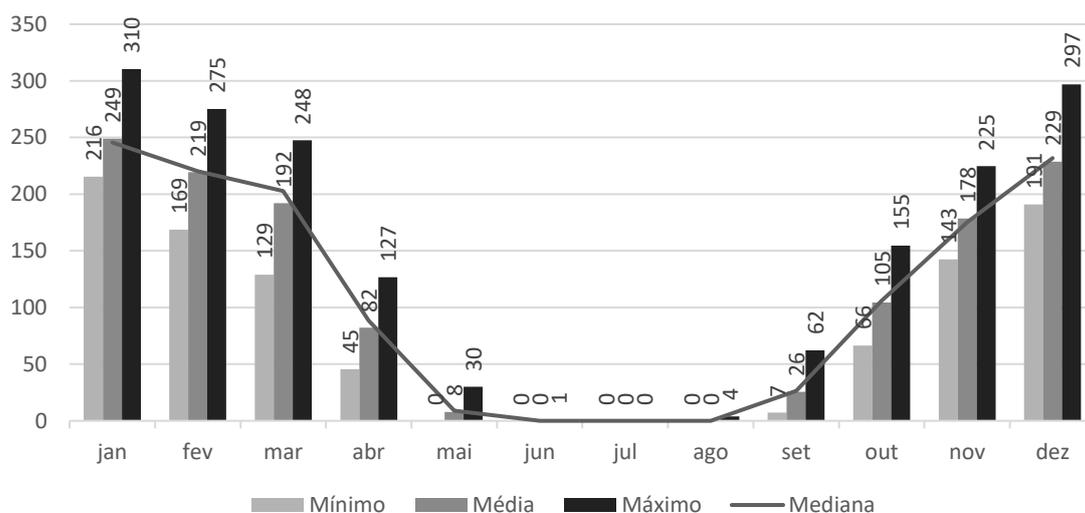


Resultados e Discussão

Precipitação provável mensal, trimestral e anual

A distribuição gama incompleta ajustou-se a todos os dados de precipitação mensal, trimestral e anual para a região Médio-Norte de Mato Grosso. Nas Figuras 3 e 4 estão apresentados os valores mínimos, médios e máximos de chuva para toda a região MNMT.

Figura 3. Precipitação (mm) mensal estimada para o nível de 75% de probabilidade para a região Médio-Norte de Mato Grosso.



Fonte: dados dos autores.

Fica evidente a existência de duas estações bem definidas na região MNMT, uma chuvosa entre outubro e abril e uma seca entre maio e setembro. Os meses de abril e outubro podem ser considerados como meses de transição entre as duas estações. Nesse contexto pode-se estabelecer que o ano hidrológico inicia no mês de outubro de um ano e termina em setembro do próximo.

O mês de janeiro é o que possui maior lâmina provável de chuva, no entanto, apresenta valor de chuva muito próximo ao do mês de dezembro. Nos meses de dezembro e janeiro a precipitação provável mensal (PPM) varia entre 191 e 310 mm. Destaca-se que a chance dos valores de chuva ficarem maior que os apresentados na Figura 1 é de 75% e menor de 25%.

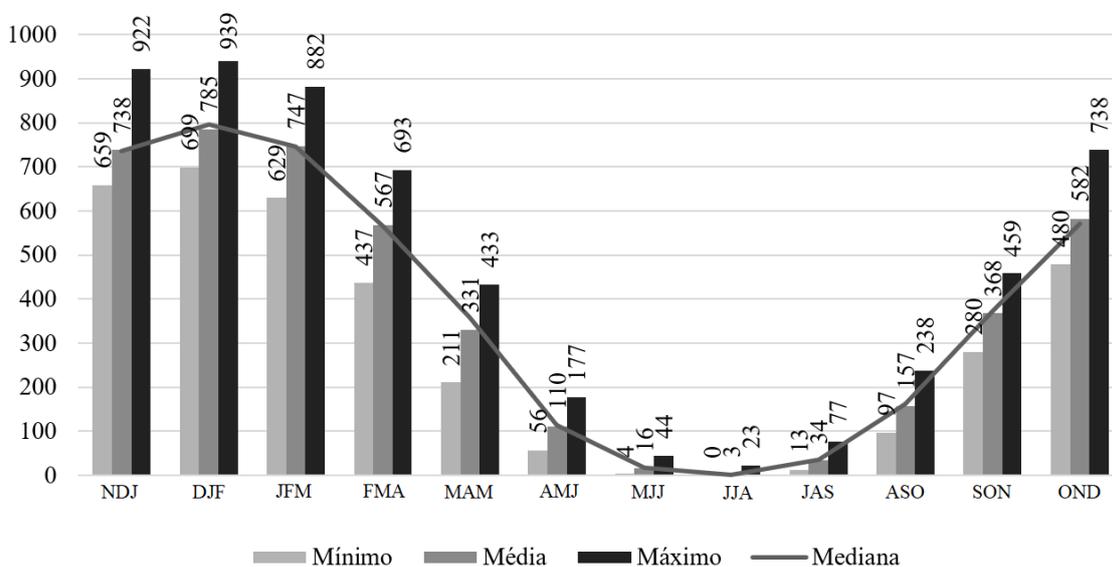
Os meses com menor precipitação, exatamente igual a zero, são junho, julho e agosto. Os menores acumulados de chuva que ocorrem entre maio e setembro variam entre 0 mm e 62 mm. Estes valores correspondem principalmente a maio e a setembro (Figura 3). Fica evidente que neste período a produção agrícola deve ser realizada com irrigação suplementar visto que a possibilidade de reposição da água no solo por evento natural de chuva é igual a 0. Ou seja, não é possível produzir neste período com a agricultura de sequeiro que é normalmente praticada nos demais meses do ano.



A precipitação provável anual (PPA) dessa região, apresentou valor médio de 1622 mm, com o mínimo de 1341 e o máximo de 1955 mm (Figura 3).

Na Figura 4 podem ser observados os valores de precipitação provável trimestral (PPT), ou seja, a somatória das alturas de chuva de três meses consecutivos, estimados para o nível de 75% de probabilidade. O valor de chuva trimestral para janeiro corresponde a soma das precipitações dos meses de novembro, dezembro e janeiro (NDJ). Esse procedimento vale para os demais meses do ano, ou seja, considerou-se a chuva do mês somada a dos dois meses anteriores.

Figura 4. Precipitação (mm) trimestral estimada para o nível de 75% de probabilidade para a região Médio-Norte de Mato Grosso.



Fonte: dados dos autores.

Percebe-se na Figura 4 que o período de janeiro a março possui os maiores valores de precipitação, nos quais os valores variam entre 629 mm e 939 mm. Verifica-se nesse período que os valores mínimos, médios e máximos apresentam proximidade. No entanto, os maiores valores de chuva ocorrem em fevereiro (média de 785 mm) que corresponde ao somatório dos totais de dezembro, janeiro e fevereiro. Os menores valores de chuva trimestral ocorrem entre julho e setembro como valores variando entre 0 e 77 mm.

