

**PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PROVÁVEL NO ESTADO DO TOCANTINS:  
PRIMEIRA APROXIMAÇÃO PELO MÉTODO ESTATÍSTICO DE HERSHFIELD**

SILVA NETO, Virgílio Lourenço - virgilio.neto@ifto.edu.br  
Instituto Federal do Tocantins / IFTO

VIOLA, Marcelo - marcelo.viola@deg.ufla.br  
Universidade Federal de Lavras / UFLA

MELLO, Carlos Rogério de - crmello@ufla.deg.br  
Universidade Federal de Lavras / UFLA

SILVA, Demetrius David - demetrius.ufv@gmail.com  
Universidade Federal de Viçosa / UFV

GIONGO, Marcos Vinicius - giongo@uft.edu.br  
Universidade Federal de Tocantins / UFT

*Submetido em: 08/10/2019*

*Aceito para publicação em: 19/10/2020*

*Publicado em: 23/10/2020*

*DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v27i0.69590>*

**RESUMO:** A precipitação máxima provável é definida como a maior altura de chuva meteorologicamente possível de ocorrer sobre uma determinada área, correspondente a uma dada duração, sem levar em conta as tendências climáticas de longo prazo. Este estudo teve como objetivo a obtenção e espacialização da PMP para o estado do Tocantins associada a doze intervalos de duração, entre 10 e 1440 minutos, com base na metodologia de Hershfield. Para o mapeamento foi adotado o interpolador Inverso da Potência da Distância com expoentes 2, 3 e 5, tendo sido a sua qualidade avaliada pelo procedimento de validação cruzada, a partir do cálculo da tendência e do erro médio percentual absoluto. Para a maior duração avaliada (1440 min) obtiveram-se lâminas de PMP variando de 411 a 768 mm, enquanto, para a menor duração avaliada (10 min), as lâminas variaram de 63 a 105 mm. De maneira geral, a PMP no estado do Tocantins apresenta valores mais elevados junto à região do Bico do Papagaio (extremo norte) e no sudoeste do Estado. O Inverso do Quadrado da Distância se sobressaiu dentre os interpoladores testados para a espacialização da PMP, com erros de estimativa considerados aceitáveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** metodologia de Hershfield, mapeamento, chuvas intensas

*PROBABLE MAXIMUM PRECIPITATION IN THE TOCANTINS STATE, BRAZIL: FIRST APPROACH BASED ON HERSHFIELD STATISTICAL METHOD*

**ABSTRACT:** Probable Maximum Precipitation (PMP) is defined as the biggest rain depth that is meteorologically possible to occur over a given region, associate to different duration time, without taking into account the long-term climate trends. This study aimed to obtain and spatialize the PMP for the Tocantins State, associated with twelve intervals of duration, between 10 and 1440 minutes, based on the Hershfield methodology. To proceed with the PMP mapping, the inverse-power-distance interpolator, considering as exponent 2, 3 and 5, was used, evaluating the following statistical precision: bias and mean average percentage error, both performed from the cross validation procedure. For the greatest rain duration time (1440 min), the PMP ranged from 411 to 768 mm, and for the smallest duration (10 min), the PMP ranged from 63 to 105 mm. In general, the PMP in the Tocantins State showed the biggest values in Bico do Papagaio (north) and southwest regions of the State. The inverse-square-distance presented the best

performance among the interpolators tested for the PMP spatialization, with estimation errors considered acceptable.

