

Variabilidade espacial e temporal da precipitação no Estado do Tocantins, Brasil

Spatial and temporal variability of precipitation in Tocantins State, Brazil

Variabilidad espacial y temporal de la precipitación en el Estado de Tocantins, Brasil

Recebido: 04/03/2021 | Revisado: 11/03/2021 | Aceito: 15/03/2021 | Publicado: 21/03/2021

Virgílio Lourenço Silva Neto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1004-0191>

Universidade Federal do Tocantins, Brasil

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Brasil

E-mail: virgilio.neto@ifto.edu.br

Lucas Barbosa e Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7957-088X>

Universidade Federal do Tocantins, Brasil

E-mail: lbsgeo@uft.edu.br

Marcelo Ribeiro Viola

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3910-0987>

Universidade Federal de Lavras, Brasil

E-mail: marcelo.viola@ufla.br

Marco Antonio Vieira Morais

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6699-5990>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Mato Grosso, Brasil

E-mail: marco.morais@bag.ifmt.edu.br

Resumo

O objetivo deste estudo é realizar o mapeamento da precipitação pluvial mensal e anual com base em procedimentos da geoestatística e analisar as tendências espaciais e temporais das chuvas para o estado do Tocantins. Foram constituídas séries históricas de precipitação mensal e anual em um período padronizado entre 1988 e 2019, gerando-se valores médios para proceder com a espacialização e interpolação dos dados. A análise exploratória dos dados foi realizada a partir de gráficos de tendência para a precipitação anual, que demonstram o comportamento geral apresentado nesta análise entre os diferentes eventos em estudo, submetendo os dados ao teste de tendências de Mann-Kendall. Procedeu-se com o ajuste do modelo de semivariograma teórico, a partir da obtenção dos valores para os parâmetros estruturais como o efeito pepita, a contribuição e o alcance. Para a precipitação mensal, o grau de dependência espacial para os modelos com melhor desempenho variou entre 72,4% e 100%. Sob o ponto de vista espacial, o sudeste do Tocantins apresentou os menores valores de precipitação e o mês de dezembro os maiores. Já pelo viés temporal, durante o mês de julho, a porção centro-sul tocaninense apresentou índices muito reduzidos, entre 0 e 2 mm, enquanto nos meses mais chuvosos, de dezembro a março, a precipitação mensal variou entre 382 mm (janeiro) e 262 mm (fevereiro). Os meses entre julho e setembro são o período crítico de estiagem no Tocantins, quando a precipitação no período apresentou variação de 0 a 25 mm.

Palavras-chave: Geoestatística; Pluviosidade; Mann-Kendall.

Abstract

This study aimed to map monthly and annual rainfall based on geostatistical procedures and to analyze spatial and temporal rainfall trends for the state of Tocantins. Historical series of monthly and annual precipitation were constituted in a standardized period between 1988 and 2019, generating average values to proceed with the spatialization and interpolation of the data. The exploratory analysis of the data was performed based on trend graphs for annual precipitation, which demonstrate the general behavior presented in this analysis between the different events under study, submitting the data to the Mann-Kendall trend test. We proceeded with the adjustment of the theoretical semivariogram model, from obtaining the values for the structural parameters such as the nugget effect, the contribution and the reach. For monthly rainfall, the degree of spatial dependence for the models with the best performance varied between 72.4% and 100%. From the spatial point of view, the southeast of Tocantins presented the lowest precipitation values and the month of December the highest. As for the temporal bias, during the month of July, the center-south portion of Tocantins presented very low rates, between 0 and 2 mm, while in the rainiest months, from December to March, the monthly precipitation varied between 382 mm (January) and 262 mm (February). The months between July and September are the critical drought period in Tocantins, when the rainfall in the period varied from 0 to 25 mm.

Keywords: Geostatistics; Rainfall; Mann-Kendall.

Resumen

El objetivo de este estudio es mapear las precipitaciones mensuales y anuales con base en procedimientos geoestadísticos y analizar las tendencias espaciales y temporales de las precipitaciones para el estado de Tocantins. Se constituyeron series históricas de precipitación mensual y anual en un período estandarizado entre 1988 y 2019, generando valores promedio para proceder con la espacialización e interpolación de los datos. El análisis exploratorio de los datos se realizó con base en gráficas de tendencia de precipitación anual, las cuales demuestran el comportamiento general presentado en este análisis entre los diferentes eventos en estudio, sometiendo los datos a la prueba de tendencia de Mann-Kendall. Se procedió al ajuste del modelo de semivariograma teórico, a partir de la obtención de los valores de los parámetros estructurales como el efecto pepita, el aporte y el alcance. Para la precipitación mensual, el grado de dependencia espacial para los modelos con mejor desempeño varió entre 72,4% y 100%. Desde el punto de vista espacial, el sureste de Tocantins presentó los valores de precipitación más bajos y el mes de diciembre los más altos. En cuanto al sesgo temporal, durante el mes de julio, la porción centro-sur de Tocantins presentó tasas muy bajas, entre 0 y 2 mm, mientras que en los meses más lluviosos, de diciembre a marzo, la precipitación mensual varió entre 382 mm (enero) y 262 mm (febrero). Los meses entre julio y septiembre son el período crítico de sequía en Tocantins, cuando la precipitación en el período varió de 0 a 25 mm.

Palabras clave: Geoestadística; Lluvia; Mann-Kendall.

1. Introdução

A compreensão das características espaciais e temporais da precipitação pluvial de uma localidade é fundamental para a eficácia da gestão dos recursos hídricos de forma sustentável, ou seja, é preciso conhecer o comportamento pluvial para utilização da água no intuito de solucionar problemas existentes onde este recurso é escasso e prevenir problemas futuros como conflitos pelo uso da água, inundações urbanas e falta de água para abastecimento público, já que a precipitação pluvial é o principal componente do ciclo hidrológico, diretamente responsável pela entrada da água numa bacia hidrográfica (Prólo et al., 2021). Tanto no âmbito das demandas para o consumo humano quanto para as atividades agrícolas, há a possibilidade de a precipitação ocasionar prejuízos em situações de excesso ou escassez, pois afeta diretamente o consumo doméstico, a irrigação, a qualidade e a disponibilidade hídrica de um modo geral (Oliveira et al., 2017).

Neste sentido, a “variabilidade climática e o aumento dos eventos meteorológicos [excepcionais], especialmente quanto à precipitação pluviométrica e à temperatura do ar, tem preocupado, tanto as autoridades governamentais, quanto os tomadores de decisão, em todos os segmentos da sociedade” (Andrade et al., 2018, p. 127). Diversas atividades antrópicas sofrem influência direta do clima em diferentes graus, sobretudo a agricultura, em que o clima é um fator condicionante para as diferentes culturas, que devem ser compatíveis com a oferta climática variável no tempo e no espaço, o que justifica o estudo da precipitação pela Climatologia e Agrometeorologia, assim como as tendências climáticas (Ely & Dubreuil, 2017).

No que se refere aos dados de precipitação, Baptista e Severo (2018) afirmam que são consequência das características do clima de uma determinada região e que as séries históricas apresentam componentes como variabilidade, tendências, aleatoriedade e sazonalidade, que podem ser analisadas por meio de testes não paramétricos como o de Mann-Kendall, recomendado para a verificação de tendências em séries temporais de elementos climáticos.

Penereiro et al. (2016) afirmam que a análise da precipitação pluvial tem recebido atenção especial por parte da comunidade científica em função de sua influência nas condições da qualidade de vida das pessoas, produção energética, gestão da água e diversas outras atividades, como industriais e turísticas.

No mapeamento da precipitação pluvial, são empregados métodos de interpolação espacial, em que se destacam as técnicas geoestatísticas. Nelas, o “semivariograma é uma das ferramentas mais importantes dessa metodologia, pois permite determinar a amplitude da dependência espacial e descreve o comportamento da variável” (Gomes, 2011, p. 693). Já a estatística clássica considera que as realizações das variáveis aleatórias são independentes entre si, desconsiderando assim a influência entre observações vizinhas (Santos et al., 2011).

Diversos estudos sobre a precipitação foram realizados nos últimos anos, em diferentes abordagens, com foco na relação intensidade-duração-frequência, desagregação de chuvas diárias, precipitação máxima ou mínima provável, bem como a

variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial. Dentre estes, podem ser mencionados os trabalhos de Viola et al. (2010), que avaliaram o desempenho de diferentes métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial; Gomes (2011), que realizou a análise geoestatística da precipitação pluvial do estado da Paraíba; Mello et al. (2012) estudaram a continuidade espacial das grandezas precipitação pluviométrica e erosividade da chuva em escala de tempo mensal e anual, aplicando procedimentos de geoestatísticas; Marcuzzo e Goularte (2013) caracterizaram o ano hidrológico, mapeando as chuvas nos períodos úmido e seco do estado do Tocantins; Santos et al. (2014), que abordaram a variabilidade da precipitação no estado do Pará; Penereiro et al. (2015), que apresentaram um diagnóstico sazonal sobre os comportamentos climáticos e hidrológicos na região da bacia hidrográfica do Tocantins-Araguaia; e Barros et al. (2020) que utilizaram a geoestatística como ferramenta para estudos da variabilidade da precipitação pluviométrica no estado de Pernambuco.

Diante do exposto, a questão norteadora é como a precipitação pluviométrica varia temporal e espacialmente no território tocantinense? Assim, o objetivo deste estudo é realizar o mapeamento da precipitação pluvial mensal e anual com base em procedimentos da geoestatística e analisar as tendências espaciais e temporais das chuvas para o estado do Tocantins, considerando o período entre 1989 e 2019.

