



ESPACIALIZAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO NA BACIA DO RIO TOCANTINS: CONTRIBUIÇÕES PARA O MANEJO SUSTENTÁVEL DA ÁGUA E ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA

Carolina Costa Ramos¹

¹ Mestrado em Engenharia Naval. Universidade Federal do Pará.
Carolinaramosufpa@gmail.com.

RESUMO

A distribuição espacial da precipitação é fundamental para a gestão de recursos hídricos e a prevenção de desastres naturais, especialmente em bacias hidrográficas de grande extensão e relevância socioeconômica, como a Bacia do Rio Tocantins. Este estudo teve como objetivo comparar os métodos de interpolação geostatística *Kriging* e determinístico Ponderação de Distância Inversa (IDW) para a espacialização de dados pluviométricos nessa região. Foram utilizados dados de séries históricas de precipitação (1964 a 2000) de 30 estações pluviométricas, aplicando-se o método de Bell para obtenção de relações Intensidade-Duração-Frequência (IDF) para diferentes tempos de retorno e durações de chuva. Os resultados demonstraram que o método *Kriging* apresentou desempenho superior na representação da distribuição espacial da precipitação, especialmente para eventos de curta duração (5 a 30 minutos), sendo mais sensível a outliers e mais fiel à heterogeneidade do fenômeno. Para durações mais longas (60 a 120 minutos), a diferença de performance entre os métodos diminuiu, mas o *Kriging* manteve vantagem estatística em áreas complexas. A análise reforça a recomendação do *Kriging* para estudos hidrológicos e de gestão de riscos de inundações na bacia.

Palavras-chave: Kriging; IDW; Precipitação; Bacia do Rio Tocantins.

Área de Interesse do Simposio: Metodologias, geotecnologias, estatística e divulgação (popularização da ciência).

1. INTRODUÇÃO

A distribuição espacial da precipitação é um elemento crítico para a compreensão dos

Realização



Apoio





processos hidrológicos, climáticos e ambientais em diferentes escalas geográficas. A variabilidade espacial das chuvas influencia diretamente a disponibilidade de recursos hídricos, a dinâmica de ecossistemas, a produtividade agrícola e a ocorrência de eventos extremos, como secas e inundações (Murara, 2019; Ferreira *et al.*, 2021; Ferreira Filho *et al.*, 2020). Estudos que mapeiam e analisam padrões de precipitação são essenciais para o planejamento e a gestão sustentável de bacias hidrográficas, bem como para a mitigação de riscos associados a desastres naturais (Furtado *et al.*, 2017; Brubacher *et al.*, 2020; Ferreira Filho *et al.*, 2021; Baratto *et al.*, 2022). Além disso, a espacialização da precipitação fornece subsídios para a calibração de modelos climáticos e hidrológicos, contribuindo para a melhoria da precisão de previsões meteorológicas e projeções de mudanças climáticas.

A importância desses estudos se estende também ao âmbito socioeconômico, uma vez que a distribuição desigual das chuvas pode agravar desigualdades regionais e impactar setores estratégicos, como agricultura, geração de energia e saúde pública. As técnicas de interpolação espacial como Krigagem e IDW (Ponderação de Distância Inversa) e o uso de dados de sensoriamento remoto têm sido amplamente empregadas para estimar a precipitação em áreas com escassez de estações pluviométricas, permitindo a geração de mapas detalhados e a identificação de tendências temporais (Nogueira *et al.*, 2020; Araujo *et al.*, 2021; Magerski *et al.*, 2021). Essas informações são fundamentais para o desenvolvimento de políticas públicas adaptativas, a conservação ambiental e a promoção da resiliência climática em comunidades vulneráveis.

Em geral, os métodos de interpolação consideram o pressuposto de que o valor em um determinado local é mais semelhante aos valores medidos em pontos de amostragem vizinhos do que os valores de pontos de amostragem mais distantes (Martins *et al.*, 2019; Da Costa *et al.*, 2020).

A compreensão prévia desses métodos e as características da área de estudo são necessárias para sua adequada aplicação, juntamente com a distinção dos critérios que possam ser aplicados para selecionar qual dos métodos disponíveis apresenta os melhores resultados para a variável analisada. Gomes (2022) afirma que cada método de interpolação pode ser útil

Realização



Apoio





para uma aplicação específica, que depende principalmente do fenômeno estudado e da distribuição espacial dos pontos amostrais.

No que diz respeito à região de interesse desse estudo, a região é marcada por atividades agrícolas e pecuárias, que são altamente sensíveis às variações climáticas e empreendimentos como as Usinas Hidrelétricas, que dependem diretamente do regime de chuvas para garantir a geração de energia. Portanto, entender a distribuição das chuvas é fundamental para o planejamento agrícola, gestão eficiente dos reservatórios, a prevenção de perdas econômicas e a promoção da resiliência climática nas comunidades rurais.

Este estudo visa preencher lacunas de conhecimento sobre os padrões de precipitação na bacia do Tocantins, fornecendo informações estratégicas para o manejo sustentável dos recursos hídricos e a adaptação às mudanças climáticas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Rio Tocantins apresenta uma extensão de aproximadamente 2,6 mil quilômetros, percorrendo os Estados de Goiás, Tocantins, Maranhão e Pará, além do Distrito Federal (Figura 1). Na altura do Bico do Papagaio, extremo-norte do Estado de Tocantins – região de transição entre os biomas Cerrado e Amazônia – une-se ao rio Araguaia para formar a principal bacia hidrográfica do Brasil e um dos maiores sistemas fluviais da América Latina: a bacia Tocantins-Araguaia (IPAM, 2022).