Sistemas Meteorológicos Causadores de Tempo no Estado de Mato Grosso

Conforme discutido por Alvares *et al.* (2013), Mato Grosso apresenta dois tipos de clima, de acordo com a classificação de Köppen: o clima tropical úmido ou sub-úmido (Am), que abrange o norte mato-grossense e o clima tropical, com inverno seco (Aw), englobando a região central do estado e o Pantanal.

Mato Grosso está situado numa região em que os sistemas meteorológicos tropicais (barotrópicos - fracos gradientes de temperatura, pressão, densidade e outras variáveis) muitas vezes são organizados ou

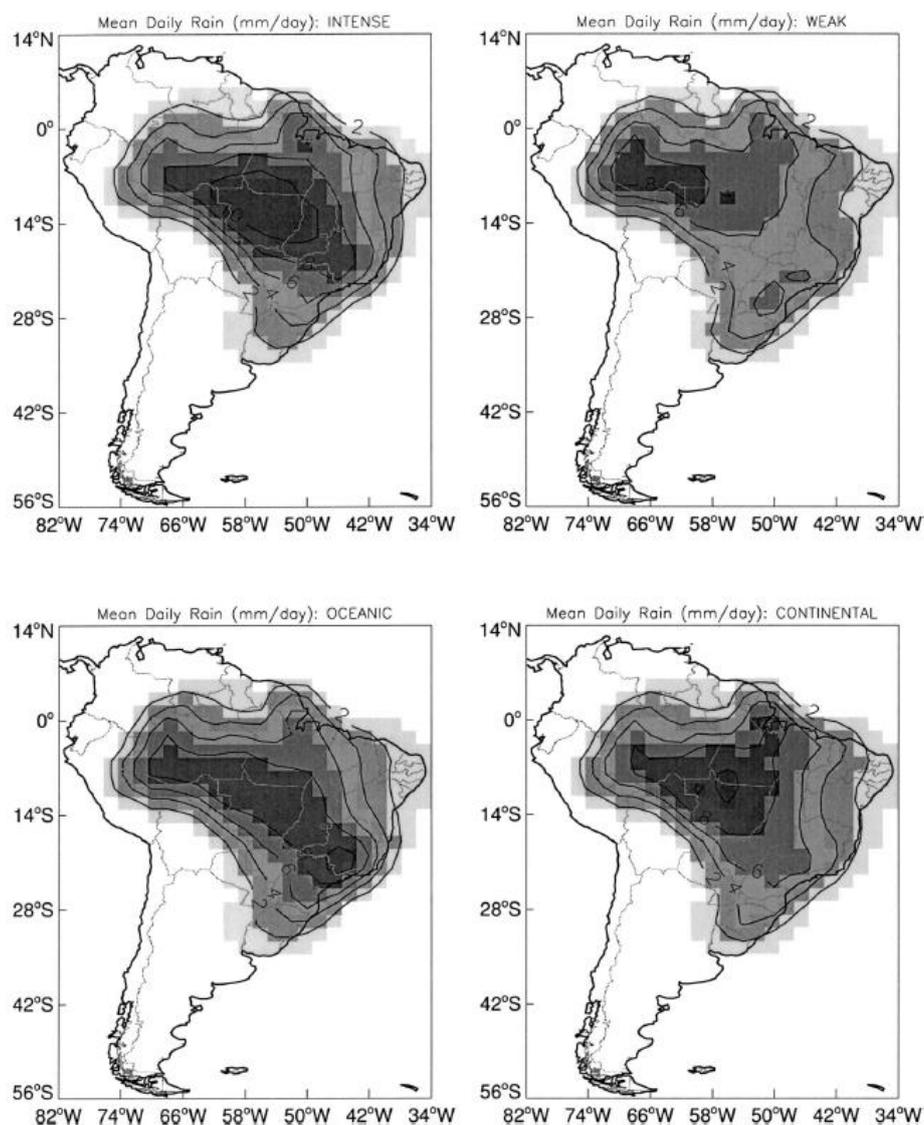


alinhados pelos sistemas que avançam de latitudes médias (baroclínicos - intensos gradientes de temperatura, pressão, densidade e outras variáveis). Em alguns casos, esta interação resulta na ocorrência de eventos extremos de precipitação sobre o estado, podendo acarretar, entre outros prejuízos, em perdas agropecuárias e industriais. A falta da interação, por outro lado, pode causar prejuízos derivados da chuva reduzida sobre Mato Grosso.

Os principais sistemas meteorológicos atuantes no território mato-grossense e por sua vez na Região MNMT são:

Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS

Figura 5. Precipitação pluviométrica média diária (mm/dia) para cada categoria de ZCAS (indicada no topo de cada imagem).



Fonte: Carvalho, Jones e Liebmann, 2004.



Uma grande banda de nebulosidade, estendendo-se do sul da Amazônia até a porção subtropical do oceano Atlântico Sul caracteriza o sistema, que pode ser considerada um dos principais sistemas sinóticos ligados às chuvas abundantes observadas sobre a maioria das regiões do Brasil, tanto na primavera, como no verão (Carvalho, Jones e Liebmann, 2004). Mato Grosso, especialmente a MNMT, é fortemente influenciado pela atuação da ZCAS (Figura 5), que deixa o estado coberto por densas nuvens durante vários dias, quando chove de forma significativa, sobretudo entre dezembro e março como pode ser observado também nas Figuras 3 e 4.

A Figura 5 mostra a chuva diária média para os quatro tipos de ZCAS definidos por Carvalho, Jones e Liebmann, (2004). É possível notar que a região MNMT é uma das regiões do Brasil mais favorecidas pelas chuvas abundantes do sistema em todos os tipos de ZCAS, com destaque para o tipo continental (Figura 5, canto inferior direito).

Sistemas Frontais – SF

Um sistema frontal é resultado do encontro de massas de ar que contêm características diferentes, como temperatura, pressão, umidade, densidade e várias outras.

A parte “fria” do sistema recebe o nome de frente fria, proveniente do encontro entre o ar frio polar e o ar quente de origem tropical (Kousky e Elias, 1982). Numa frente fria típica, o ar quente, que é menos denso, é levantado para cima pelo ar frio, que é denso. Quando o ar quente sobe e contém umidade, forma nuvens de chuva, uma vez que ele arrefece, condensando o vapor d’água. De forma mais direta, as frentes frias são muito importantes no regime de chuva da Região Sul do Brasil, mas também conseguem organizar uma ampla banda de nebulosidade sobre o país, em alguns casos. As frentes, quando estacionam na altura da Região Sudeste, organizam a ZCAS sobre Mato Grosso, inclusive.

Elas são mais frequentes durante o inverno (junho a setembro), período muito seco em Mato Grosso (Figura 3). No estado, as frentes frias raramente provocam chuvas durante a estação (diretamente), apenas aumentando ligeiramente a nebulosidade e provocando chuviscos (na maioria das vezes, apenas no sul mato-grossense). Algumas frentes, que avançam durante as demais estações do ano, estacionam sobre o estado (frentes estacionárias), provocando chuvas expressivas, em alguns casos.