2. Metodologia

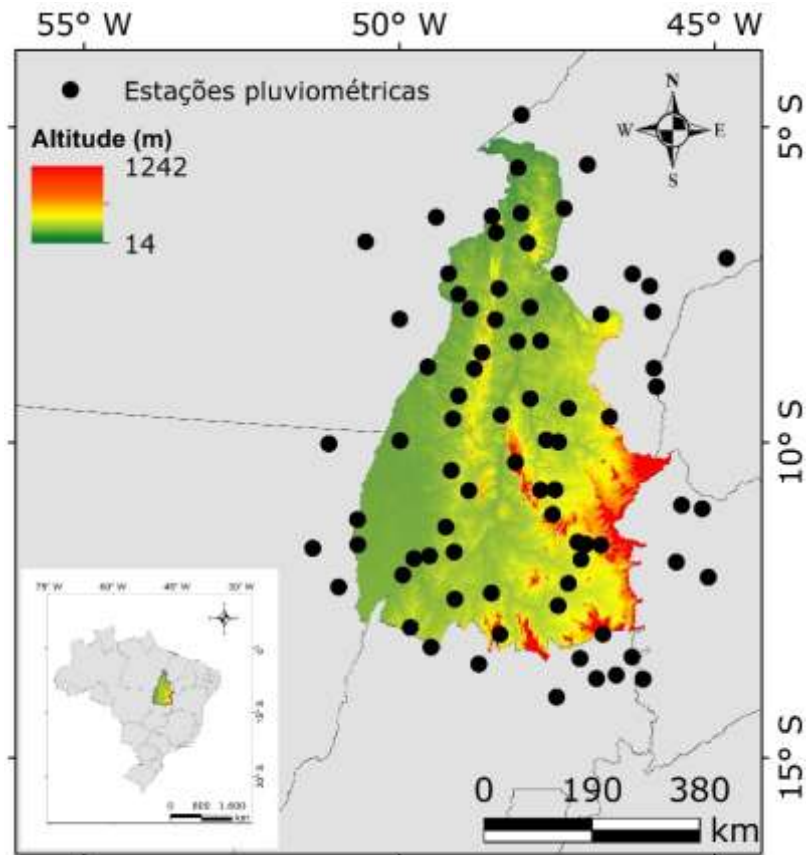
A Unidade Federativa do Tocantins está localizada na Região Norte do Brasil, entre os paralelos 5°10'06" e 13°27'59" de latitude sul e os meridianos 45°44'46" e 50°44'33" de longitude oeste, com área de 277.620,9 km². Isto equivale a 3,26% território brasileiro e a 7,2% da região Norte do Brasil (Silva Neto et al., 2020a). Os biomas presentes no Estado são Amazônia (9% do território do Tocantins) e o Cerrado em 91% do território (IBGE, 2004).

Quanto à caracterização climática do estado, Souza et al. (2019) elaboraram uma proposta de classificação com base nos estudos de Thornthwaite e Matter para o Tocantins, em que foram destacadas três regiões climáticas homogêneas: I - região climática C1s2A'a': Clima subúmido seco, ao leste do Bico do Papagaio e extremo leste do estado; II - região climática C2wA'a': clima subúmido, predominante na maior parte do Tocantins, no sentido norte a sul, e III - região climática B1wA'a': clima úmido, predominante na porção sudoeste do Tocantins e uma pequena parte ao sudeste do estado.

Em uma etapa preliminar, foram utilizados dados de 93 estações pluviométricas, obtidos por meio do site Hidroweb, pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional das Águas, conforme a Figura 1. Inicialmente, foram constituídas séries históricas de precipitação mensal e anual em um período padronizado entre 1988 e 2019 para cada estação, gerando-se valores médios para proceder com a espacialização e interpolação dos dados. É importante destacar que foram descartados os anos que continham falhas em suas séries históricas, sobretudo durante o período chuvoso, o que determinou um período médio padronizado de aproximadamente 30 anos.

A análise exploratória dos dados foi realizada a partir de gráficos de tendência para a precipitação anual, que demonstram o comportamento geral apresentado nesta análise entre as diferentes situações analisadas. O resultado desta etapa foi essencial para se avaliar a aplicação das técnicas geoestatísticas (Alves et al., 2016), os dados foram submetidos ao teste de tendências de Mann-Kendall ($\alpha = 0.05$). Para o mapeamento da precipitação média mensal e anual no Tocantins, as estações que apresentaram resultados menores que 0,05 no teste de tendência, foram descartadas antes da análise geoestatística e, conseqüentemente, da espacialização dos dados. Foi utilizado o software ArcGIS9.2® (ESRI, 2004). Foram adotadas a Projeção Cônica de Albers e o Datum SIRGAS 2000 para a produção dos mapas, conforme descrito por Silva Neto et al. (2020b).

Figura 1 – Localização das estações pluviométricas utilizadas no mapeamento da precipitação pluvial e Modelo Digital de Elevação para o estado do Tocantins.



Fonte: ANA (2019); ASF DAAC (2021). Org. autores (2021)

É importante destacar que do total de 93 estações pluviométricas representadas pela Figura 1, 34 estações estão fora do território tocantinense, porém, com relevância para o processo de interpolação na região de contorno. O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi obtido através de ASF DAAC (2021) e utilizado para obtenção dos valores de altitude das estações pluviométricas, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Relação das estações pluviométricas utilizadas no presente estudo.

Código da Estação	Município-UF	Latitude	Longitude	Altitude (m)
949000	Abreulândia-TO	-9,624	-49,155	237
1147000	Almas-TO	-11,579	-47,174	419
1447000	Alto Paraíso-GO	-14,035	-47,512	1552
945011	Alto Parnaíba-MA	-9,113	-45,926	286
1249000	Alvorada-TO	-12,484	-49,124	315
648001	Ananás-TO	-6,364	-48,073	195
849002	Araguacema-TO	-8,802	-49,556	155
1249001	Araguaçu-TO	-12,931	-49,829	293
548000	Araguatins-TO	-5,648	-48,125	117
749000	Arapoema-TO	-7,655	-49,065	221
1246001	Aurora do Tocantins-TO	-12,714	-46,409	467
746006	Balsas-MA	-7,523	-46,034	259
950001	Santana do Araguaia-PA	-9,228	-50,211	214
1249003	Sandolândia-TO	-12,099	-49,948	206
1151000	Alto Boa Vista-MT	-11,675	-51,376	249
846005	Alto Parnaíba-MA	-8,813	-46,078	295

749001	Araguaína-TO	-7,323	-49,224	127
746007	Balsas-MA	-7,929	-45,989	332
547005	Buritirana-MA	-5,594	-47,019	231
1346004	Campos Belos-GO	-13,037	-46,777	637
847002	Campos Lindos-TO	-7,971	-46,806	291
950002	Pium-TO	-9,970	-49,994	177
747000	Carolina-MA	-7,323	-47,464	172
848000	Colinas-TO	-8,053	-48,482	232
1248001	Peixe-TO	-12,388	-48,544	319
748001	Bernardo Sayão-TO	-7,878	-48,879	160
1247000	Conceição do Tocantins-TO	-12,233	-47,324	413
1146000	Dianópolis-TO	-11,625	-46,811	687
949001	Dois Irmãos do Tocantins-TO	-9,257	-49,064	267
1149000	Dueré-TO	-11,339	-49,265	231
1349003	Porangatu-GO	-13,103	-49,201	352
1048000	Fátima-TO	-10,764	-48,902	358
1145004	Formosa do Rio Preto-BA	-10,993	-45,527	508
650001	Marabá-PA	-6,815	-50,539	296
1346002	São Domingos-GO	-13,686	-46,566	532
1245014	Barreiras-BA	-12,126	-45,644	712
1148000	S. Valério da Natividade	-11,531	-48,295	252
1346006	Correntina-BA	-13,752	-46,140	959
748002	Nova Olinda-TO	-7,561	-48,423	266
1245004	Barreiras-BA	-12,135	-45,104	484
649001	Sapucaia-PA	-6,795	-49,549	186
1247005	Fátima-TO	-12,585	-47,487	341
649000	Marabá-PA	-6,428	-49,420	134
1145001	Formosa do Rio Preto-BA	-11,048	-45,202	486
1149001	Formoso do Araguaia-TO	-11,797	-49,525	260
747001	Goiatins-TO	-7,715	-47,315	191
848001	Guaraí-TO	-8,832	-48,817	241
1149002	Gurupi-TO	-11,737	-49,136	346
845005	Alto Parnaíba-MA	-8,821	-45,968	310
847001	Itacajá-TO	-8,392	-47,763	184
848002	Itaporã do Tocantins -TO	-8,574	-48,690	341
1047001	Novo Acordo-TO	-9,991	-47,479	221
946003	Lizarda-TO	-9,597	-46,673	420
1050000	Luciara-MT	-11,219	-50,669	191
947001	Rio Sono-TO	-9,458	-47,327	331
948000	Miracema do Tocantins -TO	-9,564	-48,388	199
746008	Riachão-MA	-7,158	-46,554	486
748003	Muricilândia-TO	-7,154	-48,603	197
1147001	Natividade-TO	-11,697	-47,728	311
1346001	Nova Roma-GO	-13,743	-46,878	626
1145014	Barreiras-BA	-11,853	-47,122	370
1047000	Novo Acordo-TO	-9,961	-47,675	211
1349001	Novo Planalto-GO	-13,245	-49,502	291
747009	Palmeirante-TO	-7,859	-47,929	168
1248003	Palmeirópolis-TO	-13,042	-48,407	445
1048001	Paraíso do Tocantins-TO	-10,165	-48,399	209
1147002	Pindorama do Tocantins-TO	-11,140	-47,577	427
648002	Araguanã-TO	-6,672	-48,470	157
1049001	Pium-TO	-10,441	-49,179	286
1047004	Ponte Alta do Tocantins-TO	-10,751	-47,536	329
1347001	Teresina de Goiás-GO	-13,425	-47,139	365
1145013	Barreiras-BA	-11,896	-45,612	730
1147003	Porto Alegre do Tocantins-TO	-11,610	-47,045	379
1047002	Monte Carmo-TO	-10,755	-47,765	294
948001	Pedro Afonso-TO	-9,307	-47,929	199
1249002	Formoso do Araguaia-TO	-11,839	-49,772	203
746009	Balsas-MA	-7,331	-46,308	305

850000	Redenção-PA	-8,044	-50,001	208
1247002	Conceição do Tocantins-TO	-12,416	-47,200	341
1245015	São Desidério-BA	-12,765	-45,944	827
448000	São Domingos do Capim-PA	-4,804	-48,069	200
1250001	Novo Santo Antônio-MT	-12,290	-50,966	214
1346000	São Domingos-GO	-13,398	-46,316	657
744000	São Félix de Balsas-MA	-7,081	-44,813	175
1150001	S. Félix do Araguaia-TO	-11,620	-50,663	178
548001	São Sebastião do Tocantins-TO	-5,260	-48,207	127
1048005	Palmas-TO	-10,313	-48,163	410
647000	Tocantinópolis-TO	-6,289	-47,392	142
1348003	Trombas-GO	-13,513	-48,745	393
848003	Tupiratis-TO	-8,399	-48,130	193
951000	Vila Rica-MT	-10,019	-51,123	260
647001	Wanderlândia-TO	-6,839	-47,971	246
648000	Xambioá-TO	-6,413	-48,533	139

Fonte: ANA (2019).