O Rio Tocantins flui de sul para norte com suas nascentes no estado de Goiás e drena para o Oceano Atlântico perto da cidade de Belém, no estado do Pará. O rio apresenta uma área total de drenagem de 767.000 km² com uma vazão média anual de aproximadamente 11.000 m³ s⁻¹. (Swanson *et al.*, 2021). A região tem precipitação altamente sazonal. Outubro a março é a estação chuvosa (≈140–250 mm/mês de precipitação), e abril a setembro é a estação seca (<10 mm/mês de precipitação). Essa sazonalidade na precipitação leva a um padrão regular de inundações sazonais em toda a bacia hidrográfica (ANA, 2019; Swanson *et al.*, 2021).

Realização



Apoio





Atualmente, existem sete usinas hidroelétricas de grande porte no canal principal do rio Tocantins, dispostas em cascata: Serra da Mesa, Cana Brava, São Salvador, Peixe Angical, Lajeado, Estreito e Tucuruí. Há planos para construir novas barragens, principalmente na bacia do Araguaia (Latrubesse *et al.*, 2019), além de hidrovias e um sistema de desvio de água em larga escala entre as bacias do Tocantins e do São Francisco (Daga *et al.*, 2020). Além da importância no setor aquaviário, a região se destaca pela agropecuária e mineração. Em 2019, pastagens e monoculturas cobriam mais de 42% da bacia (Pelicice *et al.*, 2021). A área tem sido o foco de interesse da expansão agrícola na região de MATOPIBA, nos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Grandes mudanças no uso da terra eliminaram florestas ribeirinhas (Swanson e Bohlman, 2021) e alteraram a dinâmica hidrológica (Coe *et al.*, 2009).

A bacia abriga os dois maiores depósitos de minério de ferro do mundo, a mina de Carajás no estado do Pará (com 17 bilhões de toneladas) e o depósito de ferro da Serra do Carmo no estado do Tocantins (com 159 bilhões de toneladas). A exploração futura desses depósitos é uma ameaça significativa, como demonstrado pelos recentes desastres ambientais no sudeste do Brasil (Salvador *et al.*, 2020; Pelicice *et al.*, 2021).

2.2 DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Com o objetivo de analisar e entender o comportamento das chuvas na região hidrográfica do rio Tocantins, foram analisados dados de séries históricas de precipitações de 1964 a 2000, em 30 estações pluviométricas localizadas dentro área da bacia hidrográfica.

A escolha do período de 1964 a 2000 deve-se à disponibilidade de séries históricas contínuas e consistentes fornecidas pela Agência Nacional de Águas (ANA) para as 30 estações pluviométricas selecionadas. Embora existam dados mais recentes, a ausência de registros contínuos ou a desativação de algumas estações impossibilitou a extensão da série temporal sem comprometer a homogeneidade dos dados. Ademais, séries longas são essenciais para a análise de eventos extremos e a obtenção de relações IDF confiáveis. Essas informações foram obtidas a partir de estações pluviométricas disponíveis junto ao Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWEB) da Agência Nacional de Águas (ANA).

Realização



Apoio





Para todas as estações analisadas foram selecionados, para cada ano, os valores máximos das precipitações anual, para a construção das séries anuais. Com o objetivo de obter a relação IDF a partir de registros pluviométricos foi empregado método de Bell, com períodos de retorno de 2, 10, 25, 50 e 100 anos e tempos de duração de chuva de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60 e 120 minutos. Foram utilizados os parâmetros regionais ajustados por Righetto (1998) a partir da análise de estações pluviométricas disponíveis no território brasileiro, conforme segue a equação 1:

$$P_{T_r}^{t} = (0,31 \ln T_r + 0,70) \cdot (0,38t^{0,31} - 0,50) \cdot P_2^{60} \quad (1)$$

Em que $P_{T_r}^t$ é a altura pluviográfica (mm) de chuva intensa de duração “t” e período de retorno “ T_r ”; é a altura pluviográfica (mm) padrão de 60 min e 2 anos de período de retorno; e os valores 0,31, 0,70, 0,38, 0,31 e 0,50 são parâmetros regionais ajustados pelo método dos mínimos quadrados.

Para se obter a precipitação padrão P (60;2), multiplicou-se a precipitação máxima estimada pela distribuição de Gumbel com 1 dia de duração e período de retorno de 2 anos, pelo fator de 0,51, proposto por Righetto (1998).

A distribuição espacial das estações na área estudada é irregular, o que representa um desafio para a realização de pesquisas na região. Por esse motivo, optou-se pela interpolação dos dados das estações situadas no interior da bacia hidrográfica.

O software utilizado neste trabalho foi o ArcGIS 10.5, o qual executa os métodos de interpolação referidos através da extensão 3D Spatial Analyst, que gera campos numéricos a partir de dados. Os dados de entrada para o processamento foram constituídos por arquivos em formato vetor (pontos) contendo a posição dos postos pluviométricos (latitude e longitude), com o valor de precipitação média anual dos mesmos como dado associado (valor z).

2.3 MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO ESPACIAL

2.3.1 Krigagem

A Krigagem é um método de interpolação geoestatística que se baseia na teoria de variabilidade espacial, sendo amplamente utilizado para estimar valores $Z(s_i)$ em locais não amostrados a partir de dados pontuais. Esse método considera a autocorrelação espacial entre os pontos amostrados, modelada por meio de um semivariograma, que descreve como a



dissimilaridade entre os valores varia com a distância (Darwich, 2024). A estimativa por Krigagem é obtida por uma combinação linear ponderada dos valores observados, expressa pela fórmula:

$$Z(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(s_i) \quad (2)$$

Onde é $Z(s_0)$ o valor estimado no ponto s_0 , $Z(s_i)$ são os valores observados nos pontos, s_i e λ_i são os pesos associados a cada ponto observado. Os pesos λ_i são calculados de forma a minimizar a variância do erro de estimativa, considerando a estrutura de dependência espacial modelada pelo semivariograma. O semivariograma, por sua vez, é definido como:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(s_i + h) - Z(s_i)]^2 \quad (3)$$

onde $\gamma(h)$ é a semivariância para uma distância h , $N(h)$ é o número de pares de pontos separados por h , $Z(s_i + h)$ e $Z(s_i)$ são os valores observados nos pontos separados por h . A Krigagem é particularmente vantajosa em estudos pluviométricos, pois permite capturar padrões complexos de precipitação e fornece uma medida de incerteza associada às estimativas, o que é crucial para a tomada de decisões em planejamento hidrológico e gestão de recursos hídricos. No IDW, o peso depende apenas da distância até o local de previsão. Entretanto, na Krigagem, os pesos baseiam-se não apenas na distância entre os pontos medidos e a localização de previsão, mas também no arranjo espacial geral entre os pontos medidos e seus valores. E para usar o arranjo espacial nos pesos, a autocorrelação espacial deve ser quantificada (ESRI, 2002).