**KEYWORDS:** Hershfield methodology, mapping, intense rainfall.

*PRECIPITACIÓN MÁXIMA PROBABLE EN EL ESTADO DE TOCANTINAS: PRIMER ENFOQUE POR EL MÉTODO ESTADÍSTICO DE HERSHFIELD*

**RESUMEN:** La precipitación máxima probable se define como la lluvia meteorológica más alta posible en un área determinada, correspondiente a una duración dada, sin tener en cuenta las tendencias climáticas a largo plazo. Este estudio tuvo como objetivo obtener y espacializar el PMP para el estado de Tocantins asociado con doce intervalos de duración, entre 10 y 1440 minutos, según la metodología de Hershfield. Para el mapeo, se adoptó el interpolador inverso de potencia de distancia con los exponentes 2, 3 y 5, y su calidad se evaluó mediante el procedimiento de validación cruzada, basado en el cálculo de la tendencia y el error porcentual medio absoluto. Para la mayor duración evaluada (1440 min), se obtuvieron cuchillas PMP que oscilaban entre 411 y 768 mm, mientras que para la menor duración evaluada (10 min), las cuchillas oscilaron entre 63 y 105 mm. En general, el PMP en el estado de Tocantins tiene valores más altos cerca de la región de Bico do Papagaio (extremo norte) y el suroeste del estado. El inverso del cuadrado de distancia se destacó entre los interpoladores probados para la espacialización de PMP, con errores de estimación considerados aceptables.

**PALABRAS CLAVE:** metodología Hershfield, mapa, fuertes lluvias.

---

## INTRODUÇÃO

No contexto do ciclo hidrológico em bacias hidrográficas de regiões tropicais, o conhecimento do regime pluvial é de suma importância para estudos estratégicos associados ao planejamento do meio ambiente, geração de energia, manejo da agricultura, entre outros (MELLO e SILVA, 2009).

Segundo a Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2009), a precipitação máxima provável (PMP) é definida como a maior altura de chuva teoricamente possível de ocorrer em determinado local e época. De acordo com Burger (2014), partindo-se da PMP, é possível, pela utilização de modelos de transformação chuva-vazão, obter a cheia máxima provável (CMP). Esta, por sua vez, representa o hidrograma máximo teórico que pode ocorrer em uma determinada bacia hidrográfica, em uma determinada época do ano, como função da PMP.

Diversas organizações vinculadas à segurança de barragens recomendam explicitamente o emprego da PMP no dimensionamento de grandes obras, onde o galgamento envolve grandes riscos humanos, econômicos e materiais (SUGAI e FILL, 1990; TUCCI, 2009). Tal recomendação também pode ser verificada nos estudos de Boota et al. (2018) e Ekaningtyas (2017).

Os métodos utilizados na determinação da PMP podem ser classificados em hidrometeorológicos e estatísticos. Os métodos hidrometeorológicos buscam as condições meteorológicas mais severas das ocorrências observadas, considerando que o total precipitado tende a crescer à medida que aumenta a umidade do fluxo de ar que alimenta as tempestades. Esses métodos são aplicáveis quando existem dados hidrometeorológicos de um número expressivo de eventos extremos observados na bacia do projeto, cuja base de cálculo consiste em: a) seleção das maiores chuvas intensas observadas na região; b) obtenção da umidade representativa e máxima provável de cada evento

selecionado e c) cálculo dos fatores de maximização da umidade e estimativa das chuvas maximizadas (TUCCI, 2009).

Os métodos estatísticos, por sua vez, podem ser empregados para estimar a PMP quando séries históricas de precipitação estão disponíveis. Assim, esses métodos são particularmente úteis para estimativas da PMP em locais nos quais dados meteorológicos, como registros de ponto de orvalho e vento, são escassos, inviabilizando a utilização do método hidrometeorológico. De acordo com WMO (2009), apresentam-se como principais limitações do método estatístico, a obtenção pontual do valor da PMP e a dificuldade de determinação do valor apropriado do fator de frequência  $K_m$ , que é uma variável estatística que depende da distribuição de frequência dos dados extremos de precipitação observada.