No entanto, a massa de ar polar que acompanha as frentes frias mais fortes (inverno) consegue diminuir bastante a temperatura sobre grande parte de Mato Grosso, nesta época do ano. Essa massa de ar polar, que tem ar seco e pressão alta, se transforma (aquece) com o passar dos dias, mantendo o ar bastante seco, ao provocar movimentos descendentes de ar sobre o território mato-grossense. É basicamente assim que ocorre a manutenção do período seco (maio-setembro) na região (Figura 3), que também recebe influência de um outro anticiclone nessa época (comentado mais à frente).



Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) e Convecção Local

Os SCM têm um comprimento normalmente inferior a 1000 km e podem ser facilmente identificados em imagens de satélite. Sua maior frequência é percebida no verão e na primavera. Os SCM são divididos em Linhas de Instabilidade (LI) (Gamache e Houze, 1982; Cavalcanti, 1982), *non squall lines* (aglomerados de nuvens de tempestade - tipo cumulonimbus (Cb)) e Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM).

Os SCM estão associados a chuvas expressivas na região de Mato Grosso, assim como em boa parte das regiões tropicais e subtropicais. Eles se formam dentro ou na interface entre diferentes massas de ar, podendo estar ligados à propagação de frentes frias e outros sistemas sinóticos, assim como podem resultar do próprio aquecimento em mesoescala, muito comum em Mato Grosso durante o período chuvoso que ocorre de outubro a abril, como pode ser observado na Figura 3.

As LI, como a expressão sugere, são SCM na forma de linha. No caso de Mato Grosso, elas se formam associadas à convecção amazônica (às vezes organizadas pela perturbação causada por Ondas de Leste (OL)), afetando as condições de tempo no norte do estado, principalmente, ou devido à entrada de frentes frias.

Os SCM do tipo CCM são amplos aglomerados de Cb que se formam tanto em latitudes subtropicais como tropicais, sendo mais frequentes sobre os continentes. Os CCM, observados nas imagens de satélite com um formato mais ou menos arredondado, se formam através de diferentes processos, dependendo da região analisada. Em Mato Grosso, os CCM são compostos por aglomerados de Cb com formatos bem menos arredondados que os CCM de latitudes médias e apresentam tempo de duração diferenciada, sendo bem mais frequentes que os CCM subtropicais, mas de intensidade mais fraca, geralmente se formando dentro do ar quente da massa de ar tropical ou da massa de ar equatorial.

Um dos sistemas ligados à propagação de SCM sobre Mato Grosso é a Alta da Bolívia (AB). Todos esses sistemas podem interagir com a convecção local, disparada por efeitos orográficos, em muitos casos. Destaca-se que os sistemas convectivos de mesoescala provocam precipitação abundante durante o período chuvoso (outubro a abril – Figura 3), e nos poucos dias chuvosos do período seco (maio a setembro). A convecção local intensifica os SCM, podendo resultar em tempo severo (tempestades).

Alta da Bolívia (AB)

A Alta da Bolívia é um anticiclone (sistema de alta pressão) que se forma na alta troposfera sobre a América do Sul, especialmente durante o verão (Virgi, 1981). Ela faz parte do padrão de circulação do verão na alta troposfera: anticiclone sobre a parte central na América do Sul e cavado (prolongamento de uma área de baixa pressão) sobre o Nordeste do Brasil (Carvalho, 1989).



Estudos observacionais notaram a associação entre a variação sazonal da convecção sobre a América do Sul e a intensidade da AB (Lenters e Cook, 1997), sendo que ocorre uma grande variabilidade na intensidade e posição da Alta da Bolívia ao longo de todo o verão.

O anticiclone se estabelece com centro sobre o Altiplano Boliviano apenas no verão, devido ao forte aquecimento (baixa pressão à superfície), para depois se deslocar para dentro do continente. No outono, o anticiclone na alta troposfera se desloca em direção ao Oceano Atlântico, desaparecendo completamente no inverno e ressurgindo na primavera com centro sobre a Amazônia (Gutman e Schwerdtfeger, 1965). Ou seja, a AB é um sistema típico da região Centro-Oeste do Brasil, sendo praticamente estacionária. Enfatiza-se que em termos médios, a Alta da Bolívia é um anticiclone estacionário atuante durante o verão e a primavera. Em termos sinóticos, o seu deslocamento é considerado estacionário.

A posição da Alta da Bolívia está ligada ao posicionamento da própria ZCAS e, conseqüentemente, à formação de SCM sobre Mato Grosso. O posicionamento anômalo destes sistemas pode causar aumento da convecção (e chuva), se a divergência em altos níveis ligada à Alta da Bolívia aumentar sobre o estado (Alta intensa e com posição favorável), ou diminuir as condições de chuva, caso a AB esteja deslocada em relação à sua posição climatológica, resultando em movimentos descendentes de ar e estiagem em Mato Grosso.

Alta Subtropical do Atlântico Sul – ASAS

Anticiclones Semipermanentes ou Altas Subtropicais são sistemas de alta pressão atmosférica que persistem durante quase todo o ano sobre as regiões orientais dos oceanos (em torno de 30°S e 30°N).

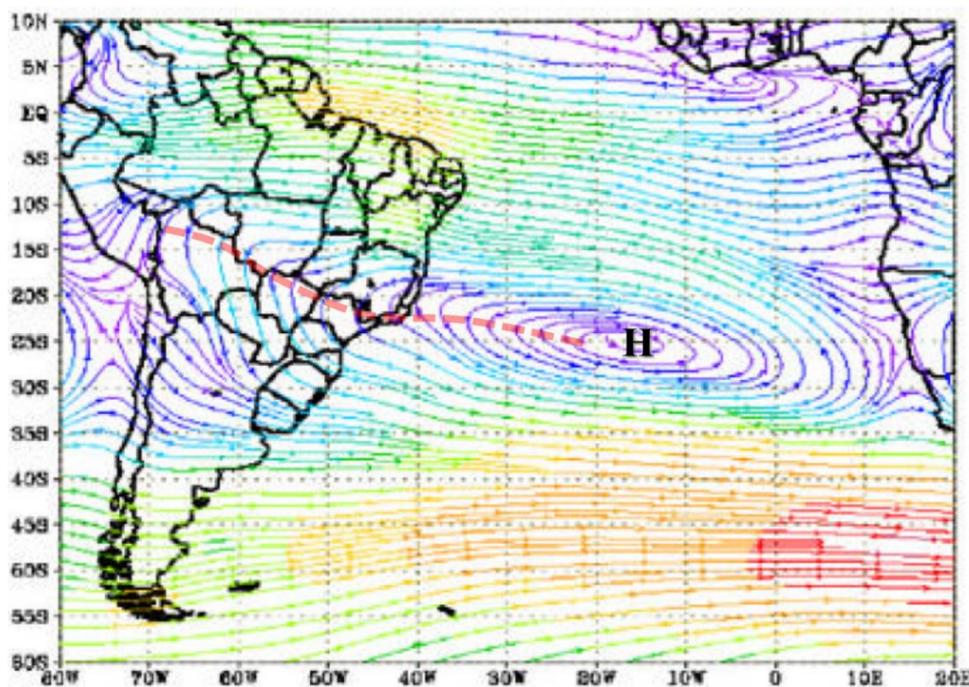
Um desses sistemas é a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) ou “Alta de Santa Helena”, que posiciona sua crista (prolongamento de alta pressão) sobre o continente, entre o outono e o inverno (Bastos e Ferreira, 2000).