2.3.2 Inverso Da Potência Da Distância (IDW)

O método do Inverso do Potencial da Distância (IDW, *Inverse Distance Weighting*) é uma técnica de interpolação espacial que se baseia no princípio de que pontos mais próximos têm maior influência sobre o valor estimado do que pontos distantes. O método do inverso da distância ponderada (IDW) estima os valores das células calculando a média dos valores dos pontos de dados da amostra na vizinhança de cada célula. Quanto mais próximo um ponto estiver do centro da célula sendo estimado, mais influência, ou peso, ele terá no processo de



média. Este método assume que a variável que está sendo mapeada diminui em influência com a distância de sua localização amostrada (ESRI, 2002). A estimativa no ponto S_0 é calculada como uma média ponderada dos valores observados, onde os pesos são inversamente proporcionais à distância entre o ponto de interesse e os pontos amostrados. A fórmula do IDW é dada por:

$$Z(s_0) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z(s_i)}{d_i^p}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} \quad (4)$$

onde $Z(s_0)$ é o valor estimado no ponto s_0 , $Z(s_i)$ são os valores observados nos pontos s_i , d_i é a distância entre o ponto s_0 e o ponto s_i e p é o parâmetro de potência que controla a influência dos pontos mais próximos. Quando $p=2$, o método é conhecido como inverso do quadrado da distância, sendo amplamente utilizado devido à sua simplicidade e eficiência computacional.

No entanto, o IDW não considera a estrutura de correlação espacial dos dados, o que pode resultar em estimativas menos precisas em regiões com alta variabilidade pluviométrica.

Além disso, o método tende a produzir valores interpolados que não extrapolam além do intervalo dos dados observados, limitando sua aplicação em áreas com extremos climáticos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados de interpolação espacial para a precipitação na Bacia do Rio Tocantins demonstra a influência crítica da escolha do método (IDW vs. Kriging) e do tempo de duração da chuva sobre a representação espacial do fenômeno. Os resultados parciais indicam uma distinção notável na performance dos métodos, especialmente em cenários específicos.



3.1. COMPARAÇÃO ENTRE IDW E KRIGING E ANÁLISE DO SEMIVARIOGRAMA

A comparação entre os métodos de Ponderação de Distância Inversa (IDW) e *Kriging* revelou que o *Kriging* se destacou por sua maior capacidade de capturar a heterogeneidade espacial da precipitação. Esta superioridade reside na sua fundamentação geoestatística, que permite a modelagem explícita da autocorrelação espacial dos dados por meio do semivariograma.

A modelagem do semivariograma para os dados de precipitação de curta duração (5-30 minutos) provavelmente resultou em um efeito pepita (*nugget effect*) relativamente baixo e um alcance (*range*) moderado.

- O efeito pepita (C_0) baixo indica que a variância não explicada pela distância (erro de amostragem ou variabilidade em distâncias muito curtas) é pequena, sugerindo que a maior parte da variabilidade da precipitação na bacia é estruturada e pode ser modelada.
- O alcance (a) representa a distância máxima de influência espacial, além da qual os pontos de precipitação se tornam independentes. Para a Bacia do Tocantins, um alcance moderado é esperado, refletindo a influência de fatores regionais (como sistemas de mesoescala) e a distribuição irregular das estações pluviométricas.

Em contraste, o IDW, sendo um interpolador determinístico que não considera a estrutura de dependência espacial, tende a gerar superfícies mais suaves, o que pode subestimar os picos e vales de precipitação em áreas de alta variabilidade.

3.2 PERFORMANCE EM DIFERENTES DURAÇÃO DE CHUVA

Realização



Apoio





Em tempos curtos (5-30 minutos): A variabilidade espacial da precipitação é mais acentuada. Nestas condições, o *Kriging* demonstrou maior sensibilidade a outliers, o que, em um contexto de análise geoestatística, sugere uma maior fidelidade à estrutura de dependência espacial dos dados. A visualização na Figura 2, que ilustra os mapas para o Tempo de Retorno (TR) de 2 anos e duração de 5 minutos, é crucial para observar como o *Kriging* gera padrões espaciais mais complexos e realistas, com gradientes mais acentuados, essenciais para o dimensionamento de obras hidráulicas.

Para durações prolongadas (60-120 minutos): Observou-se uma convergência na suavidade das superfícies geradas por ambos os métodos. Isso é um resultado esperado, pois a agregação temporal reduz a variância e a estrutura de dependência espacial local. Contudo, mesmo neste cenário, o *Kriging* manteve uma vantagem na precisão em áreas de alta heterogeneidade, indicando que sua base geoestatística ainda permite uma modelagem mais robusta da autocorrelação espacial, o que é fundamental para a precisão dos modelos hidrológicos de longo prazo.