Dentre os métodos estatísticos propostos para a estimativa da PMP pode-se destacar o método de Hershfield, que é recomendado pela Organização Meteorológica Mundial para bacias de até 1.000 m<sup>2</sup> (WMO, 2009), embora haja estudos para áreas muito maiores. Singh et al. (2018) calcularam a PMP na bacia do Rio Brazos, nos Estados Unidos, em uma área que equivale a 116.000 km<sup>2</sup>. Wangwongwiroj e Khemngoen (2019), também estimaram a PMP pelo método estatístico de Hershfield para Tailândia, cuja área corresponde a 513.115 km<sup>2</sup>. Outro estudo desenvolvido para extensões maiores do que recomenda a WMO (2009) foi realizado por Chavan e Srinivas (2016), em uma proposta de regionalização da PMP com base no método estatístico para o território indiano, uma área equivalente a 3.287.263 km<sup>2</sup>.

Segundo Kappel et al. (2013), eventos extremos de chuva em uma região com condições meteorológicas homogêneas são parte muito importante da evidência histórica em que uma estimativa de PMP é baseada. Como a maioria dos locais tem um período limitado de registros de chuva monitorados, o número de precipitações extremas observados, conseqüentemente, é limitado. Embora a WMO (2009) afirme que mais trabalhos foram realizados em regiões temperadas do que em regiões tropicais, recentemente, diversos estudos têm sido desenvolvidos para estimativa da PMP em diferentes localidades nos trópicos. Lan et al. (2017) realizou estimativas da PMP a partir de uma proposta de revisão do fator de frequência do método estatístico para Hong Kong. Cavalcanti et al. (2018), desenvolveu estudos sobre a PMP e o tempo de retorno para Recife, estado de Pernambuco (Brasil). Sarkar e Maity (2020), elaboraram uma proposta de atualização do fator de frequência de Hershfield, estimando a PMP para todo o território indiano. Outro aspecto relevante, é que conforme Fattahi et al. (2010) e Boota et al. (2018) o método estatístico apresenta superestimativa dos resultados quando comparado ao hidrometeorológico.

Estudos sobre estimativas da PMP foram realizados no nordeste do Irã por Ghahraman (2008), na região da Catalunha por Casas et al. (2008), na Índia por Deshpande et al. (2008), na bacia do rio Yodo, Japão por Alias et al. (2013), para a bacia do rio Mahanadi na Índia, por Chavan e Srinivas (2015), na região de Kudus, Indonésia, por Ekaningtyas (2017), no Paquistão por Boota et al. (2018), na bacia hidrográfica de Temengor no estado de Perak, na Malásia, a PMP foi estimada por Sammen et al. (2018), na Tailândia por Wangwongwiroj e Khemngoen (2019). No Brasil destacam-se os estudos desenvolvidos por Sugai e Fill (1990) para a Região Sul do Brasil, Hartmann et al. (2011) para Presidente

Prudente, e Burger (2014) para o estado do Paraná, sendo este último, especificamente sobre adaptação e análise do método de Hershfield.

Em relação à espacialização de variáveis climáticas, estudos de Cecilio e Pruski, (2003), Viola et al. (2010) e Gardiman Junior et al. (2012) demonstraram que o interpolador Inverso da Potência da Distância (IPD) pode ser aplicado com bons resultados. De acordo com Oliveira et al. (2015), a interpolação pelo IPD considera que o valor da variável a ser estimado numa posição qualquer é calculado pelos "n" vizinhos mais próximos ponderados pelo inverso da sua distância elevada a uma potência, geralmente de 2 a 5. De acordo com Mello et al. (2003), a base teórica para aplicação desta metodologia baseia-se na sua semelhança com a Lei de Gravitação Universal, para a qual ocorre variação proporcional ao inverso do quadrado da distância.

O estado do Tocantins apresenta-se em franca expansão agrícola e socioeconômica, com demanda por estudos ambientais que subsidiem projetos de grandes obras hidráulicas. Neste contexto, objetivou-se proceder o cálculo da PMP pelo método estatístico, segundo a metodologia de Hershfield, para precipitações com durações de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos e avaliar a distribuição espacial desta variável hidrológica no estado do Tocantins, por meio do método do Inverso da Potência da Distância.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O estado do Tocantins está localizado 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 km<sup>2</sup>, representando 3,26% da área total do Brasil e 7,2% da região norte. Segundo o IBGE (2004), o bioma Amazônia ocupa 9% do território do estado do Tocantins, sendo o bioma Cerrado prevalecente nos demais 91%.