A ASAS contribui significativamente com o estabelecimento do período seco (maio a setembro – Figura 3) em Mato Grosso, uma vez que o estado como um todo fica sob a atuação dos movimentos subsidentes (descendentes) do ar ligados à crista do sistema (Figura 6), assim como praticamente todo o Sudeste e Centro-Oeste do Brasil.

Apenas uma descrição sucinta dos sistemas e sua importância para Mato Grosso foi apresentada. Para explicar determinadas anomalias expressivas de chuva no estado, é preciso estudar minuciosamente as ligações, muitas vezes um tanto complexas, entre diversos processos meteorológicos (locais, regionais e até planetários).



Figura 6. Média das linhas de corrente no nível de 850 hPa para o inverno austral (JJA) entre 1978 e 1997. A letra H representa a posição do centro da ASAS. A curva vermelha tracejada mostra o eixo de uma crista ligada à ASAS.



Fonte: adaptado de Bastos e Ferreira (2000).

Distribuição espacial das precipitações prováveis mensal, trimestral e anual.

As Tabelas 2 e 3 apresentam a validação cruzada para os resultados da análise geoestatística utilizada para interpolação da PPM, PPT e PPA obtidos por krigagem ordinária. Os modelos teóricos de semivariância (Equações 3 a 6) que apresentaram os melhores resultados para as precipitações prováveis foram o esférico, gaussiano e exponencial. O modelo linear também foi analisado, mas não apresentou ajuste satisfatório. As Tabelas 2 e 3 apresentam apenas o modelo que obteve o melhor resultado na validação cruzada para cada mês e para o ano.

Os valores de erro absoluto médio (MAE) referente a estimativa dos modelos apresentados nas Tabelas 2 e três chegaram a no máximo 14,6% dos valores médios de PPM, PPT e PPA apresentados anteriormente. Exceção a isso foram os valores de MAE obtidos para os meses de maio e setembro para a PPM e setembro para a PPT. Neste caso, os valores foram expressivos e deve-se principalmente a variabilidade da chuva próximo ao início e final do período seco. As chuvas em maio e setembro passam a ter alta variabilidade espacial, mas as lâminas são pequenas comparadas aos demais meses do ano tanto para a PPM quanto para a PPT.



Tabela 2. Informações da modelagem geoestatística para a precipitação mensal (PPM) e anual provável (PPA) para a região Médio-Norte de Mato Grosso.

Mês	Modelo	C ₀	C ₀ +C ₁	a*	MAE	Viés
Janeiro	Exponencial	188	654,6	1,95	15,6	-0,1
Fevereiro	Exponencial	3	569	2,247	16,7	-0,5
Março	Exponencial	87	1161	3,687	19,9	0,3
Abril	Gaussiano	102	504,5	2,4838	10	0,6
Maio	Gaussiano	0,01	31,54	0,873	5,21	-0,03
Junho	-	-	-	-	-	-
Julho	-	-	-	-	-	-
Agosto	-	-	-	-	-	-
Setembro	Gaussiano	15,1	74,72	1,2696	6,6	0,6
Outubro	Gaussiano	284	568,1	2,7418	15,3	0,2
Novembro	Esférico	199	516,9	1,748	16,1	-0,5
Dezembro	Gaussiano	369	739	1,8897	18,5	-0,3
Ano	Gaussiano	8900	28690	3,3983	90,7	0,93

C₀: efeito pepita puro; C₀+C₁: patamar; a: alcance; MAE: erro médio absoluto; *A unidade utilizada foi graus decimais.

Fonte: dados dos autores.

Tabela 3. Informações da modelagem geoestatística para a precipitação trimestral provável (PPT) para a região Médio-Norte de Mato Grosso.

Mês	Modelo	C ₀	C ₀ +C ₁	a*	MAE	Viés
Janeiro	Esférico	2108	5173	1,711	47,2	-1,1
Fevereiro	Gaussiano	3370	6741	6,36	44,5	-0,27
Março	Exponencial	1360	8830	10,31	38,6	0,2
Abril	Exponencial	760	7630	8,04	37,6	0,88
Maio	Exponencial	220	5550	7,472	32,4	1,06
Junho	-	-	-	-	-	-
Julho	-	-	-	-	-	-
Agosto	-	-	-	-	-	-
Setembro	Gaussiano	31,1	327,9	3,431	7,2	0,91
Outubro	Esférico	145	1470	3,149	22,8	0,48
Novembro	Exponencial	470	4050	7,245	31,1	-0,1
Dezembro	Gaussiano	1714	4034	1,867	38,8	-1,4

C₀: efeito pepita puro; C₀+C₁: patamar; a: alcance; MAE: erro médio absoluto; *A unidade utilizada foi graus decimais.

Fonte: dados dos autores.

Os valores do Viés para a PPM e PPA, Tabela 2, encontraram-se próximos a zero e o sinal indica se os valores obtidos na interpolação foram subestimados, caso positivo, ou superestimados, caso negativo. Desta forma, a precipitação foi subestimada nas estimativas dos meses de janeiro, fevereiro, maio, novembro e dezembro, e superestimada nas dos meses de março, abril, setembro e outubro.



Os valores do Viés para a PPT, Tabela 3, encontraram-se próximos a zero e indicam que a chuva foi subestimada nos meses de março, abril, maio, setembro e outubro, e superestimada nos meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro.

Os resultados apresentados neste estudo corroboram os obtidos por Ramos *et al.* (2017) em seu estudo sobre precipitação e temperatura do ar para o estado de Mato Grosso utilizando krigagem ordinária. Ressalva-se que os meses de junho a agosto, período seco na região, não foram analisados devido à baixa ocorrência de chuva, praticamente nula.

Os mapas das Figuras 7 a 11 são o resultado da interpolação por krigagem ordinária, conforme os modelos de semivariância e parâmetros apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Na Figura 7 está a distribuição espacial da precipitação mensal provável para os meses de outubro a abril para o Médio-Norte de Mato Grosso. Fica evidente a influência da latitude nos totais precipitados na região, ou seja, quanto menor a latitude (hemisfério sul) maior a chuva. Esse aumento tem tendência a ocorrer no sentido SE-NW na região de estudo.

Em outubro e novembro a distribuição espacial da PPM é semelhante. Os maiores valores são registrados no norte e noroeste da área de estudo (Figura 7). Os municípios com os maiores valores de lâmina são: Tabaporã, Porto dos Gaúchos, Ipiranga do Norte, Sinop, Santa Carmem e Cláudia. Já no mês de dezembro o menor acumulado mensal ocorre na porção sudoeste compreendida pelos municípios de Lucas do Rio Verde, São José do Rio Claro, Tapurah e parte da área de Sorriso, Nova Maringá e Nova Mutum.

No mês de janeiro a distribuição espacial possui padrão espacial semelhante para quase toda a área, com exceção apenas para Cláudia e municípios do noroeste (Tabaporã; Porto dos Gaúchos; Itanhangá e parte de Nova Maringá), onde a lâmina de chuva provável é maior.