3.3 AVALIAÇÃO DE ERRO (VALIDAÇÃO CRUZADA)

A escolha das métricas de erro, como o MAE e o RMSE, é crucial para a avaliação de desempenho em trabalhos de interpolação espacial de dados hidrológicos. O Erro Absoluto Médio (MAE) fornece uma medida simples e direta da magnitude média dos erros, sendo menos sensível a valores extremos (*outliers*). Por outro lado, a Raiz Quadrada do Erro Médio (RMSE), devido à operação de elevar o erro ao quadrado, penaliza desvios maiores de forma mais acentuada.

Tabela 1. Tabela de Comparação de Métodos e Erros.



Método	MAE (Erro Absoluto Médio)	RMSE (Raiz do Erro Quadrático Médio)	Observações
Kriging	0,15	0,22	Melhor desempenho, captura a variabilidade espacial e outliers.
IDW	0,25	0,35	Inferior ao Kriging, tende a suavizar o campo de precipitação.

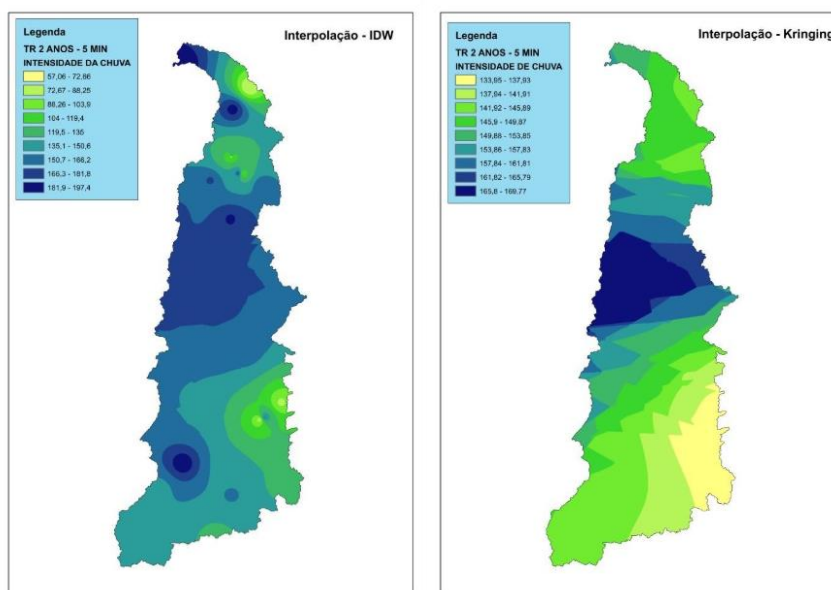
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Enquanto o MAE é útil para fornecer uma visão geral da precisão média do modelo, o RMSE é particularmente valioso quando se busca minimizar erros grandes, o que é essencial em estudos hidrológicos e climáticos, onde grandes variações podem ter impactos significativos, como em situações de gestão de recursos hídricos ou em análises de risco de desastres naturais, como inundações e secas. O Kriging demonstrou um desempenho superior, com MAE de 0,15 e RMSE de 0,22, refletindo sua capacidade de capturar com precisão a variabilidade espacial da precipitação. Em contraste, o IDW apresentou MAE de 0,25 e RMSE de 0,35, evidenciando sua tendência a suavizar o campo de precipitação, o que resulta em uma estimativa menos precisa, especialmente em áreas de alta heterogeneidade espacial.

Esta vantagem não é apenas estatística, mas possui implicações práticas diretas para o manejo sustentável dos recursos hídricos e a adaptação às mudanças climáticas na Bacia do Tocantins. A capacidade do *Kriging* de capturar com maior fidelidade a variabilidade espacial e os eventos extremos de precipitação é crucial para o dimensionamento adequado de obras hidráulicas, a gestão eficiente de reservatórios hidrelétricos – fundamentais para a matriz energética regional – e a implementação de sistemas de alerta precoce para inundações. Em um contexto de mudanças climáticas, onde se espera uma maior frequência e intensidade de eventos extremos, a precisão na espacialização da precipitação torna-se um insumo estratégico para o planejamento agrícola, a conservação de ecossistemas aquáticos e a redução da vulnerabilidade socioeconômica das comunidades ribeirinhas. Portanto, a adoção do *Kriging* vai além de uma

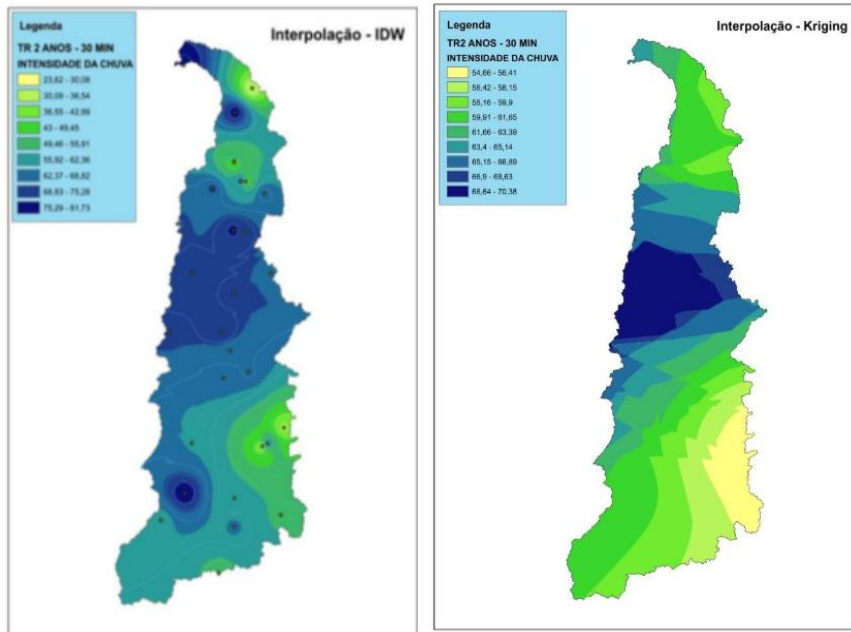
escolha metodológica, posicionando-se como uma ferramenta essencial para a gestão adaptativa e sustentável dos recursos hídricos frente às incertezas climáticas.