Segundo Souza (2019), ocorrem três regiões climáticas homogêneas de acordo com a classificação de Thornthwaite: a) região climática C1w2A'a': clima subúmido seco, com grande excesso d'água no verão, megatérmico; b) região climática C2wA'a': clima subúmido, com deficiência de água moderada no inverno, megatérmico e c) região climática B1wA'a': clima úmido, com deficiência d'água moderada no inverno, megatérmico.

No que se refere ao regime de chuvas, o estado do Tocantins é caracterizado por distintas regiões. Em uma extensa faixa desde o norte da Ilha do Bananal (sudoeste do Estado) até o sul da região do Bico do Papagaio, as chuvas são melhor distribuídas ao longo do ano, enquanto que, no sul e extremo norte as chuvas encontram-se mais concentradas entre dezembro e março (VIOLA et al., 2014).

As séries históricas foram obtidas junto ao Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb) da Agência Nacional de Águas (ANA, 2015). As séries históricas foram utilizadas sem o preenchimento de falhas, devido ao fato deste procedimento, realizado a partir do uso de regressão linear, tanto simples como múltipla, não ter apresentado resultados consistentes, tendo em vista os baixos coeficientes de determinação obtidos. Os dados utilizados para a estimativa da PMP consistiram de séries históricas de chuvas intensas associadas com durações de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 min para

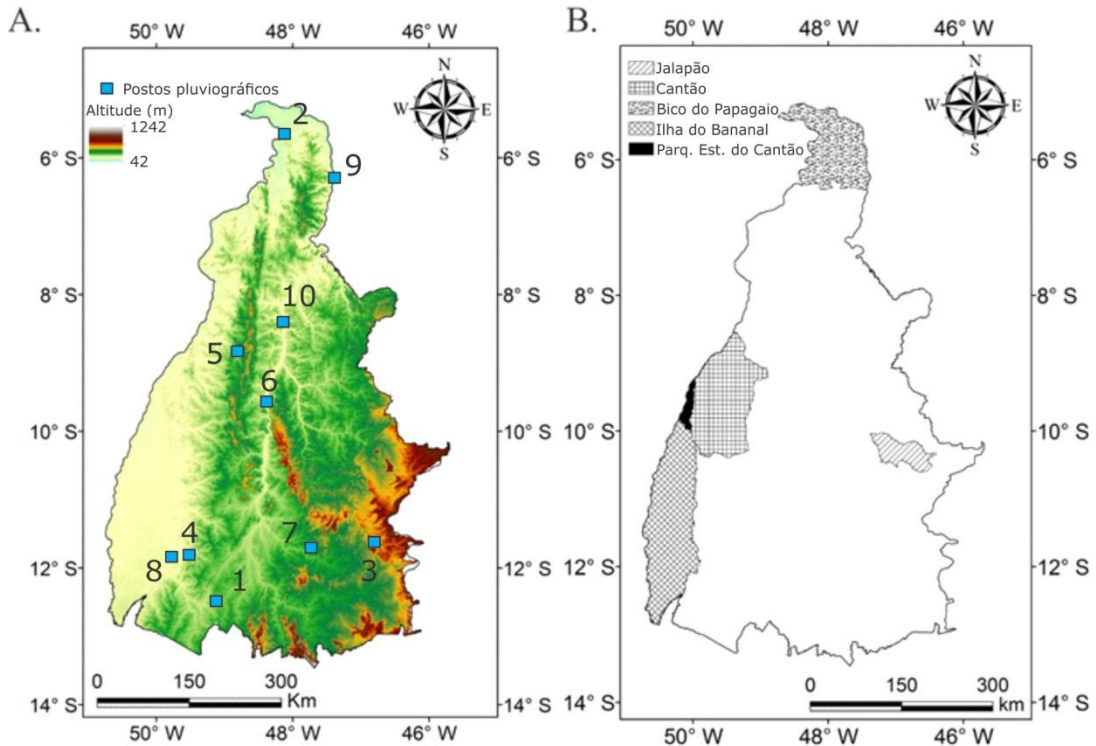
10 localidades no estado do Tocantins, com duração variando de 9 a 11 anos. Silva et al. (2002) e Silva et al. (2003), em estudos sobre a intensidade das chuvas para o estado da Bahia e do Tocantins respectivamente, destacam a opção por não adotar um período-padrão de observação para todas as estações, uma vez que estas não possuíam períodos coincidentes. Foi realizado um levantamento das estações pluviográficas no Estado sendo estes os dados mais consistentes (Tabela 1). Portanto, ainda que a WMO (2009) recomende a utilização de séries históricas com mais de 30 anos, diante da escassez de estações pluviográficas no estado do Tocantins, adotou-se como critério, a utilização do período total de dados disponíveis para cada uma das estações no intuito de aumentar o período de obtenção das informações sobre as precipitações.