A Tabela 1 contém informações importantes sobre as estações pluviométricas utilizadas no presente estudo, como a localização e altitude. Das 93 estações pluviométricas, 59 estão localizadas no estado do Tocantins, cuja baixa altimetria é um fator que apresenta influência menor que outros fenômenos atmosféricos. A média da altimetria onde as estações estão localizadas é de 329 m, sendo a estação de Alto Paraíso, na região nordeste do estado de Goiás, a estação com altitude mais elevada (1552 m) e a estação de Araguatins, ao norte do Tocantins, a estação com menor altimetria (117 m).

Outra etapa com fundamental importância na análise geoestatística está no ajuste do modelo de semivariograma teórico, a partir da obtenção dos valores para os parâmetros estruturais de tais modelos, como o efeito pepita, a contribuição e o alcance. No presente estudo, foram testados os modelos esférico, exponencial e gaussiano, aplicando-se o método de ajuste dos Mínimos Quadrados Ponderados (MQP). Os modelos esférico, exponencial e gaussiano estão descritos nas Equações 1, 2 e 3, respectivamente.

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

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{3 \cdot h}{a} \right) \right], \text{ se } 0 < h < a; \gamma(h) = C_0 + C_1; h > a \quad (2)$$

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

Em que,

$\gamma(h)$ = semivariância,

C_1 = contribuição do semivariograma (patamar menos o efeito pepita),

a = alcance,

C_0 = efeito pepita, e

h = distância entre os pares de pontos.

A dependência espacial dos modelos ajustados de semivariograma foi analisada com base no cálculo do grau de dependência espacial (GDE), obtido de acordo com o descrito por Cambardella et al. (1994):

$$GDE = \left(\frac{C_1}{C_0 + C_1} \right) \cdot 100 \quad (4)$$

Considerando o GDE, pode-se adotar a seguinte classificação: $GDE < 25\%$ (fraco), entre 25 e 75% (moderado) e $> 75\%$ (forte) (Cambardella et al., 1994).

Para avaliar qual modelo de semivariograma obteve o melhor desempenho, procedeu-se com a validação cruzada. Foi determinado o erro médio percentual absoluto (EMPA), identificando o modelo que apresentou o menor erro de estimativa, e que será considerado para o mapeamento da precipitação em cada uma das situações analisadas. Mesmo procedimento foi adotado em outros estudos, como os de Silva Neto et al. (2020b) e Prólo et al. (2021). Já o *Bias* (viés estatístico) foi determinado pelas médias da diferença entre as estimativas e as observações, apontando o erro sistemático do interpolador (subestimativa ou superestimativa). O valor do *Bias* equivale ao percentual de viés da variável estimada com relação à variável observada.

O EMPA e o *Bias* foram obtidos em %, conforme Cambardella (1994) e Liew et al. (2007), respectivamente, por meio das Equações 5 e 6.

$$EMPA = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{Obs_i - Est_i}{Obs_i} \right| \cdot 100 \quad (5)$$

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (Obs_i - Est_i) \cdot 100}{\sum_{i=1}^n (Obs_i)} \quad (6)$$

Onde,

n = número de postos pluviométricos

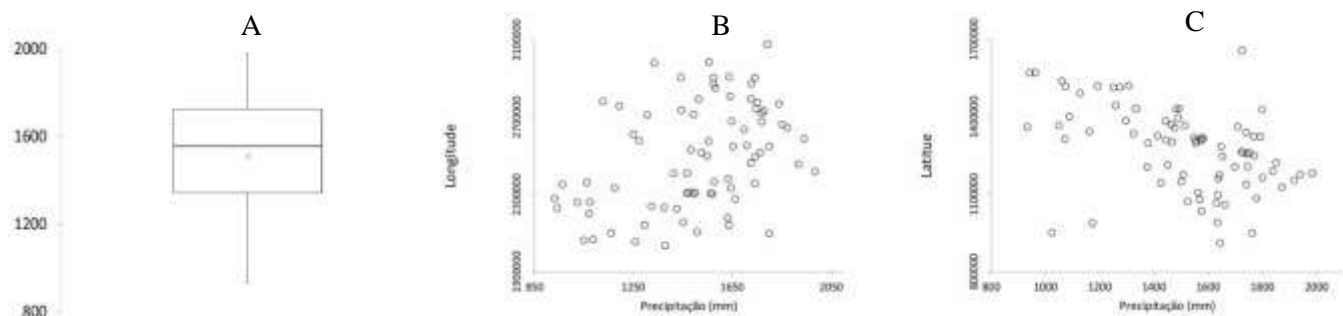
Obs_i = precipitação observada para o posto i , e

Est_i = precipitação estimada por krigagem para a posição do posto i .

3. Resultados e Discussão

O gráfico *box plot* e a tendência da precipitação anual acumulada são apresentados na Figura 2 e caracterizam o comportamento geral demonstrado na análise exploratória de dados entre diferentes eventos no presente estudo.

Figura 2 – Gráficos *box plot* e de tendência obtidos para a precipitação anual acumulada.



Fonte: Autores (2021).

É possível observar na Figura 1B e C, a distribuição de dados satisfatória no sentido Latitude/Longitude indicando boa dispersão dos dados, ou seja, inexistência de tendência espacial dos mesmos, o que segundo Mello & Viola (2013), permite a verificação da aplicabilidade das técnicas geoestatísticas. Já o gráfico *box plot* (Figura 1A) permitiu a observação de valores discrepantes no banco de dados que, aliado à realização do teste de Mann-Kendall, permitiu a remoção das estações que apresentaram tendenciosidade da análise geoestatística, visto que estas podem prejudicar a variância aleatória, influenciando diretamente a correlação espacial (Mello et al., 2008).

A Tabela 2 apresenta o resultado do teste de tendência de Mann-Kendall para as 93 estações pluviométricas consideradas inicialmente para a realização deste estudo.

Tabela 2 – Análise de tendência pelo Teste de Mann–Kendall ao nível de significância $\alpha = 0,05$.

Município-UF	Mann-Kendall	Município-UF	Mann-Kendall
Abreulândia-TO	0,050	Gurupi-TO	0,707
Almas-TO	0,591	Alto Parnaíba-MA	0,570
Alto Paraíso-GO	0,086	Itacajá-TO	0,135
Alto Parnaíba-MA	0,390	Itaporã do Tocantins -TO	0,446
Alvorada-TO	0,984	Novo Acordo-TO	0,186
Ananás-TO	0,907	Lizarda-TO	0,161
Araguacema-TO	0,000	Luciara-MT	0,972
Araguaçu-TO	1,000	Rio Sono-TO	1,000
Araguatins-TO	0,540	Miracema do Tocantins -TO	1,000
Arapoema-TO	0,123	Riachão-MA	0,034*
Aurora do Tocantins-TO	0,014*	Muricilândia-TO	0,001*
Balsas-MA	0,536	Natividade-TO	0,045*
Santana do Araguaia-PA	0,006*	Nova Roma-GO	0,669
Sandolândia-TO	0,398	Barreiras-BA	0,171
Alto Boa Vista-MT	0,748	Novo Acordo-TO	0,559
Alto Parnaíba-MA	0,002*	Novo Planalto-GO	0,388
Araguaína-TO	0,187	Palmeirante-TO	0,599
Balsas-MA	0,830	Palmeirópolis-TO	0,091
Buritirana-MA	0,372	Paraíso do Tocantins-TO	0,001*
Campos Belos-GO	0,726	Pindorama do Tocantins-TO	0,866
Campos Lindos-TO	0,302	Araguanã-TO	0,726
Pium-TO	0,536	Pium-TO	0,528
Carolina-MA	0,734	Ponte Alta do Tocantins-TO	0,786
Colinas-TO	0,163	Teresina de Goiás-GO	0,172
Peixe-TO	0,138	Barreiras-BA	0,086
Bernardo Sayão-TO	0,212	Porto Alegre do Tocantins-TO	0,453
Conceição do Tocantins-TO	0,860	Monte Carmo-TO	0,156
Dianópolis-TO	0,751	Pedro Afonso-TO	0,758
Dois Irmãos do Tocantins-TO	0,544	Formoso do Araguaia-TO	0,792
Dueré-TO	0,770	Balsas-MA	0,915
Porangatu-GO	0,045*	Redenção-PA	0,086
Fátima-TO	0,272	Conceição do Tocantins-TO	0,040*
Formosa do Rio Preto-BA	0,113	São Desidério-BA	0,005*
Marabá-PA	0,454	São Domingos do Capim-PA	0,311
São Domingos-GO	0,785	Novo Santo Antônio-MT	0,144
Barreiras-BA	0,001*	São Domingos-GO	1,000
S. Valério da Natividade	0,041*	São Félix de Balsas-MA	0,605
Correntina-BA	0,183	S. Félix do Araguaia-TO	0,536
Nova Olinda-TO	0,767	São Sebastião do Tocantins-TO	0,045*
Barreiras-BA	0,837	Palmas-TO	0,624
Sapucaia-PA	0,017*	Tocantinópolis-TO	0,823
Fátima-TO	0,128	Trombas-GO	0,427
Marabá-PA	0,628	Tupiratins-TO	0,284
Formosa do Rio Preto-BA	0,133	Vila Rica-MT	0,887
Formoso do Araguaia-TO	0,833	Wanderlândia-TO	0,528
Goiatins-TO	0,000*	Xambioá-TO	0,597
Guaraí-TO	0,260		

* Indicam que a série histórica apresentou tendência constatada pelo teste realizado.