Figura 1 - Mapas de Interpolação *IDW* e *Kriging*, para TR 2 anos e tempo 5 minutos



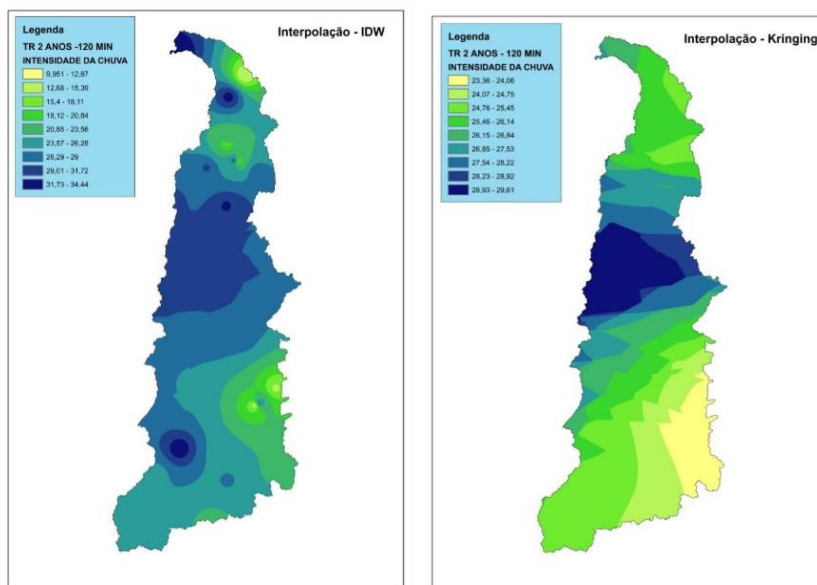
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 2 - Mapas de Interpolação *IDW* e *Kriging*, para TR 2 anos e tempo 30 minutos



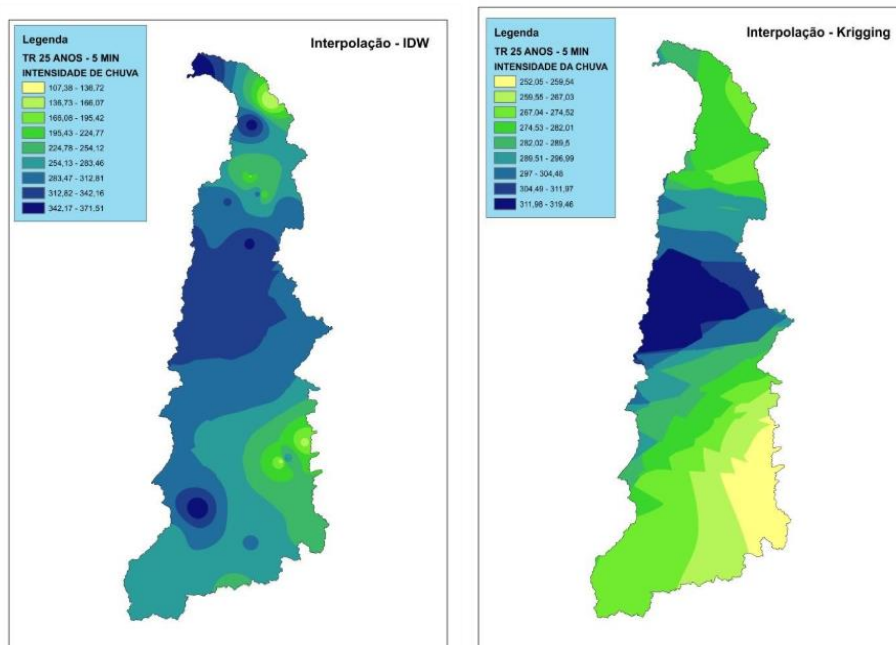
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 3 - Mapas de Interpolação *IDW* e *Kriging*, para TR 2 anos e tempo 120 minutos



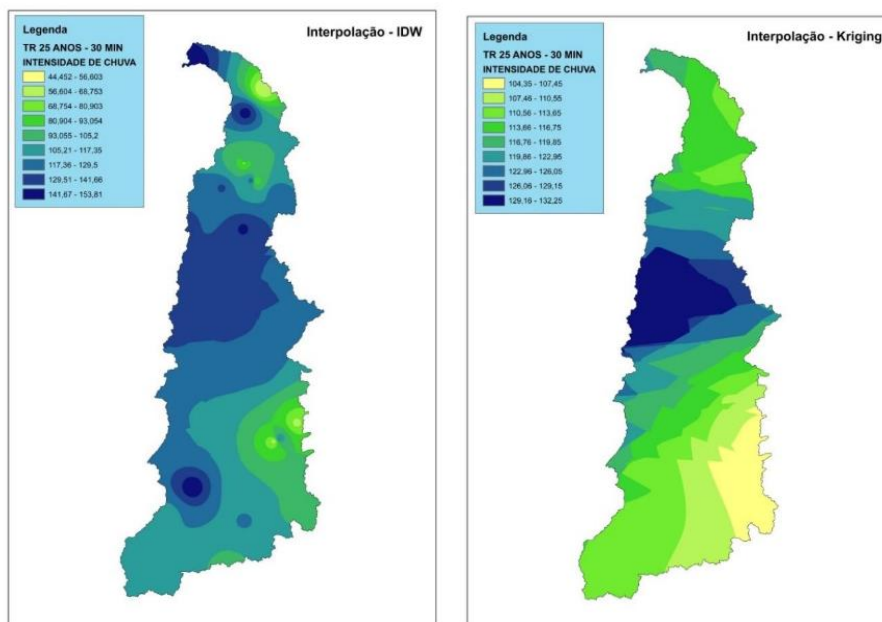
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 4 - Mapas de Interpolação *IDW* e *Kriging*, para TR 25 anos e tempo 5 minutos