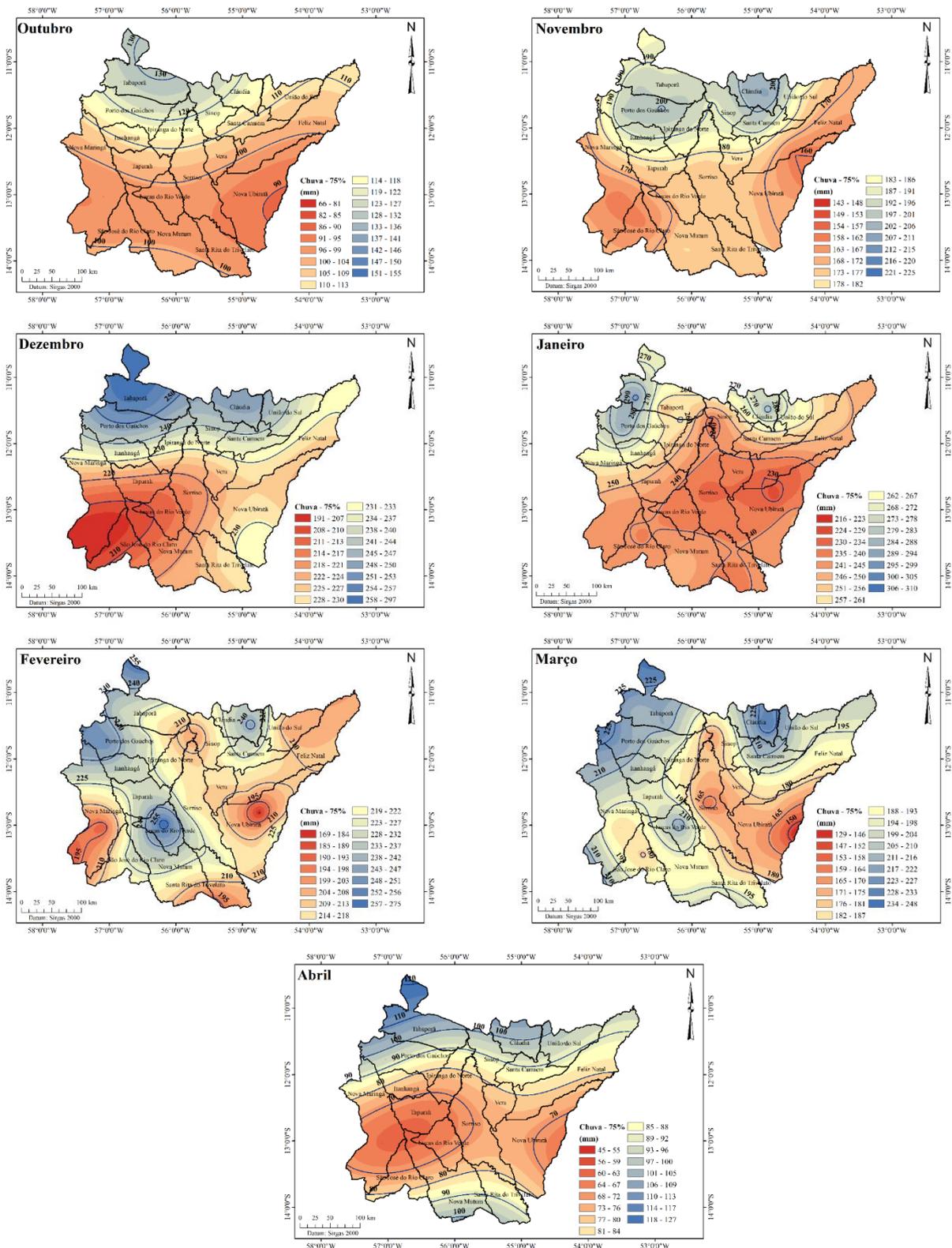
Nos meses de fevereiro e março as maiores PPM são registradas em Cláudia e área próxima do município de Santa Carmem, no noroeste e em parte do sudoeste da área de estudo, sobretudo no município de Lucas do Rio Verde e em parte de Nova Mutum. No mês de abril, mês em que já começa ocorrer transição para o período seco, os maiores valores de PPM ocorrem na porção norte, noroeste e sudeste da área. Uma exceção é uma parte do município de Nova Mutum e Santa Rita do Trivelato (Figura 7).



PRECIPITAÇÃO E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS EM ZONAS DE TRANSIÇÃO CERRADO-AMAZÔNIA

Mairon, Eduardo, Bruce, Camila, Ibraim, Uilson e Múcio

Figura 7. Distribuição espacial da precipitação mensal estimada para o nível de probabilidade de 75% dos meses de outubro a abril para o Médio-Norte de Mato Grosso.



Fonte: dados dos autores.