Nota: Números antecedidos por (*) e municípios em negrito, indicam que há evidências estatística para rejeitar a inexistência de tendência (H0) na série de dados para o período analisado.

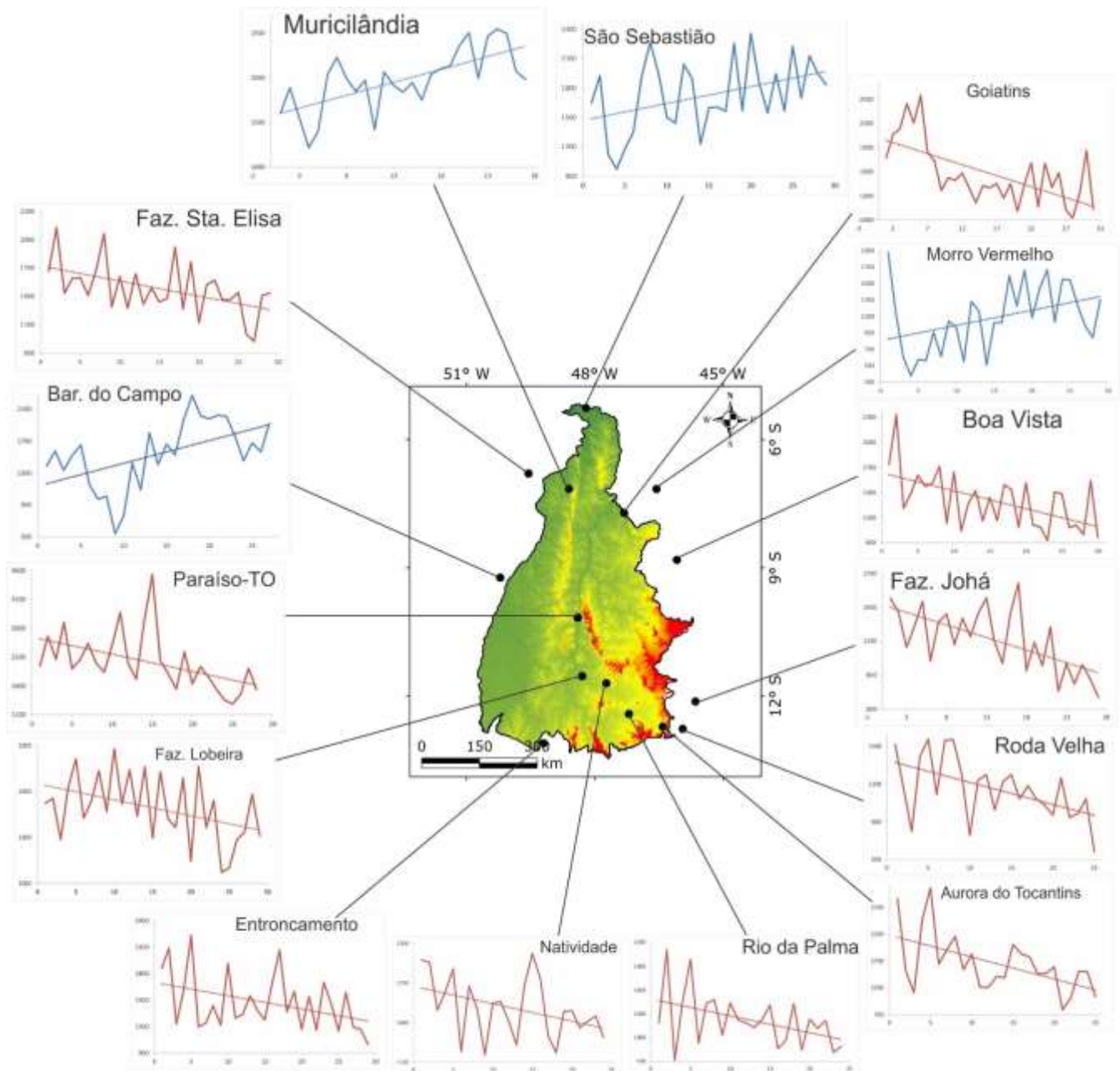
Fonte: Autores (2021).

Por meio da Tabela 2, é possível identificar os municípios cujas estações pluviométricas foram reprovadas pelo teste de Mann-Kendall. Desta forma, as estações localizadas nos municípios de Riachão-MA, Muricilândia-TO, Aurora-TO, Natividade-TO, Santana do Araguaia-PA, Alto Parnaíba-MA, Paraíso-TO, Porangatu-GO, Conceição do TO, São Desidério-BA, Barreiras-BA, São Valério da Natividade-TO, Sapucaia-PA, Goiatins-TO e São Sebastião do Tocantins-TO foram retiradas do banco de

dados inicial, o que acarretou a exclusão de 15 estações pluviométricas, para a realização da análise geoestatística a partir das demais 78 estações.

A Figura 3 apresenta os resultados das 15 estações pluviométricas que apresentaram tendência e, por consequência disso, foram retiradas da relação utilizada para análise geoestatística. É possível observar nítida redução dos valores de precipitação ao longo da série histórica para a maior parte das estações excluídas.

Figura 3 – Estações que apresentaram tendência no teste de Mann-Kendall ($\alpha = 0,05$).



Fonte: ANA. Org.: Autores (2021).

Pode-se constatar que quase todas as estações que apresentaram tendência de redução da precipitação estão localizadas na região central, sul e sudeste do Tocantins. Do total de quinze estações descartadas da análise geoestatística, 11 apresentaram

redução e quatro tiveram tendência de aumento. Destas, duas estão localizadas fora do estado, Barreira do Campo, situada em Santana do Araguaia-PA e Morro Vermelho, situada em Riachão-MA.

Em estudos sobre elaboração de cartas climáticas para o estado, TOCANTINS (2020) descreve que os dados de 1990 a 2019 apontam a tendência de redução das chuvas em três das quatro estações pluviométricas que se situam na região programa Extremo Norte do Tocantins (Bico do Papagaio), a única que apresenta aumento nos volumes anuais é a estação de São Sebastião do Tocantins. A estação de Muricilândia, que está localizada na região Norte do estado, também demonstrou tendência de redução dos valores de precipitação, como está representado na Figura 3. As estações de Barreira do Campo e Morro Vermelho estão localizadas em Santana do Araguaia-PA e Riachão-MA, respectivamente.

As Tabelas 3 e 4 apresentam os parâmetros dos modelos de semivariograma cruzado para os períodos seco, chuvoso e o acumulado anual e mensal, respectivamente, a partir das séries históricas entre 1988 e 2019. É importante destacar que entende-se aqui como período seco os meses entre abril e novembro, de acordo com o que foi descrito por Viola et al. (2014) sobre a precipitação no estado do Tocantins, segundo os quais “em termos médios para o Estado, os meses mais chuvosos corresponderam àqueles entre dezembro e março, com lâmina média acumulada que ultrapassou 1.000 mm” (Viola et al., 2014, p. 129).

Tabela 3 – Parâmetros do semivariograma ajustado aos modelos esférico, exponencial e gaussiano: Efeito Pepita (C0), Alcance km (A), Contribuição (C1), Viés Estatístico (*Bias* %), Erro Médio Percentual Absoluto (EMPA) e Grau de Dependência Espacial (GDE) para os modelos de semivariograma exponencial e esférico para os períodos seco, chuvoso e anual.

Parâmetros	Período seco	Período Chuvoso	Precipitação anual
Modelo Esférico			
C0	1227,6	7984,9	15418,5
A (Km)	809	541	666
C1	21676,8	20818,6	74000,2
Bias (%)	1,1	1,7	1,3
EMPA (%)	10,3	10,24	9,7
GDE (%)	94,6	72,3	82,8
Modelo Exponencial			
C0	0,0	5905,5	7784,5
A (Km)	840	634	733
C1	20868,5	23478,5	80421,9
Bias (%)	1,0	1,7	1,3
EMPA (%)	10,4	10,2*	9,6*
GDE (%)	100,0	79,9	91,2
Modelo Gaussiano			
C0	3012,7	10711,4	22246,9
A (Km)	627	473	540
C1	19803,5	18730,8	68098,4
Bias (%)	1,0	1,7	1,3
EMPA (%)	10,2*	10,4	9,8
GDE (%)	86,8	63,6	75,4

* Em destaque o modelo com melhor desempenho. Fonte: Autores (2021).

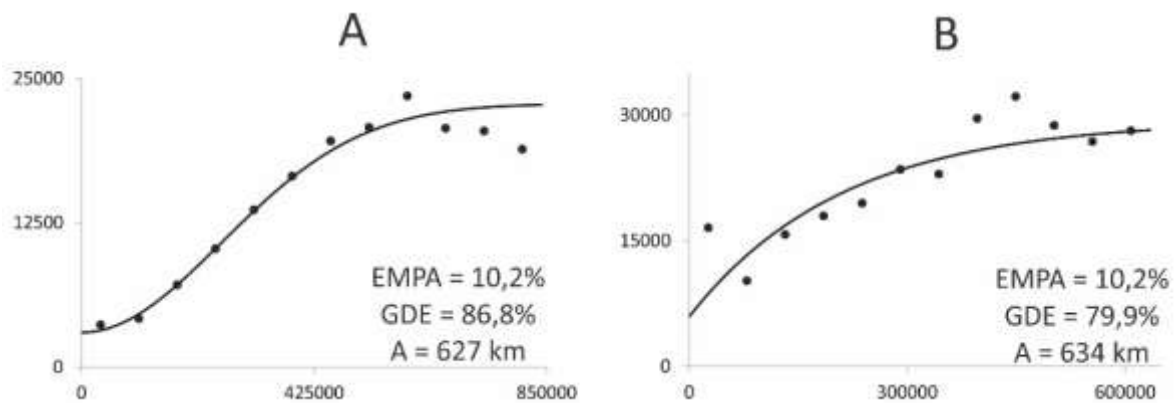
Por meio da observação da Tabela 3 e com base no EMPA, o modelo que obteve o melhor desempenho para o período seco foi o gaussiano (EMPA = 10,2), já para o período chuvoso e o acumulado anual, o modelo exponencial apresentou os

menores valores do EMPA, 10,2 e 9,6, respectivamente. O valor do EMPA igual a 10,2% está de acordo com os valores encontrados por Silva Neto et al. (2020b) no mapeamento de chuvas para o Tocantins, onde *Bias* e EMPA variaram entre 0,9% e 1,6% e entre 7% e 10%, respectivamente.