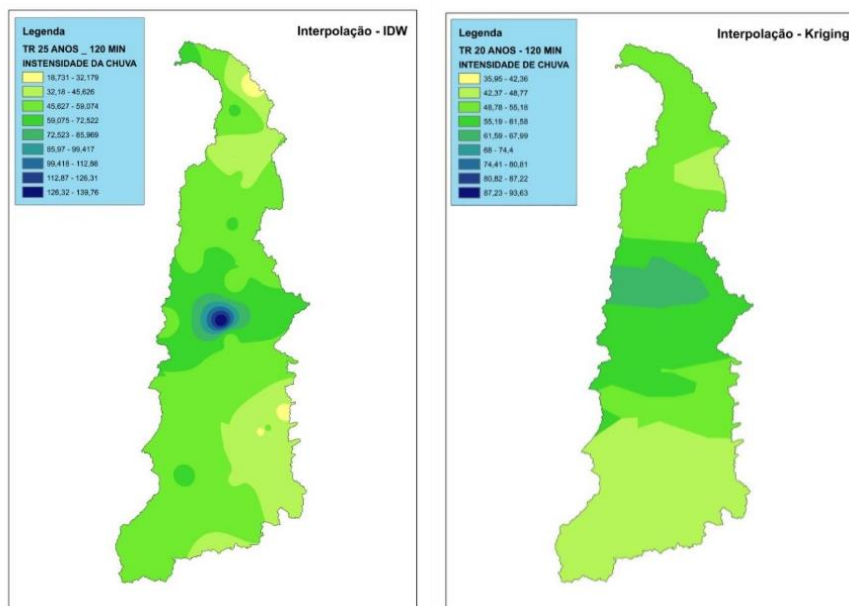
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 5 - Mapas de Interpolação *IDW* e *Kriging*, para TR 25 anos e tempo 30 minutos



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 6 - Mapas de Interpolação *IDW* e *Kriging*, para TR 25 anos e tempo 120 minutos



Fonte: Elaborado pela autora.

A presente análise da interpolação pluviométrica na Bacia do Rio Tocantins corrobora a literatura que enfatiza a dependência da escolha do método de interpolação em relação às características da variável e da área de estudo (Gomes, 2022). A superioridade do Kriging, particularmente em tempos de duração de chuva mais curtos, é um reflexo direto da natureza do fenômeno e da sua modelagem geoestatística.

3.4 IMPLICAÇÕES GEOESTATÍSTICAS E HIDROLÓGICAS

O sucesso do Kriging na Bacia do Tocantins, uma região de grande extensão territorial (767.000 km²) com variações significativas de relevo e uso do solo, sublinha a importância da autocorrelação espacial. A precipitação é uma variável regionalizada, e o Kriging, ao utilizar o semivariograma, consegue quantificar e incorporar essa dependência espacial na estimativa, resultando na Melhor Estimativa Linear Não-Viesada (BLUE).

A maior sensibilidade do Kriging a outliers em tempos curtos é, na verdade, uma indicação de sua força. Em hidrologia, eventos de precipitação de curta duração são frequentemente caracterizados por alta intensidade e distribuição espacial altamente heterogênea, com valores extremos localizados (células de chuva). O Kriging, ao modelar essa



variabilidade inerente, reflete de forma mais precisa a realidade física do fenômeno, enquanto o IDW, que se baseia apenas na distância e no inverso de uma potência, tende a atenuar esses picos, resultando em superfícies mais "achatadas" e subestimando a magnitude real dos eventos extremos.

A convergência dos métodos em durações prolongadas (60-120 minutos) sugere que, para análises de balanço hídrico ou estudos que utilizam dados de precipitação agregados em períodos maiores, a diferença na escolha do interpolador pode ser minimizada. No entanto, a manutenção da vantagem do *Kriging* em áreas heterogêneas da bacia justifica sua recomendação geral para a região.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo alcançou o objetivo de realizar uma análise espacial comparativa entre os métodos de interpolação IDW e *Kriging* para dados pluviométricos na Bacia do Rio Tocantins, considerando diferentes tempos de duração de chuva e períodos de retorno. Os resultados demonstram de forma consistente que o método *Kriging* apresentou um desempenho superior na representação da distribuição espacial da precipitação, particularmente para eventos de curta duração, nos quais a variabilidade espacial é mais acentuada. Sua capacidade de modelar a autocorrelação espacial, manifestada pela maior sensibilidade a outliers e maior fidelidade à heterogeneidade do fenômeno, o consolida como a ferramenta mais robusta para a espacialização de dados de precipitação na bacia. Para durações mais longas, embora a diferença de performance tenha diminuído, o *Kriging* manteve uma vantagem estatística em áreas complexas, justificando sua recomendação geral. A principal contribuição deste trabalho é, portanto, a recomendação fundamentada do *Kriging* como o método de interpolação preferencial para estudos hidrológicos e climáticos na Bacia do Rio Tocantins que exijam alta precisão na distribuição espacial da precipitação.

Essa precisão torna-se crucial para a adaptação das comunidades locais aos efeitos das mudanças climáticas, como a intensificação de eventos extremos. Além disso, ao fornecer uma

Realização



Apoio





base confiável de dados espaciais, o trabalho oferece suporte para decisões estratégicas no gerenciamento de bacias hidrográficas, favorecendo a resiliência climática e a mitigação de riscos, como inundações e secas, na região. Ao fornecer uma base de dados espaciais mais confiável, este estudo apoia pesquisadores e gestores na tomada de decisões estratégicas em um dos maiores e mais importantes sistemas fluviais do Brasil, promovendo uma gestão hídrica mais resiliente e informada.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, F. C.; DE MELLO, E. L.; DA SILVA, B. B.; MERCANTE, E.; GOLIN, G. M. Comparação de técnicas de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na bacia do rio Piquiri (PR). **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.12, p.117498-117506. Disponível em: [Instruções aos Autores de Trabalhos para o X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto](#). Acesso em: 20 de setembro de 2025.