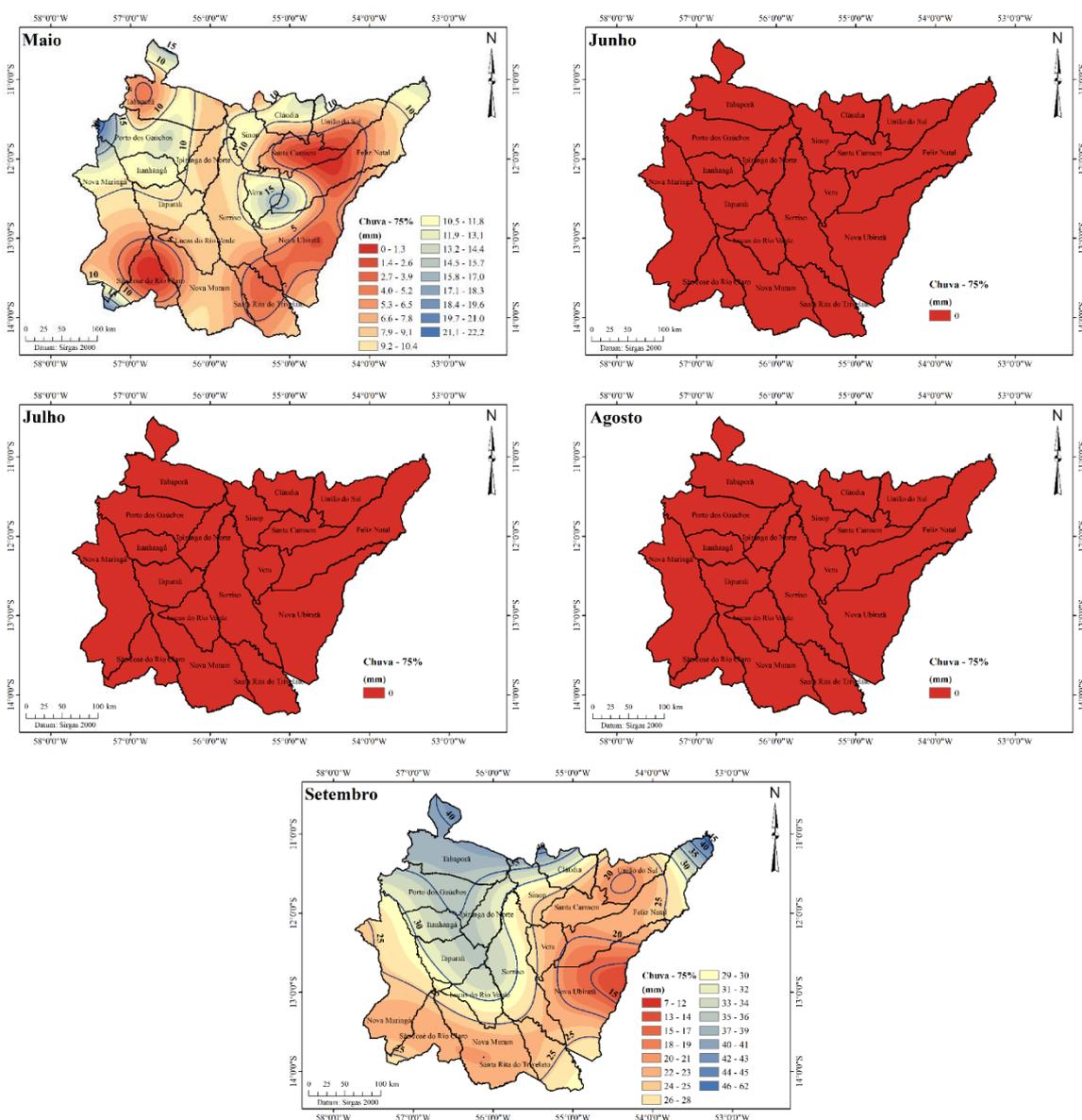


PRECIPITAÇÃO E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS EM ZONAS DE TRANSIÇÃO CERRADO-AMAZÔNIA Mairon, Eduardo, Bruce, Camila, Ibraim, Uilson e Múcio

Na Figura 8 estão apresentados os mapas com a distribuição da PPM para os meses do período seco. Em maio, início do período seco e com redução expressiva da chuva, as menores lâminas de chuva ocorrem no nordeste e sudeste da área e no município de São José do Rio Claro. Nos meses de junho, julho e agosto a precipitação é uniforme em toda área e igual a zero. Isso já foi explicitado em análise anterior.

No mês de setembro, último mês do período seco, as chuvas começam a ocorrer e apresentam valor maior nos municípios localizados no noroeste, norte e em parte do sudoeste, sobretudo no município de Lucas do Rio Verde e em parte de Sorriso. Os menores valores ocorrem no município de Nova Ubiratã.

Figura 8. Distribuição espacial da precipitação mensal estimada para o nível de probabilidade de 75% dos meses de maio a agosto para o Médio-Norte de Mato Grosso.



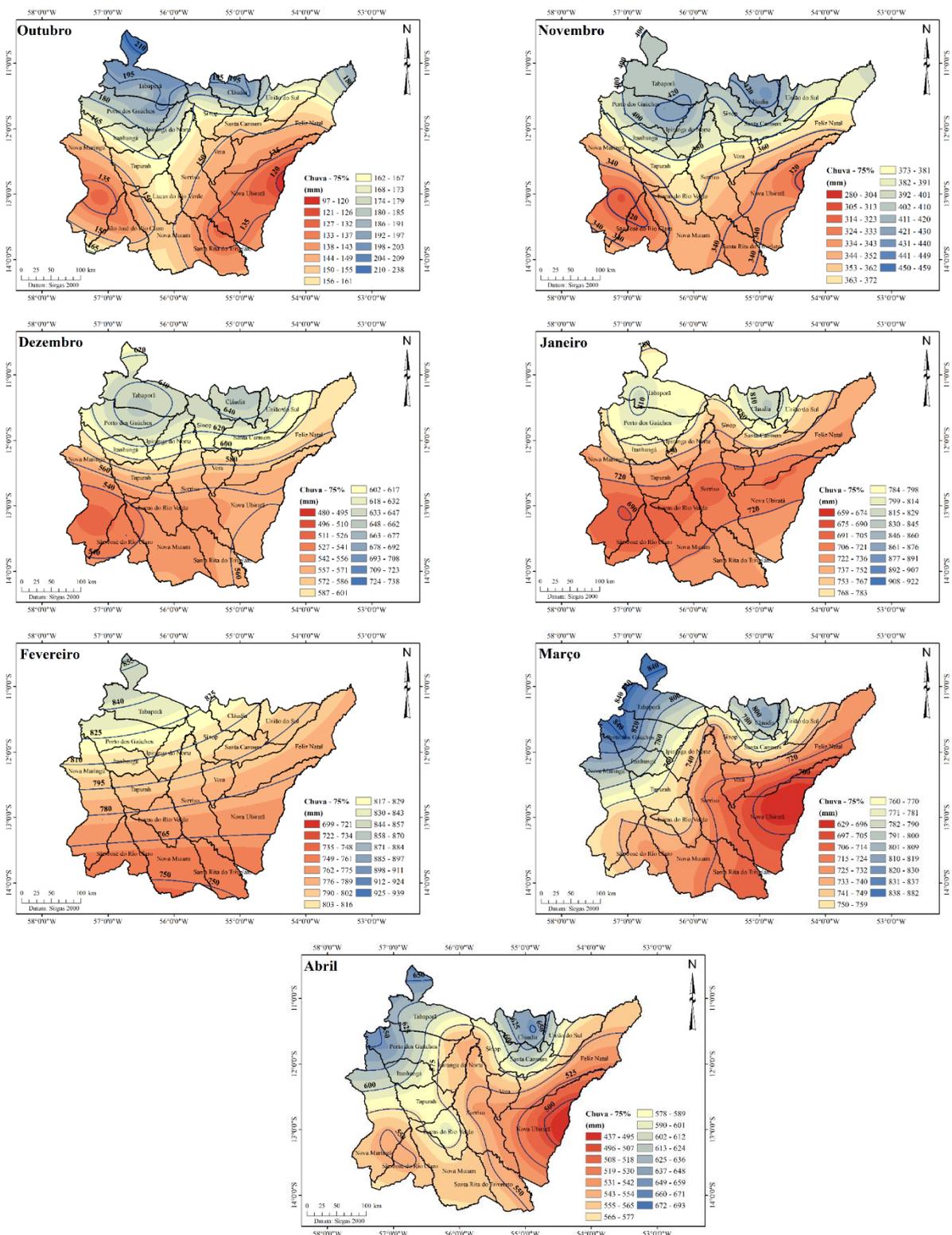
Fonte: dados dos autores.



PRECIPITAÇÃO E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS EM ZONAS DE TRANSIÇÃO CERRADO-AMAZÔNIA

Mairon, Eduardo, Bruce, Camila, Ibraim, Uilson e Múcio

Figura 9. Distribuição espacial da precipitação trimestral estimada para o nível de probabilidade de 75% dos meses de outubro a abril para o Médio-Norte de Mato Grosso.