Nos estudos de Silva et al. (2010) sobre o mapeamento da Erosividade da chuva no vale do Rio Doce, centro-leste de Minas Gerais, o modelo gaussiano obteve também o melhor desempenho, exceto para os meses de junho, novembro e dezembro. Outra situação em que o modelo gaussiano obteve melhor desempenho que os modelos esférico e exponencial é descrita nos trabalhos de Silva Neto et al (2020b) sobre o mapeamento de chuvas intensas para o estado do Tocantins, considerando as situações de chuvas intensas com duração entre 10 e 1440 minutos. Porém, considerando a precipitação máxima diária anual no Tocantins, os referidos autores obtiveram melhor desempenho com o modelo esférico.

A Figura 4 apresenta o semivariograma cruzado para os períodos seco e chuvoso, enquanto a Figura 4 demonstra o ajuste do semivariograma referente à precipitação anual.

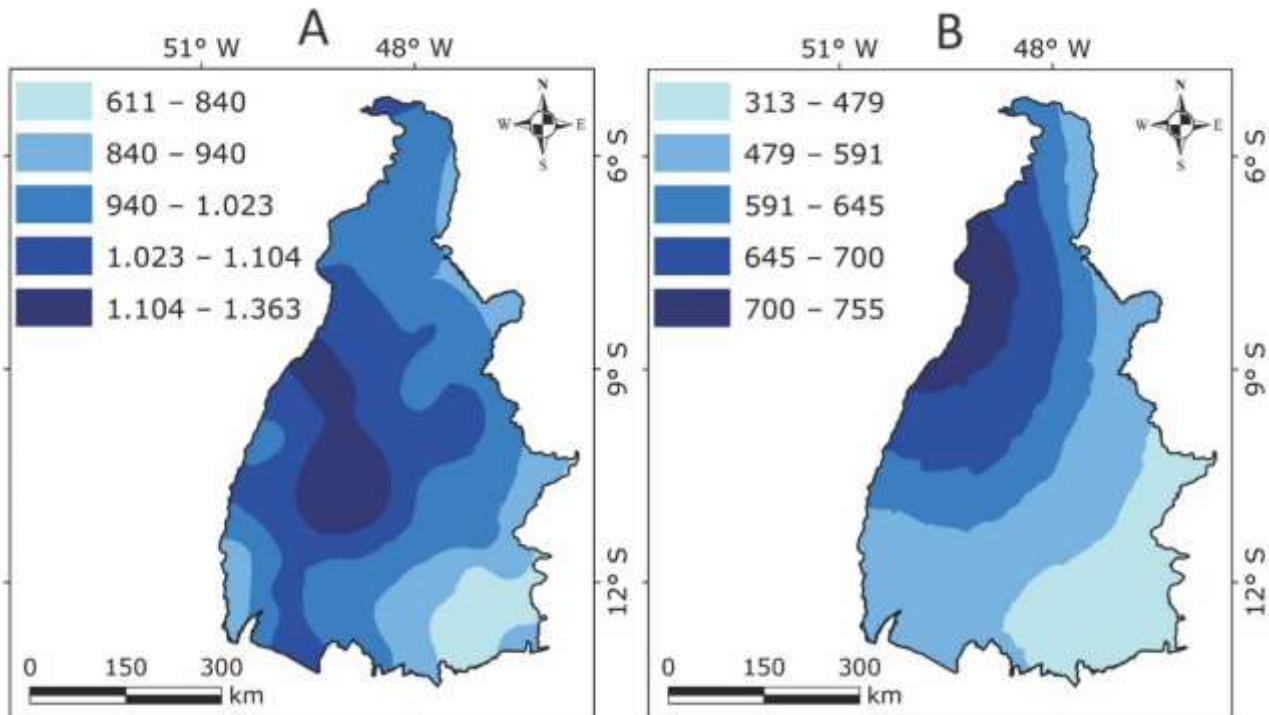
Figura 4 - Modelos de semivariograma cruzado ajustados ao semivariograma experimental.



Fonte: Autores (2021).

Por meio da observação da Figura 4, é possível observar boa aderência dos modelos teóricos de semivariograma ajustados para os períodos seco e chuvoso, sendo o melhor desempenho com base no EMPA os modelos gaussiano e exponencial, respectivamente. A distribuição espacial da precipitação anual acumulada pode ser observada a partir da Figura 5.

Figura 5 – Distribuição espacial da precipitação em mm para o estado do Tocantins para os períodos chuvoso e seco, respectivamente.



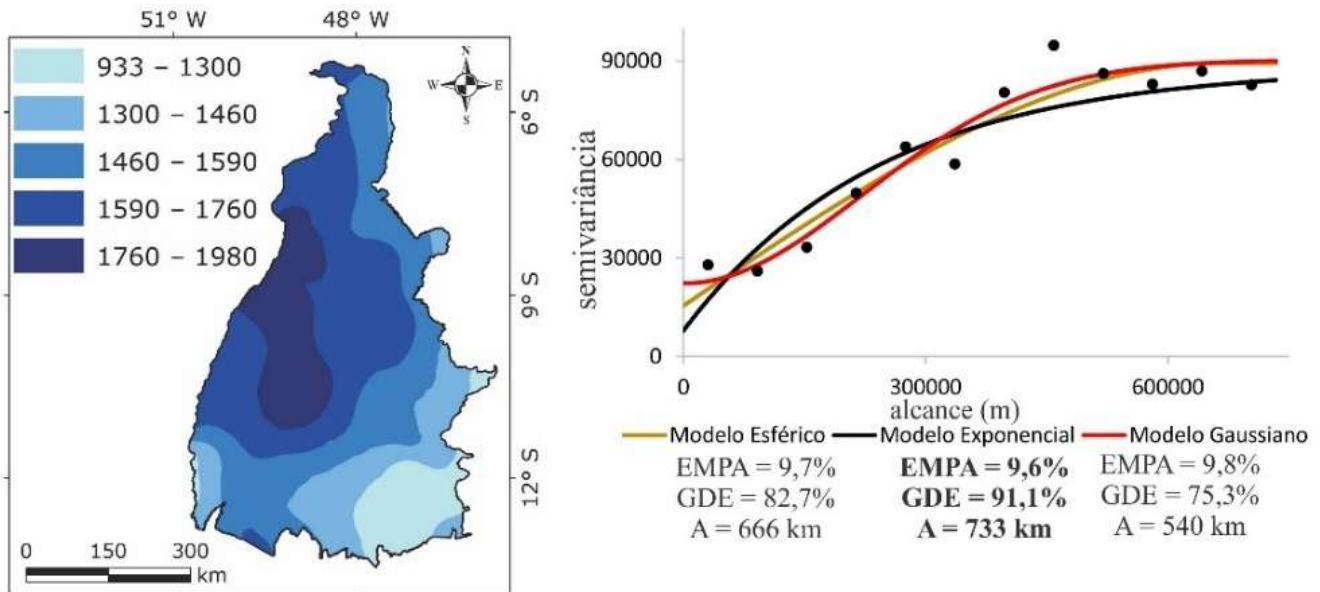
Fonte: Autores (2021).

Com base na Figura 5A, pode-se perceber que durante o período chuvoso, a precipitação no Tocantins concentra-se na porção centro-oeste do estado, variando entre 1104 a 1363 mm, com os menores valores de precipitação anual concentrados a sudeste do estado, com valores entre 611 e 840 mm. Marcuzzo & Goularte (2013), afirmam que a precipitação anual no estado está concentrada no período chuvoso em 90%, já no presente estudo, o período chuvoso concentra 63,3% da precipitação anual. Esta diferença pode ser explicada pelo fato de os autores considerarem como período chuvoso o intervalo de sete meses entre outubro e abril, enquanto neste estudo denomina-se período chuvoso apenas os quatro meses mais chuvosos entre dezembro e março, conforme descrito por Viola et al. (2014). Na Figura 5B pode-se observar que a porção sudeste do Tocantins apresenta os menores valores de precipitação pluvial, variando entre 313 e 469 mm, aumentando gradativamente ao noroeste, onde os valores de precipitação para o período seco variam entre 700 e 755 mm.

Os resultados descritos na Figura 5 corroboram os estudos descritos por TOCANTINS (2012), TOCANTINS (2020) e Pinto et al. (2017), mostrando um incremento no sentido SE – NW. Isso mostra a posição do Cerrado em uma transição entre a Caatinga e a Amazônia. Em vários sentidos, o Tocantins demonstra ser uma área de transição climática, inclusive considerando-se as massas de ar.

A precipitação anual e o semivariograma teórico ajustado para o acumulado anual estão representados por meio da Figura 6.

Figura 6 – Distribuição espacial da precipitação anual e semivariograma teórico ajustado aos modelos esférico, exponencial e gaussiano.



Fonte: Autores (2021).

Pela observação da Figura 6, pode-se inferir que a distribuição da precipitação anual acompanha a distribuição das chuvas durante o período chuvoso, o que significa dizer que a maior parte da precipitação acumulada durante o ano no Tocantins está concentrada durante os meses de dezembro a março, corroborando os estudos de Viola et al. (2014). No entanto, Pinto et al. (2017) descreve que o trimestre mais chuvoso muda ligeiramente no espaço, não sendo o mesmo para todo o estado. “É importante destacar que “Toda a metade oeste do Tocantins sofre a influência de diversos sistemas meteorológicos produtores de chuvas abundantes, citando-se a circulação de oeste da mEc [Massa Equatorial Atlântica], [...], ZCAS [Zona de Convergência do Atlântico Sul], LICON [Linhas de Instabilidade Continental] e VCAN [Vórtice Ciclônico de Altos Níveis], todos com atuação predominantemente entre os meses de outubro a abril” (TOCANTINS, 2020, p. 55).