BRUBACHER, J. P.; OLIVEIRA, G. G. de; GUASSELLI, L. A. Preenchimento de falhas e espacialização de dados pluviométricos: desafios e perspectivas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 615-629, 2020. Disponível em: [SciELO Brasil - Preenchimento de Falhas e Espacialização de Dados Pluviométricos: Desafios e Perspectivas](#). Acesso em: 20 de setembro de 2025.

BARATTO, P. F. B.; CECÍLIO, R. A.; TEIXEIRA, D. B. D. S.; ZANETTI, S. S.; XAVIER, A. C. Espacialização da Precipitação Diária em Bacias Hidrográficas do Sul do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, p. 385-404, 2022. Disponível em: [SciELO Brasil - Espacialização da Precipitação Diária em Bacias Hidrográficas do Sul do Espírito Santo](#). Acesso em: 30 de setembro de 2025.

CHILDS, C. Interpolating surfaces in ArcGIS Spatial Analyst. *ArcUser*, p. 32-35, 2004.

CARUSO, C.; QUARTA F. Interpolation Methods Comparison. **Mathematics with Applications**, v.35, n.12, p. 109-126, 1998. Disponível em: [Interpolation methods comparison - ScienceDirect](#). Acesso em: 30 de setembro de 2025.

Realização



Apoio





DAGA, V.S.; AZEVEDO-SANTOS, V.M.; PELICICE, F.M.; FEARNSSIDE, P.M.; PERBICHE- NEVES, G.; PASCHOAL, L.R.P.; CAVALLARI, D.C.; ERICKSON, J.; RUOCCO, A.M.C.; OLIVEIRA, I.; PADIAL, A.A.; VITULE, J.R.S. Water diversion in Brazil threatens biodiversity. **Ambio**. v. 49, p-165–172. 2020. Disponível em: [Water diversion in Brazil threatens biodiversity - PubMed](#). Acesso em: 16 de setembro de 2025.

DA COSTA, F. R.; DE SOUZA, R. F.; DA SILVA, S. M. P. Caracterização Pluviométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Doce–Rn/Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, 2020. Disponível em: [CARACTERIZAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE – RN/BRASIL | Revista Brasileira de Climatologia](#). Acesso em: 10 de setembro de 2025.

DARWICH, A.J.; A. F.; SIQUEIRA, G.W. Rainfall Distribution in the Brazilian Amazon: Application of the Variogram Function to Time Series. **Journal of Geography, Environment and Earth Science International**. v. 28, n. 6. p-47–66. 2024. <https://doi.org/10.9734/jgeesi/2024/v28i6779>.

DIRKS, K.N.; HAY, J.E.; STOW, C.D.; HARRIS, D. High resolution studies of rainfall on Norfolk Island Part II: Interpolation of rainfall data. **J. Hydrol.**, v.208, p.187-193, 1998. Disponível em: [High-resolution studies of rainfall on Norfolk Island: Part II: Interpolation of rainfall data - ScienceDirect](#). Acesso em: 30 de setembro de 2025.

ESRI®. Environmental Systems Research Institute. Tutoriais ArcGis. Redlands: Esri, 2002.

FERREIRA FILHO, D. F., LIMA, B. R. P., CRISPIM, D. L., PESSOA, F. C. L., & FERNANDES,

I. I. Análise pluviométrica no estado do Pará: comparação entre dados obtidos de estações pluviométricas e do satélite GPCC. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.26. 2020. Disponível em: [ANÁLISE PLUVIOMÉTRICA NO ESTADO DO PARÁ: COMPARAÇÃO ENTRE DADOS OBTIDOS DE ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS E DO SATÉLITE GPCC | Revista Brasileira de Climatologia](#). Acesso em: 04 de setembro de 2025.

FERREIRA FILHO, D. F.; BEZERRA, P. E. S.; SILVA, M. DE N. A. DA, RODRIGUES, R. S. S.; FIGUEIREDO, N. DE M. Aplicação de técnicas de interpolação para espacialização de chuvas da rede hidrográfica: estudo de caso calha norte – PA. **Revista Brasileira De**

Realização



Apoio





Climatologia, v.24. 2021. Disponível em: [APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE INTERPOLAÇÃO PARA ESPACIALIZAÇÃO DE CHUVAS DA REDE HIDROGRÁFICA: ESTUDO DE CASO CALHA NORTE – PA | Revista Brasileira de Climatologia](#). Acesso em: 16 de outubro de 2025.

FERREIRA, F. E. P.; LOPES, J. R. F.; NERY, A. R. Análise espacial das tendências climáticas e sua influência na agricultura irrigada no Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 29, p. 602-625, 2021. Disponível em: [ANÁLISE ESPACIAL DAS TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS E SUA INFLUÊNCIA NA AGRICULTURA IRRIGADA NO CEARÁ, BRASIL | Revista Brasileira de Climatologia](#). Acesso em: 03 de outubro de 2025.

FURTADO, L. G.; PEREIRA, C. B.; CASTRO, AR da C. Análise de métodos de interpolação para a espacialização da precipitação pluviométrica da região metropolitana de Belém e Nordeste paraense. In: Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de congresso (ALICE). Anais do Congresso Brasileiro de Cartografia. 2017.

GALLARDO, A. Geostatística. Ecosistemas, Mósteles, v. 15, n. 3, p. 1-11, 2006.