**Tabela 1** - Caracterização das estações pluviográficas selecionadas para o Estado do Tocantins

<b>Estação</b>	<b>Município</b>	<b>Código</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Período analisado</b>
<b>Alvorada</b>	Alvorada	01249000	12°28'51"S	49°07'27"W	1989-1999
<b>Araguatins</b>	Araguatins	00548000	05°38'54"S	48°12'28"W	1990-1999
<b>Dianópolis</b>	Dianópolis	01146000	11°37'31"S	46°48'38"W	1990-1999
<b>Formoso do Araguaia</b>	Formoso do Araguaia	01149001	11°48'06"S	49°31'47"W	1989-1999
<b>Guaraí</b>	Guaraí	00848001	08°49'51"S	48°31'01"W	1990-1999
<b>Miracema</b>	Miracema do Tocantins	00948000	09°33'51"S	48°23'15"W	1990-1999
<b>Natividade Proj. Rio Formoso</b>	Natividade Formoso do Araguaia	01147001	11°41'49"S	47°43'43"W	1990-1998
<b>Tocantinópolis</b>	Tocantinópolis	01249002	12°00'17"S	49°40'47"W	1989-1999
<b>Tupiratins</b>	Pres. Kennedy	00647000	06°17'14"S	47°23'31"W	1988 1990-1999
		00848003	08°23'53"S	48°07'49"W	1990-1999

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2003).

Na Figura 1 está representado o relevo do estado do Tocantins, a localização das estações pluviográficas e a delimitação de algumas regiões citadas no presente estudo. Com base nesta figura é possível observar que o relevo varia entre plano e suavemente ondulado na maior parte do Estado. Na região central da bacia do rio Araguaia, região sudoeste do estado, fica a Ilha do Bananal, com altitudes abaixo de 200 m. No Sudeste, na fronteira com os estados da Bahia e Piauí, destaca-se a Serra Geral e a Serra de Tabatinga, já na região central Estado, destaca-se a Serra do Lajeado, onde a altitude é superior a 1.200 m (AVANZI et al., 2019).



**Figura 1** - Mapa hipsométrico do estado do Tocantins e localização das 10 estações pluviográficas (A), e localização de algumas regiões de interesse (B).

Segundo WMO (2009), a metodologia para determinação da PMP desenvolvida por Hershfield (1961) e aperfeiçoada por ele em 1965 baseia-se na equação geral de frequência proposta por Ven Te Chow (1964), descrita na Eq. 1:

$$X_{PMP} = \bar{X}_n + K_m \cdot S_n \quad (1)$$

Sendo  $X_{PMP}$  a precipitação máxima provável para uma determinada duração e local, em mm,  $\bar{X}_n$  e  $S_n$  são, respectivamente, a média e o desvio padrão da série de chuvas máximas anuais de uma dada duração, em mm, e  $K_m$  é o fator de frequência.