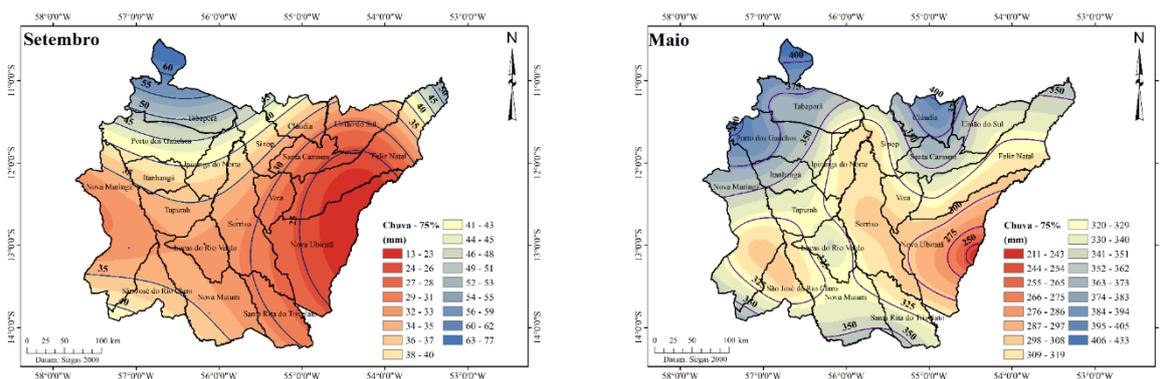


Fonte: dados dos autores.



Quanto a distribuição espacial da PPT, apresentada nas Figuras 9 e 10, percebe-se certa homogeneidade ao longo dos meses quando comparada a PPM. Fica evidente nos mapas que os municípios do norte e noroeste da área possuem as maiores lâminas de PPT. A área dos municípios de Nova Ubiratã, Feliz Natal, São José do Rio Claro e parte de Nova Mutum e Nova Maringá são os que novamente apresentam as menores precipitações, comparativamente aos demais municípios.

Figura 10. Distribuição espacial da precipitação trimestral estimada para o nível de probabilidade de 75% dos meses de setembro e maio para o Médio-Norte de Mato Grosso.

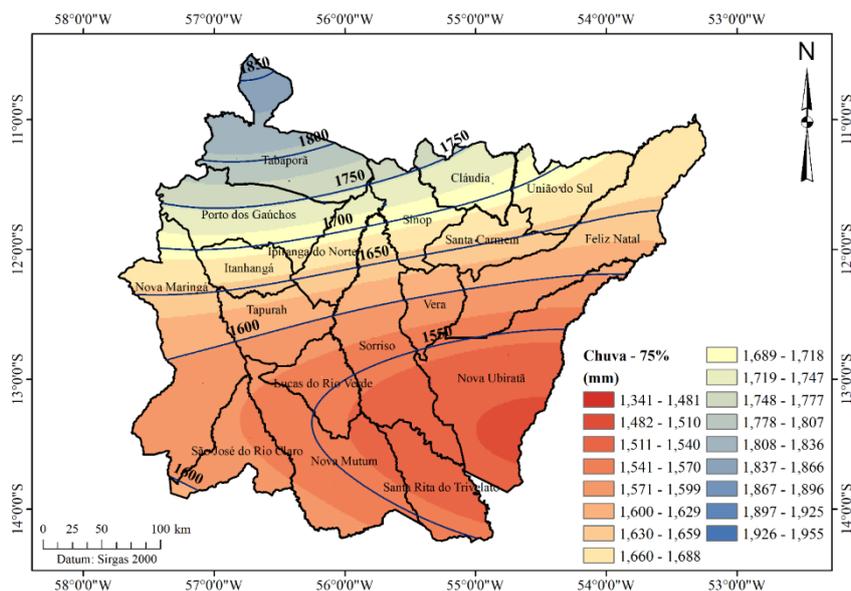


Fonte: dados dos autores.

A distribuição espacial da precipitação provável anual (PPA) pode ser visualizado na Figura 11. Observa-se nesse mapa, assim como nos anteriores, o efeito da latitude na lâmina provável da região. Quanto menor a latitude, maior a lâmina de precipitação provável anual, e esta tende a aumentar na direção SE-NW. Os municípios com os maiores totais anuais são sobretudo os localizados ao norte e noroeste da área de estudo. Os municípios de Nova Ubiratã, Santa Rita do Trivelato, Nova Mutum, Lucas do Rio Verde e parte de São José do Rio Claro são os que possuem menor PPA.



Figura 11. Distribuição espacial da precipitação anual estimada para o nível de 75% de probabilidade para a região Médio-Norte de Mato Grosso.



Fonte: dados dos autores.

Conclusão

Com base nos resultados obtidos conclui-se que:

- Existem duas estações bem definidas na região MNMT, uma chuvosa entre outubro e abril e uma seca entre maio e setembro. Os meses de abril e outubro podem ser considerados como meses de transição entre as duas estações.
- mês de janeiro é o que possui maior altura provável de chuva, no entanto, apresenta valor de chuva provável muito próximo ao do mês de dezembro. Nos meses de dezembro e janeiro a precipitação provável mensal varia entre 191 e 310 mm.
- Os meses com menor precipitação, exatamente igual a zero, são junho, julho e agosto. Os menores acumulados de chuva que ocorrem entre maio e setembro variam entre 0 e 62 mm.
- A precipitação provável anual (PPA) na região MNMT possui valor médio de 1622 mm, com mínimo de 1341 e máximo de 1955 mm.
- Quanto a precipitação provável trimestral (PPT) o período de janeiro a março possui os maiores valores de lâmina que variam entre 629 e 939mm. Neste período os maiores valores de chuva ocorrem em fevereiro (média de 785 mm) que corresponde ao somatório dos totais de dezembro, janeiro e fevereiro. Já os menores valores de chuva trimestral ocorrem entre julho e setembro com valores variando entre 0 e 77 mm.



- A distribuição espacial da PPM, PPT e PPA é influenciada pela latitude, ou seja, quanto menor a latitude (hemisfério sul) maior a chuva. Existe tendência de aumento da precipitação no sentido SE-NW na região MNMT.
- A análise espacial mostra que as maiores lâminas de chuva ocorrem no norte e noroeste da área de estudo. Já as menores ocorrem no sul e sudeste da área, principalmente no município de Nova Ubiratã.
- Os principais sistemas sinóticos atuantes na região MNMT são: Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS); Sistemas Frontais (SF); Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) e Convecção Local; Alta da Bolívia (AB); e Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS).

Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado do primeiro autor (código de financiamento 001).