Com relação ao viés estatístico, conforme Souza et al. (2019), o Bias representa a porcentagem de enviesamento da precipitação especializada pelos interpoladores, onde valores positivos indicam tendência de subestimação e, negativos, de superestimação. Neste estudo, o Bias mensal pode ser observado na Tabela 4, onde é possível inferir que a maioria dos resultados apresentou boa acurácia, indicando que os parâmetros foram ajustados satisfatoriamente.

Tabela 4. Parâmetros do semivariograma ajustado aos modelos esférico, exponencial e gaussiano: Efeito Pepita (C0), Alcance (A), Contribuição (C1), Viés Estatístico (Bias %), Erro Médio Percentual Absoluto (EMPA) e Grau de Dependência Espacial (GDE) para os modelos de semivariograma exponencial e esférico para os meses de janeiro a dezembro.

Parâmetros	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Modelo Esférico												
C0	861,1	589,9	588,7	34,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	129,1	213,0	265,4
A (Km)	499	1281	1281	1281	1281	206	206	122	702	629	108	135
C1	1461,4	3437,9	3871,0	5493,2	1559,8	32,0	12,6	6,7	360,5	1123,2	371,3	1044,7
Bias (%)	2,3	2,2	2,1	2,9	3,1	24,2	73,0	26,4	5,2	3,3	2,1	2,7
EMPA (%)	12,2	12,1	11,8	15,0*	19,2	52,0*	112,3	45,6*	22,5	14,6	10,5	11,8
GDE (%)	62,9	85,4	86,8	99,4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	89,7	63,6	79,7
Modelo Exponencial												
C0	666,6	446,2	517,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	154,9	0,0
A (Km)	605	1281	1281	1281	1281	352	341	122	733	730	145	156
C1	1748,0	2878,2	3058,6	4265,0	1213,7	36,7	14,4	6,4	321,5	1278,2	467,5	1392,7
Bias (%)	2,4	2,1	2,1	3,1	3,3	27,0	83,7	28,7	5,5	3,1	2,2	2,9
EMPA (%)	12,0*	11,9*	11,7*	15,0	19,0*	52,1	119,2	47,4	22,0*	14,7	10,3*	11,8*
GDE (%)	72,4	86,6	85,5	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	75,1	100,0
Modelo Gaussiano												
C0	1075,2	988,9	965,9	405,7	65,6	2,4	1,8	0,0	34,3	254,4	297,0	471,3
A (Km)	440	1161	1088	1281	1281	175	176	82	545	543	102	120
C1	1281,5	3639,5	4014,0	8162,5	2513,6	30,3	10,9	6,3	319,7	1043,7	294,2	847,5
Bias (%)	2,4	2,3	2,4	3,4	5,2	23,6	71,1	27,6	5,4	3,3	2,1	2,7
EMPA (%)	12,3	13,1	12,1	15,2	20,3	58,5	110,7*	47,1	22,7	14,3*	10,6	11,9
GDE (%)	54,4	78,6	80,6	95,3	97,5	92,6	86,0	99,9	90,3	80,4	49,8	64,3

* Em destaque o modelo com melhor desempenho. Fonte: Autores (2021).

A Tabela 4 permite constatar o melhor desempenho do modelo esférico nos meses de abril, junho e agosto (EMPA equivalente a 14%, 52% e 45%, respectivamente), a partir da observação dos menores erros nestes meses, o que corresponde a 20% das situações analisadas. O modelo exponencial apresentou melhor desempenho durante os meses de janeiro, fevereiro, março, junho, setembro, novembro e dezembro (EMPA variando entre 10% e 22%, considerando os melhores desempenhos). Nas demais situações analisadas, o modelo gaussiano apresentou EMPA variando entre 14% e 110%. Deve-se enfatizar que os maiores erros observados foram obtidos para os meses com menor precipitação pluvial, junho, julho e agosto para todos os modelos testados.

Na literatura os valores dos erros estão nos mesmos patamares. Alves et al. (2014) apresentaram valores do EMPA que variaram entre 11% a 187%, ao estudarem as precipitações prováveis para a bacia do Rio Formoso, também no Tocantins. Nota-se que os maiores valores também foram registrados para os meses de estiagem. Santos et al. (2011) obtiveram valores do EMPA entre 6,7% e 25,7% para a variabilidade da precipitação pluvial na bacia hidrográfica do rio João Leite-GO. Souza et al. (2019), na regionalização climática para o Tocantins, obtiveram valores do EMPA entre 4% e 58%.

Mello et al. (2007), ao analisarem a continuidade espacial da Erosividade das chuvas no estado de Minas Gerais, também observaram melhor desempenho do modelo exponencial. Mello & Viola (2013), em estudos sobre chuvas intensas, fazem também a recomendação pelo uso do modelo exponencial para propostas de mapeamento da variável hidrológica, devido ao bom desempenho observado. Barros et al. (2020) também obtiveram melhor desempenho do modelo exponencial utilizando a geoestatística como ferramenta para investigação da variabilidade da precipitação pluvial para o estado de Pernambuco.

Na Tabela 4 também podem ser observadas a variação no efeito pepita, que indica haver uma descontinuidade entre valores separados por distância menores que aquele utilizado no intervalo de amostragem. Prólo et al. (2021) afirmam que isso indica a aleatoriedade de um ponto para outro, sendo que, quanto menor seus valores, mais parecidos são os valores vizinhos.

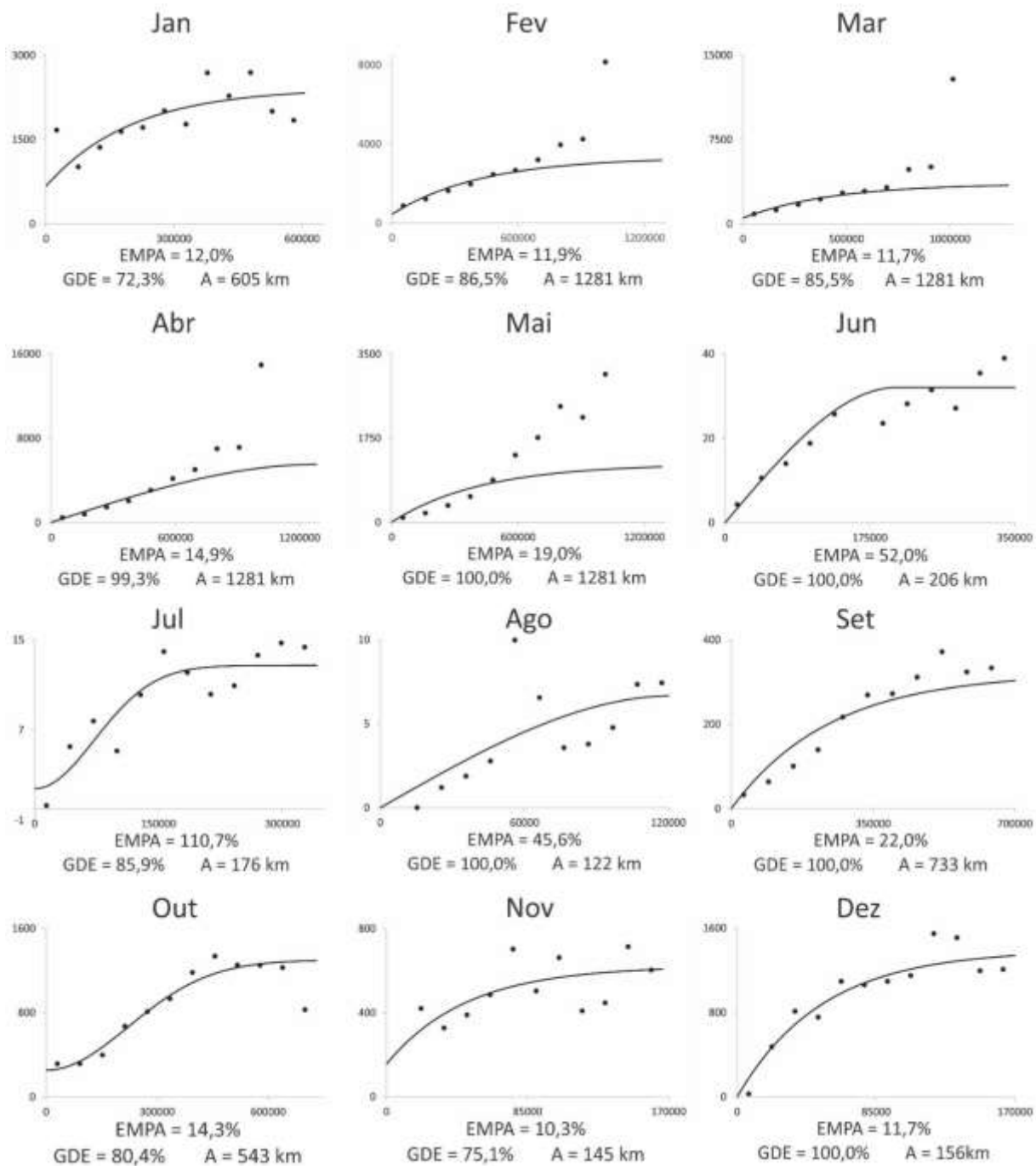
Outro parâmetro essencial para a análise geoestatística é a amplitude do semivariograma (alcance). Trata-se da distância a partir da qual as amostras passam a não apresentar correlação espacial, isto é, a partir da qual a variação média entre duas observações não é mais função da distância entre elas. Este parâmetro indica a homogeneidade das amostras. O alcance reflete a homogeneidade entre as amostras, quanto maior for o seu valor, mais homogêneo será o fenômeno ou processo estudado (Prólo et al., 2021). No presente estudo, o alcance variou entre 1281 km para os meses de março, abril e maio, com o modelo exponencial, e 82 km com o modelo gaussiano para o mês de agosto. O mês de novembro foi o que demonstrou o menor valor da amplitude semivariográfica para todos os modelos testados, variando entre 82 e 122 km. Silva Neto et al. (2020b) encontraram valores do alcance para o modelo de melhor desempenho variando entre 349 e 456 km. Barros et al. (2020) obtiveram valores entre 57 e 85 km. Silva et al. (2010) registraram o alcance variando entre 10 km, em outubro, e 177 km, em junho. Mello & Viola (2013) descreveram alcance variando de 100 a 450 km para as durações de 30, 360 e 720 min e de 300 a 550 km para a duração de 1.440 minutos. O grau de dependência espacial (GDE) determinado neste estudo para a interpolação da precipitação anual no Tocantins variou entre 75,3% (modelo gaussiano) e 91,1% (modelo exponencial – melhor desempenho para esta situação). Para a precipitação mensal, os valores obtidos para o grau de dependência espacial para os modelos com melhor desempenho variaram entre 72,4% e 100%.