O valor do fator de frequência  $K_m$  foi calculado utilizando-se a Equação (2), proposta por Burger (2014):

$$K_m = 20 - \frac{0,732 \cdot \bar{X}_n^{0,693}}{(d+0,372)^{0,420}} \quad (2)$$

Em que,  $d$  é a duração da chuva máxima anual em análise, em horas.

Segundo WMO (2009), a presença de valores atípicos (*outliers*), entendidos como chuvas de ocorrência e magnitude raras, pode influenciar a

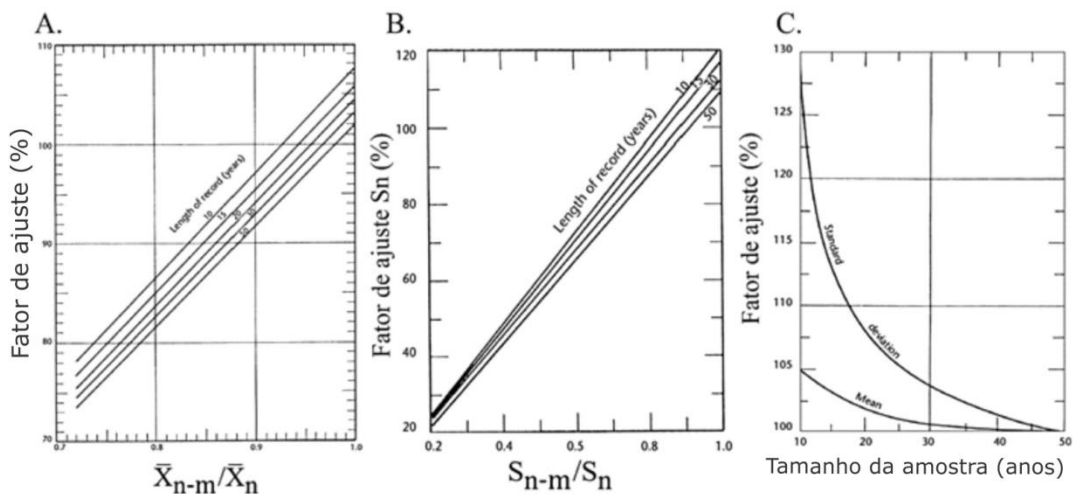
média e o desvio padrão das séries históricas. Hershfield (1961) estudou este efeito e propôs o seguinte procedimento de correção para  $\bar{X}_n$  e  $S_n$  (WMO, 2009):

I. Determinar  $\bar{X}_n$  (média) e  $S_n$  (desvio padrão) da série histórica anual de eventos máximos associados a cada duração;

II. Determinar  $\bar{X}_{n-m}$  e  $S_{n-m}$  associados a cada duração. Em que,  $\bar{X}_{n-m}$  é a média da precipitação máxima obtida pela série histórica anual, excluindo-se dela o maior valor observado; e  $S_{n-m}$  é o desvio padrão obtido da série histórica anual de precipitação máxima excluindo-se da série o maior valor observado;

III. Calcular a relação  $\bar{X}_{n-m}/\bar{X}_n$  e a relação  $S_{n-m}/S_n$  associada a cada duração. Entrando-se com estes valores nas abscissas das Figuras 2A e 2B, respectivamente, e selecionando-se a reta referente ao tamanho da série, em anos, obtêm-se nas ordenadas um fator de correção, em %, para  $\bar{X}_n$  e  $S_n$ , respectivamente.

Segundo a WMO (2009), a média e o desvio padrão das séries anuais tendem a aumentar com o tamanho da amostra, uma vez que a distribuição de frequência de valores extremos de chuva é inclinada para a direita. Assim, a Figura 2C apresenta os ajustes sugeridos de acordo com o tamanho da amostra.