GOMES, F. C. M.; ZAIDAN, R. T.; ROCHA, C. H. B. Análise comparativa entre a aplicação de métodos de interpolação, para a geração de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 5, p. 2448-2462, 2022. Disponível em: [Análise comparativa entre a aplicação de métodos de interpolação, para a geração de modelos digitais de elevação | Revista Brasileira de Geografia Física](#). Acesso em: 17 de setembro de 2025.

LATRUBESSE, E.M.; ARIMA, E.; FERREIRA, M.E.; NOGUEIRA, S.H.; WITTMANN, F.; DIAS, M.S.; DAGOSTA, F.C.P.; BAYER, M. Fostering water resource governance and conservation in the Brazilian Cerrado biome. **Conserv Sci Pract**. v.1, n.77. 2019. Disponível em: [Fostering water resource governance and conservation in the Brazilian Cerrado biome](#). Acesso em: 20 de outubro de 2025.

LASLETT, G.M. Kriging and splines: an empirical comparison of their predictive performance in some applications. **J. Am.Stat.** v, 89, p-91-400, 1994. Disponível em: [Kriging and Splines: An Empirical Comparison of Their Predictive Performance in Some Applications on JSTOR](#). Acesso em: 21 de outubro de 2025.

MAGERSKI, J. M.; VIRGENS FILHO, J. S. Avaliação da técnica de krigagem ordinária

Realização



Apoio





utilizando o modelo geoestatístico estável no preenchimento de falhas de séries de precipitação pluviométrica nas sub-bacias hidrográficas localizadas em regiões de classificação climática distintas no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 4, p. 2149-2171. 2021. Disponível em: [Avaliação da Técnica de Krigagem Ordinária Utilizando o Modelo Geoestatístico Estável no Preenchimento de Falhas de Séries de Precipitação Pluviométrica nas Sub-bacias Hidrográficas Localizadas em Regiões de Classificação Climática Distintas no Estado do Paraná | Revista Brasileira de Geografia Física](#). Acesso em: 21 de outubro de 2025.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. (2006) Caderno da Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia Ministério do Meio Ambiente Brasília, DF, Brazil. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/161/_publicacao/161_publicacao02032011035943.pdf. Accessed 29 outubro 2025.

MARTINS, A.P.; DOS SANTOS ALVES, W.; DAMASCENO, C. E. Avaliação de métodos de interpolação para espacialização de dados de temperatura do ar na bacia do Rio Paranaíba–Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, 2019. Disponível em: [AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO PARA ESPACIALIZAÇÃO DE DADOS DE TEMPERATURA DO AR NA BACIA DO RIO PARANAÍBA – BRASIL | Revista Brasileira de Climatologia](#). Acesso em: 21 de outubro de 2025.

MAZZINI, P. L. F.; SCHETTINI, C. A. F. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase sinóticos. **Brazilian Journal of Aquatic Sciences and Technology**, v.13, n.1, p. 53-64, 2009.

MURARA, P. G. Técnicas de interpolação para a pesquisa em climatologia regional e agroclimatologia. **Revista Brasileira de Climatologia**, 2019. v, 25 Disponível em: [TÉCNICAS DE INTERPOLAÇÃO PARA A PESQUISA EM CLIMATOLOGIA REGIONAL E AGROCLIMATOLOGIA | Revista Brasileira de Climatologia](#). Acesso em: 20 de setembro.

NOGUEIRA, D. B.; DA SILVA, A. O.; DA SILVA, A. P. N. Comparação entre métodos de interpolação espacial para a estimativa da distribuição de precipitação no Ceará-Brasil. **Irriga**, v. 25, n. 1, p. 131-142, 2020. Disponível em: [COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO ESPACIAL PARA A ESTIMATIVA DA DISTRIBUIÇÃO DE](#)

Realização



Apoio





PRECIPITAÇÃO NO CEARÁ-BRASIL | IRRIGA. Acesso em: 20 de setembro de 2025.

PELICICE, F.M.; AGOSTINHO, A.A.; AKAMA, A. Degradação em larga escala da bacia do rio Tocantins-Araguaia. *Gestão Ambiental*. v. 68 , p-445–452. 2021. Disponível em: [Pelicici et al-2021-Large-scale degradation of the Tocantins-Araguaia River Basin-Preprint.pdf](#). Acesso em: 29 de outubro de 2025.

SALVADOR, G.N.; LEAL, C.G.; BREJÃO, G.L.; PESSALI, T.C.; ALVES, C.B.M.; ROSA, G.R.; LIGEIRO R.; MONTAG, L.F.A. Mining activity in Brazil and negligence in action. *Perspect Ecol Conserv*. v.18, p.139–144. 2020. Disponível em: [Mining activity in Brazil and negligence in action | Perspectives in Ecology and Conservation](#). Acesso em: 19 de setembro de 2025.

SWANSON, A.; KAPLAN, D.; TOH, K.; MARQUES, E.; BOHLMAN, S. Mudanças na hidrologia da planície de inundação após represamento em série do rio Tocantins na Amazônia oriental. *The Science of the total environment* , v.800, n.149494. 2021.

SWANSON, A.C.; BOHLMAN, S. Cumulative impacts of land cover change and dams on the land–water interface of the Tocantins River. *Front Environ Sci*. v. 9, n. 662904. 2021. Disponível em: [Frontiers | Cumulative Impacts of Land Cover Change and Dams on the Land–Water Interface of the Tocantins River](#). Acesso em: 25 de outubro de 2025.

STANISH, C. Lake Titicaca: Legend, Myth, and Science. Los Angeles: Cotsen Institut of Archaeology Press, 2011. 2006.

VIEIRA, S.R.; LOMBARDI NETO, F.; BURROWS, I.T. Mapeamento da chuva diária máxima provável para o estado de São Paulo. *R. Bras. Ci. Solo*, v.15, p.93-98, 1991. Disponível em: [Mapeamento da chuva diária máxima provável para o estado de São Paulo](#). Acesso em: 25 de outubro de 2025.

Realização



Apoio