Pode-se afirmar que, com a exceção do modelo exponencial para o mês de janeiro (72,4%), todos os demais valores são classificados como forte grau de dependência espacial, de acordo com Cambardella (1994). O GDE foi de 86,6% com modelo com melhor desempenho para o mês de fevereiro, 85,5% para o mês de março, 86% para o mês de julho, 80,4% para o mês de outubro, 75,1% para o mês de novembro e para todos os outros meses o GDE apresentou 100% de dependência espacial. Para o período seco, o GDE do modelo com melhor desempenho foi de 86,8%, enquanto para o período chuvoso foi de 79,9%.

A Figura 7 apresenta os semivariogramas teóricos ajustados aos modelos que apresentaram melhor desempenho na interpolação, com ênfase no EMPA, Bias e GDE.

Outros estudos enfatizam a importância do GDE na análise geoestatística na espacialização de dados de precipitação. Xavier Júnior et al. (2020) apresentaram este parâmetro sempre inferiores a 70% para precipitação no estado da Paraíba (fraco e moderado GDE), enquanto Silva et al. (2020), em estudos sobre distribuição espacial de índices climáticos para o estado da Bahia, obtiveram sempre forte grau de dependência espacial, variando entre 85% e 97%. Barni et al. (2020), em estudos realizados no estado de Roraima, extremo norte da Amazônia, também descreveram forte dependência espacial (DE) da variável aleatória modelada.

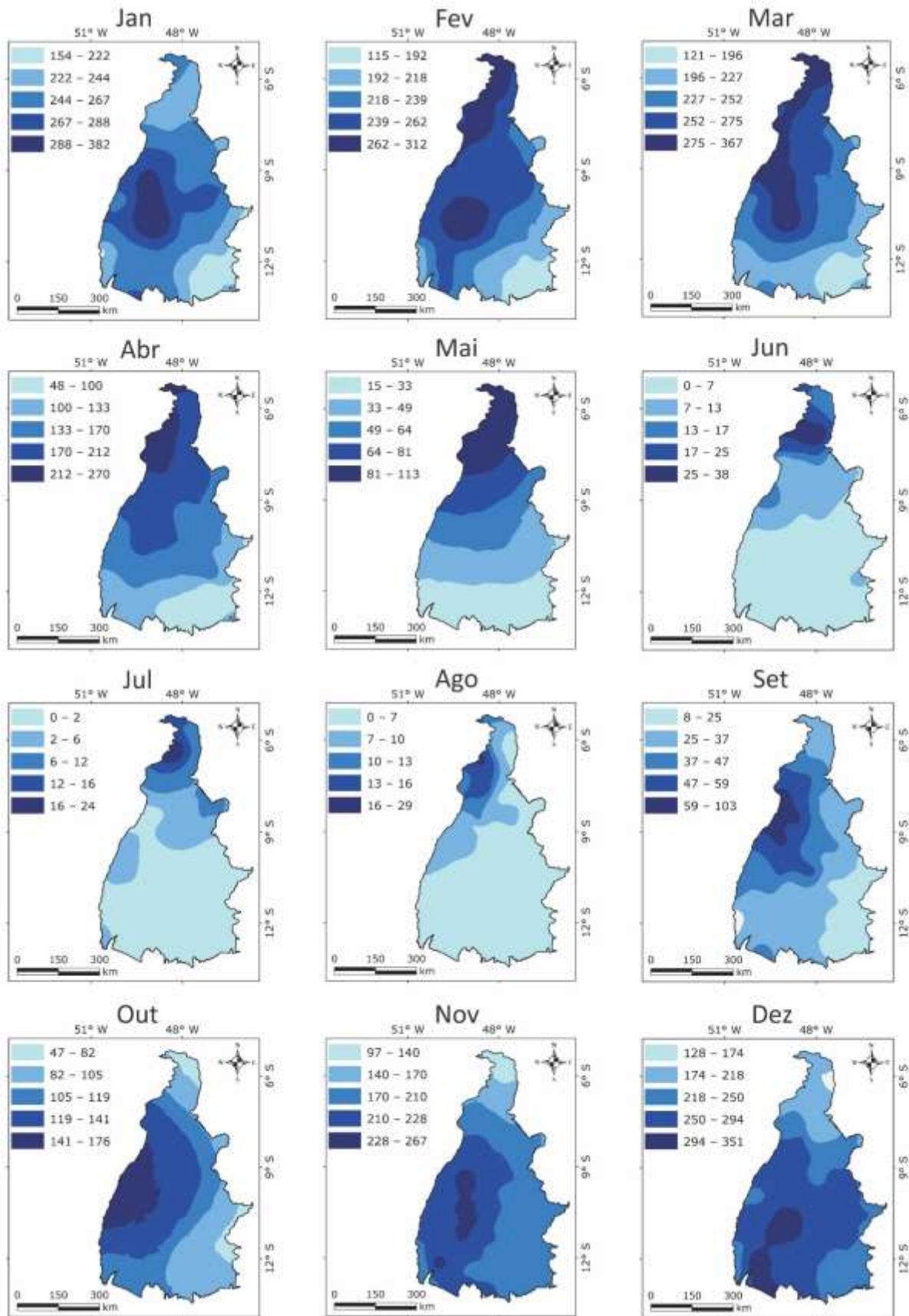
Figura 7 - Semivariogramas teóricos ajustados para o mapeamento da precipitação mensal no Tocantins.



Fonte: Autores (2021).

Com base na Figura 7, pode-se observar a adequabilidade das técnicas geoestatísticas na interpolação da precipitação mensal para o estado do Tocantins, a partir da análise do EMPA, Bias e GDE. Estes são parâmetros essenciais para recomendação ou não dos modelos de krigagem testados na interpolação desta variável, em que na maior parte das situações, constata-se boa aderência ao semivariograma teórico dos modelos que apresentaram melhor desempenho e que foram considerados para a realização do mapeamento da precipitação mensal para o Tocantins. A Figura 8 representa o mapeamento da precipitação mensal para o estado do Tocantins.

Figura 8 – Distribuição espacial da precipitação mensal em mm no estado do Tocantins.



Fonte: Autores (2021).

A Figura 8 permite observar que na maior parte das situações analisadas a região sudeste do Tocantins apresentou os menores valores de precipitação, enquanto no mês de dezembro podem ser observados até 250 mm de chuva nesta região, sendo este o mês em que as precipitações são mais expressivas. Durante o mês de julho, considerado o auge do período seco, a porção centro-sul tocaninense apresentou índices muito reduzidos, entre 0 e 2 mm.

Em contrapartida, considerando os meses mais chuvosos, de dezembro a março, a precipitação mensal variou entre 382 mm (janeiro) e 262 mm (fevereiro). A precipitação, nestes meses, concentra-se na porção centro-oeste do Tocantins, abrangendo o sudoeste tocaninense próximo à Ilha do Bananal durante o mês de dezembro e uma faixa na porção noroeste durante os meses de fevereiro e março. O mês de março também foi responsável pelas maiores lâminas de precipitação mensal acumulada na região do Bico do Papagaio, extremo norte do Tocantins, abrangendo também a porção noroeste onde se localiza o Parque Estadual do Cantão, com extensão até a porção centro-oeste do estado. Os meses entre junho e agosto são o período crítico de estiagem no Tocantins, quando a precipitação no período apresentou variação de 0 a 7 mm.

Os resultados corroboram com os estudos de TOCANTINS (2020), em que está descrito que

no mês de janeiro observa-se uma maior uniformidade na distribuição espacial da chuva, pois este é um mês em que o maior número de sistemas meteorológicos atua sobre Tocantins. Apesar das diversas origens, tais sistemas provocam acumulados de chuva quase iguais em todo o território. A uniformidade, agora de baixa precipitação mensal, observada no mês de julho, está relacionada com o baixíssimo número de sistemas meteorológicos de macro e mesoescala atuantes no Estado neste mês, destacando-se a atuação da mTa estável (Tocantins, 2020, p. 59).

É importante destacar que no período chuvoso há um ritmo mais oscilante entre os diferentes sistemas atmosféricos geradores de chuva no estado. Esse fato é potencializado pela posição de transição do Tocantins, entre diferenças massas de ar (mTa, mEa mEc e sistemas perturbados vindos de sul, como a frente polar atlântica). No período seco, o ritmo é mais monótono ou repetitivo, com longas atuações da mTa e da mEa em situação de estabilidade (Souza, 2016).

Estes dados também corroboram os estudos sobre a distribuição espacial da precipitação na região do MATOPIBA¹, realizados por Reis et al. (2020). Os autores afirmam que “os maiores volumes de chuvas apresentam na faixa oeste da região, abrangendo parte do estado do Tocantins, onde os volumes médios ultrapassam valores de 150 mm”. (Reis et al., 2020, p. 1429). Enfatiza-se que os maiores valores de precipitação acumulada na porção ocidental do estado do Tocantins é consequência direta da mEc, cujas características estimula a produção de chuva, como umidade e temperatura do ar mais elevadas. Além disso, a topografia também é um fator que influencia a umidade de origem amazônica, retendo-a a oeste da Serra do Estrondo e à oeste da Serra do Lajeado que, ainda com altitudes pouco acentuadas, dificultam o avanço da corrente de oeste da mEc (TOCANTINS, 2020).

4. Conclusão

O modelo exponencial apresentou o melhor desempenho na maior parte das situações analisadas, constatando-se a adequabilidade das técnicas geoestatísticas na interpolação da precipitação mensal para o estado do Tocantins.