Referências

- ALVARES C.A.; STAPE J.L.; SENTELHAS P.C.; GONÇALVES J.L.M.; SPAROVEK G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p. 711-728, 2013.
- ASFAW A.; SIMANE B.; HASSEN A.; BANTIDER A. Variability and time series trend analysis of rainfall and temperature in northcentral Ethiopia: A case study in Woleka sub-basin. **Weather and Climate Extremes**, v. 19, n.1, p. 29-41, 2018.
- BASTOS C.C.; FERREIRA N.J. **Análise Climatológica da Alta Subtropical do Atlântico Sul**. Disponível em: http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1915/2005/03.15.19.20/doc/Bastos_Analise%20climatologica.pdf. Acesso em: 09 de abril de 2020.
- CARVALHO, A. M. G. **Conexões entre a circulação em altitude e a convecção sobre a América do Sul**. 1989. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1989.
- CARVALHO L.M.V.; JONES C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal and Interannual Activity and Extreme Rainfall. **Journal of Climate**, v.17, p. 88-108, 2004.
- CAVALCANTI, I.F.A. **Um estudo Sobre Interações Entre Sistemas de Circulação de Escala Sinótica e Circulações Locais**. 1982. 121f. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1982.
- COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia: para engenharia e ciências ambientais**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2015. 336p.
- DEREJE, A.; TESFAYE, K.; MAMO, G.; YITAFERU, B.; BAYU, W. Variability of rainfall and its current trend in Amhara region, Ethiopia. **African Journal of Agricultural Research**, v.7, n.10, p. 1475–1486, 2012.
- ELLOUZE, M.; AZRI, C.; ABIDA, H. Spatial variability of monthly and annual rainfall data over Southern Tunisia. **Atmospheric Research Journal**, v. 93, n. 4, p. 832-839, 2009.
- GAMACHE, J.F.; HOUZE Jr, R.A. Mesoscale air motions associated with a tropical squallline. **Monthly Weather Review**, v. 110, n. 2, p. 118-135, 1982.
- GENEROSO, R. How do rainfall variability, food security and remittances interact? The case of rural Mali. **Ecological Economics**, v. 114, n. 1, p. 188-198, 2015.



GILMONT, M.; HALL, J.W.; GREY, D.; DADSON, S.J.; ABELE, S.; SIMPSON, M. Analysis of the relationship between rainfall and economic growth in Indian states. **Global Environmental Change**, v. 49, n. 1, p. 56-72, 2018.

GOENSTER, S.; WIEHLE, M.; GEBAUER, J.; MOHAMED ALI, A.; STERN, R.D.; BUERKERT, A. Daily rainfall data to identify trends in rainfall amount and rainfall-induced agricultural events in the Nuba Mountains of Sudan. **Journal of Arid Environments**, v. 122, n. 1, p. 16-26, 2015.

GUTMAN, G.J.; SCHWERTFEGGER, W. The role of latent and sensible heat for the development of a high pressure system over the subtropical Andes, in Summer. **Jg. Heft**, v.18, n. 3, p. 69-75, 1965.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019). **Conheça Cidades e Estados do Brasil**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 03 de abril de 2020

IMEA – Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária (2019a). **1ª Estimativa da Safra de Soja – 2019/20**. Disponível em: <http://www.imea.com.br/imea-site/relatorios-mercado-detalhe?c=4&s=9>. Acesso em: 03 de abril de 2020

IMEA – Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária (2019b). **5ª Estimativa da Safra de Milho – 2018/19**. Disponível em: <http://www.imea.com.br/imea-site/relatorios-mercado-detalhe?c=4&s=9>. Acesso em: 03 de abril de 2020

KENGNI, L.; MBOUSSOP, A.N.; NJUEYA KOPA, A.; TANKOU, C.M.; TEMATIO, P.; NDAM NGROUPAYOU, J.R. Rainfall variability on the southern slope of the Bamboutou mountain (West-Cameroon) and impact on the crop cultivation calendar. **Journal of African Earth Sciences**, v. 154, n. 1, p. 164-171, 2019.

KOUSKY, V.E.; ELIAS, M. **Meteorologia Sinótica**: Parte 1. São José dos Campos: Instituto Nacional de Meteorologia (INPE), 1982.

LENTERS, J.; COOK, K. On the Origin of the Bolivian High and Related Circulation Features of the South American Climate. **Journal of The Atmospheric Sciences**, v. 54, n. 1, p. 656-678, 1997.

MARGARIDO, F.B.; SANTOS, F. Agricultural Planning. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (ed.) **Sugarcane: Agricultural Production, Bioenergy and Ethanol**. Amsterdam: Elsevier, 2015. 492p. p. 1-11.

MELLO, C.R.; SILVA, A.M. **Hidrologia**: princípios e aplicações em sistemas agrícolas. Lavras: Editora UFLA, 2013. 455p.

NAGHETTINI, M. **Fundamentals of Statistical Hydrology**. Switzerland: Springer, 2016. 660p.

NATHAN, R.; JORDAN, P.; SCORAH, M.; LANG, S.; KUCZERA, G.; SCHAEFER, M.; WEINMANN, E. Estimating the exceedance probability of extreme rainfalls up to the probable maximum precipitation. **Journal of Hydrology**, v. 543, n.1, p. 706-720, 2016.

RAMOS, H.C.; DALLACORT R.; NEVES S.M.A.S.; DALCHIAVON, F.C.; SANTI, A.; VIEIRA, F.F. Precipitação e temperatura do ar para o estado de Mato Grosso utilizando Krigagem Ordinária. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 20, n.1, p. 211-233, 2017.

R CORE TEAM. R: **A Language and Environment for Statistical Computing**. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 03 de abril de 2020.

SELVARAJU, R. Climate risk assessment and management in agriculture. In: MEYBECK, A.; LANKOSKI, J.; REDFERN, S.; AZZU, N.; GITZ, V. (ed) **Building Resilience for Adaptation to Climate Change in the Agriculture Sector**. Roma: FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2012. p. 71-89.

SILVA, S.S.; FEARNside, P.M.; GRAÇA, P.M.L.A.; BROWN, I.F.; ALENCAR, A.; MELO, A. Dynamics of forest fires in the southwestern Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 424, n. 1, p. 312-322, 2018.

SOUSA JUNIOR, M.F.; MARCELINO, A.C.S.; HOEGEN, T.S.; PAULA, L.G.P.; ULIANA, E.M. (2019) Satélite TRMM: geração de séries mensais de precipitação no Estado de Mato Grosso. In: **XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2019, Santos. Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Santos: INPE, 2019. p. 607-610.

SOUZA, R.O.R.M.; COSTA, E.F.N.; SHINOMIYA, A.K.; LIMA JÚNIOR, J.A.; MELO, J.M. Precipitação Provável Mensal e Anual para o Estado do Pará. **Irriga**, v. 23, n. 2, p. 249-261, 2018.

ULIANA, E.M.; SILVA, D.D.; SILVA, J.G.F.; FRAGA, M.S.; LISBOA, L. Estimate of Reference Evapotranspiration Through Continuous Probability Modelling. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 2, p. 257-267, 2017.



PRECIPITAÇÃO E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS EM ZONAS DE TRANSIÇÃO CERRADO-AMAZÔNIA
Mairon, Eduardo, Bruce, Camila, Ibraim, Uilson e Múcio

VAN SOLINGE, T.B. Deforestation in the Brazilian Amazon, in: SHRODER, J.; SIVANPILLAI, R. (ed) **Biological and Environmental Hazards, Risks, and Disasters**. Amsterdam: Elsevier, 2016. 492p. p. 373-395.

VIRGI, H. A preliminary study of summertime tropospheric circulation patterns over South America estimated from cloud wins. **Monthly Weather Review**, v. 109, n. 1, p. 549-610, 1981.

WMO-World Meteorological Organization. **WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals**. 2017. Disponível em: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4166. Acesso em: 27 jun. 2022.

YAMAMOTTO J.K.; LANDIM, P.M.B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 215p.