A região sudeste do Tocantins apresentou os menores valores de precipitação, enquanto no mês de dezembro os maiores. Durante o mês de julho, considerado o auge do período seco, a porção centro-sul tocaninense apresentou índices muito reduzidos, entre 0 e 2 mm, enquanto nos meses mais chuvosos, de dezembro a março, a precipitação mensal variou entre 382 mm (janeiro) e 262 mm (fevereiro). Os meses entre julho e setembro são o período crítico de estiagem no Tocantins, quando a

¹ MATOPIBA é uma região formada por áreas majoritariamente de cerrado nos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, para onde a agricultura se expandiu a partir da segunda metade dos anos 1980. Produz de tubérculos a frutas, passando pela pecuária, mas se destaca mesmo é no cultivo de grãos e fibras, especialmente soja, milho e algodão (EMBRAPA, 2021).

precipitação no período apresentou variação de 0 a 25 mm.

O presente estudo apresenta potencial para ser utilizado como subsídio ao planejamento e gestão de recursos hídricos para o Estado do Tocantins, bem como para o planejamento da produção agrícola. Para estudos futuros, recomenda-se avaliar o desempenho de outros tipos de interpoladores como os de natureza determinística, ampliando assim o conhecimento sobre técnicas de mapeamento da precipitação no estado, relacionando-as profundamente com o tipo de culturas agrícolas praticadas no Tocantins, relacionando-as com os diferentes tipos de agricultura e seus respectivos manejos, praticados com finalidade comercial ou de autossustento no Tocantins.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Tocantins, pelo apoio à realização deste estudo por meio do Edital nº 17/REI/IFTO, de 12 de março de 2020.

Referências

- Alves, K. C. C. d. L. F., Viola, M. R., Mello, C. R. d., Giongo, M., & Santos, A. F. d. (2016). Distribuição da precipitação mensal, anual e máxima diária anual na bacia hidrográfica do rio Formoso, Tocantins. *Ambiência*, 12(1), 49-70.
- ANA. Agência Nacional das Águas. (2019). Hidroweb. Sistema de informações hidrológicas. <http://hidroweb.ana.gov.br>
- Andrade, A. R. S., Godoy Neto, A. H., Cruz, A. F. d. S., Andrade, E. K. P., Santos, V. F. d., & Silva, T. N. P. d. (2018). Geoestatística aplicada à variabilidade espacial e padrões nas séries temporais da precipitação no agreste pernambucano. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 3(1), 126-145.
- ASF DAAC, ALOS. (2020). Conjunto de dados: PALSAR_Radiometric_Terrain_Corrected_low_res; Includes Material © JAXA/METI 2007. doi.org/10.5067/JPYK3J6HFSVF.
- Baptista, G. C. Z., & Severo, D. L. (2018). Variabilidade espacial e temporal da precipitação de Santa Catarina. *Geosul*, 33(68), 184-200.
- Barni, P. E., Barbosa, R. I., Xaud, H. A. M., Xaud, M. R., & Fearnside, P. M. (2020). Precipitação no extremo norte da Amazônia: distribuição espacial no estado de Roraima, Brasil. *Embrapa Roraima-Artigo em periódico indexado (ALICE)*.
- Barros, T. H. d. S., Bender, F. D., Silva, F. R. B., José, J. V., Costa, J. O., & Coelho, R. D. (2020). Geoestatística como ferramenta para estudos da variabilidade da precipitação pluviométrica no estado de Pernambuco, Brasil. *Agrarian*, 13(50), 513-520.
- Cambardella, C., Moorman, T., Parkin, T., Karlen, D., Novak, J., Turco, R., & Konopka, A. (1994). Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58(5), 1501-1511.
- Ely, D., & Dubreuil, V. (2017). Análise das tendências espaço-temporais das precipitações anuais para o estado do Paraná-Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 21(Jul/Dez 2017), 553-569.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2021). *Matopiba*. <https://www.embrapa.br/tema-matopiba>. Acesso em: 15 março 2021.
- ESRI - Environmental Systems Research Institute. ArcGIS 9: Getting started with ArcGIS. (2004). *Redlands*, 265
- Gomes, O. M. (2011). Análise geoestatística da precipitação pluvial no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 4(1), 92-702.
- IBGE. (2004). Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. *Biomias do Brasil*.
- Liew, M. W., Veith, T. L., Bosch, D. D., & Arnold, J. G. (2007). Suitability of SWAT for the conservation effects assessment project: Comparison on USDA agricultural research service watersheds. *Journal of Hydrologic Engineering*, 12(2), 173-189.
- Marcuzzo, F. F. N., & Goularte, E. R. P. (2013). Caracterização do Ano Hidrológico e Mapeamento Espacial das Chuvas nos Períodos Úmido e Seco do Estado do Tocantins. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 6(01), 91-99.
- Mello, C. R., Viola, M. R., Curi, N., & Silva, A. d. (2012). Distribuição espacial da precipitação e da erosividade da chuva mensal e anual no estado do Espírito Santo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa*, 36(6), 1878-1891.
- Mello, C. R., Sá, M. A. C., Curi, N., Mello, J. M., Viola, M. R., & da Silva, A. M. (2007). Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. *Pesq. agropec. bras., Brasília*, 42(4), 537-545.
- Mello, C. R., & Viola, M. R. (2013). Mapeamento de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37, 37-44.
- Mello, C. R., Viola, M. R., Mello, J. M. d., & Silva, A. M. d. (2008). Continuidade espacial de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, 32, 532-539.

- Oliveira, W. P., Silva, M. A. V., Souza, S. A., Santana, C. C., & Oliveira Junior, A. d. R. (2017). Caracterização da variabilidade espacial e temporal da precipitação pluviométrica do Centro Sul Baiano. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10(4), 1143-1151.
- Penereiro, J. C., Martins, L., & Beretta, V. (2015). Identificação de tendências sazonais dos regimes climático e hidrológico na bacia hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia, Brasil. *Revista Geográfica Acadêmica*, 9(1), 52-72.
- Penereiro, J. C., Martins, L. L. S., & Beretta, V. Z. (2016). Variabilidades e tendências interanuais em medidas hidro-climáticas na região hidrográfica do Tocantins-Araguaia, Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 18, 219-241.
- Pinto, P. H. P., Souza, L. B. e., Zavattini, J. A., & Crhistofoletti, A. L. H. (2017). O regime pluviométrico do estado do Tocantins, Brasil, no período de 1986-2005: variações espaciais. *Interface*, 1(13), 62-77.
- Prólo, T. T., Silva Neto, V. L., Carmo, E. L. d., Silveira Junior, O., & Silva, L. L. d. (2021). Chuvas intensas na bacia do rio Manuel Alves da Natividade, Tocantins, Brasil. *Research, Society and Development*, 10(2), 1-24. 10.33448/rsd-v10i2.12673
- Reis, L. C., Silva, C. M. S., Bezerra, B. G., & Spyrides, M. H. C. (2020). Caracterização da variabilidade da precipitação no MATOPIBA, região produtora de soja. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(04), 1425-1441.
- Santos, E. H. M. d., Griebeler, N. P., & oliveira, L. F. C. d. (2011). Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite-GO. *Engenharia Agrícola*, 31, 78-89.
- Santos, S. R. Q. d., Braga, C. C., Campos, T. L. d. O. B., Brito, J. I. B. d., & Santos, A. P. P. d. (2014). Variabilidade da Precipitação no Estado do Pará por meio de Análise em Componentes Principais. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 7(3), 615-627.
- Silva, M. A., Silva, M. L. N., Curi, N., Santos, G. R., Marques, J. J. G. S. e. M., Menezes, M. D., & Leite, F. P. (2010). Avaliação e espacialização da erosividade da chuva no Vale do Rio Doce, Região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa*, 34(4), 1029-1039.
- Silva, N. D., Oliveira, A. S., & Souza, J. S. (2020). Análise espacial de índices climáticos no estado Bahia, Brasil. *Revista Geama*, 6(2), 34-42.
- Silva Neto, V. L., Viola, M. R., Mello, C. R., Silva, D. D., & Giongo, M. (2020a). Precipitação Máxima Provável no Tocantins: Primeira aproximação pelo método estatístico de Hershfield. *Revista Brasileira de Climatologia*, 27, 660-769.
- Silva Neto, V. L., Viola, M. R., Mello, C. R., Silva, D. D., Giongo, M., & Pereira, S. B. (2020b). Mapeamento de Chuvas Intensas para o Estado do Tocantins. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 35(1), 1-11.
- Souza, F. H. M., Viola, M. R., Avanzi, J. C., Giongo, M., & Filho, M. V. (2019). Thornthwaite's Climate Regionalization for the State of Tocantins, Brazil. *FLORESTA*, 49(4), 10. doi: 10.5380/rf.v49i4.59188
- Souza, L. B. (2016). variabilidade e suscetibilidade climática: implicações ecossistêmicas e sociais. In *Anais, Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica*, (pp. 2266-2277). Goiânia-GO.
- Tocantins. (2020). Secretaria da Fazenda e Planejamento. Superintendência de Planejamento Governamental. Diretoria de Gestão de Informações Territoriais e Socioeconômicas. Gerência de Zoneamento Territorial. Palmas: SEFAZ/GZT. *Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável. Elaboração das Cartas Climáticas do Estado do Tocantins*, (1). 464 p., Ilust.
- Tocantins. (2012). Secretária de Planejamento. Atlas do Tocantins: Subsídios ao Planejamento da Gestão Territorial. Superintendência de Planejamento e Gestão central de Políticas Públicas. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico - DZE. Organizado por. Borges, R. S. T.; Dias, R. R.; Sousa, P. A. B. (orgs). Seplan, p.80.
- Viola, M. R., Avanzi, J. C., Mello, C. R. d., Lima, S. d. O., & Alves, M. V. G. (2014). Distribuição e potencial erosivo das chuvas no Estado do Tocantins. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49, 125-135.
- Viola, M. R., Mello, C. d., Pinto, D. B., Mello, J. d., & Ávila, L. F. (2010). Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14(9), 970-978.
- Xavier Júnior, S. F. A., Jale, J. d. S., Stosic, T., Santos, C. A. C. d., & Singh, V. P. (2020). Precipitation trends analysis by Mann-Kendall test: a case study of Paraíba, Brazil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 35(2), 187-196.