**Figura 2** - Fatores de correção para a média (A) e desvio padrão (B) das séries anuais de precipitação máxima visando compensar a presença de valores atípicos; e fator de ajuste da média e do desvio padrão das séries anuais em função do tamanho da amostra (C) (WMO, 2009).

Para a espacialização da PMP foi empregado o interpolador Inverso da Potência da Distância (IPD), tendo sido avaliados os expoentes 2, 3 e 5. Neste procedimento de interpolação a metodologia do IPD leva em consideração que o quantitativo da variável, a ser estimado numa posição qualquer, é calculado pelos seus vizinhos e assim ponderados pelo inverso da sua distância elevada a uma potência "m", conforme a Eq. 3 (LOPES et al., 2017). Neste contexto, Conde e Yamamoto (1996) afirmam que a potência baixa tende a suavizar os valores extremos, enquanto a elevada, tende a realçá-los.

A formulação do interpolador IPD encontra-se descrita na Eq. 3 (CECILIO e PRUSKI, 2003). A justificativa para aplicação do IPD encontra-se na inviabilidade de utilização de interpoladores geoestatísticos, uma vez que os

mapas foram produzidos a partir de um conjunto constituído de apenas 10 estações pluviográficas, não sendo suficiente para modelar a estrutura de dependência espacial da variável em análise (SILVA NETO et al., 2019).

$$X_p = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{X_i}{d_i^m} \right)}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{d_i^m} \right)} \quad (3)$$

Em que  $X_p$  corresponde à variável interpolada na posição  $p$ ,  $X_i$  é a PMP conhecida nos  $i$  pontos vizinhos,  $d_i$  é a distância euclidiana da estação  $i$  ao ponto  $p$  a ser estimado,  $m$  é o expoente da distância euclidiana e  $n$  é o número de estações com dados de PMP disponíveis.

A fim de verificar a qualidade da espacialização da PMP aplicou-se a técnica da validação cruzada. Esta técnica consiste em estimar os valores da variável em estudo para a exata localização dos pontos amostrados, permitindo quantificar o erro médio percentual absoluto (EMPA), em %, conforme a Eq. 4, e o viés estatístico (BIAS), conforme Eq. 5. Quanto mais próximo de zero o valor do EMPA mais precisa é a interpolação. Para o BIAS, valores negativos indicam tendência de superestimativa, enquanto que, valores positivos, indicam tendências de subestimativa (XAVIER et al., 2016).

$$EMPA = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{Obs_i - Est_i}{Obs_i} \right| \cdot 100 \quad (4)$$

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (Obs_i - Est_i)}{\sum_{i=1}^n (Obs_i)} \cdot 100 \quad (5)$$

Em que,  $n$  é o número de postos de monitoramento,  $Obs_i$  é a precipitação observada para o posto  $i$  e  $Est_i$  é a precipitação estimada para a posição do posto  $i$ .

A geração dos mapas da distribuição espacial da PMP foi realizada utilizando o módulo de análise espacial (Spatial Analyst) do Sistema de Informação Geográficas (SIG) "ArcGIS Desktop 10.2" (ESRI), utilizando-se o interpolador que produziu o menor valor do EMPA. Foi adotado o Sistema Geodésico Brasileiro SIRGAS 2000.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados do fator de frequência  $K_m$  calculados para as precipitações máximas de diferentes durações no estado do Tocantins. Especificamente para a chuva de 1440 minutos, obtiveram-se valores superiores a 15 para todas as estações. Ressalta-se que, de acordo com Bureau (1961), valores de  $K_m$  desta magnitude representam o limite superior de aplicação desta metodologia.



**Tabela 2** - Valores mínimos (Min) e máximos (Max) obtidos para o fator de frequência ( $K_m$ ) no Estado do Tocantins, para chuvas intensas com duração entre 10 e 1440 min

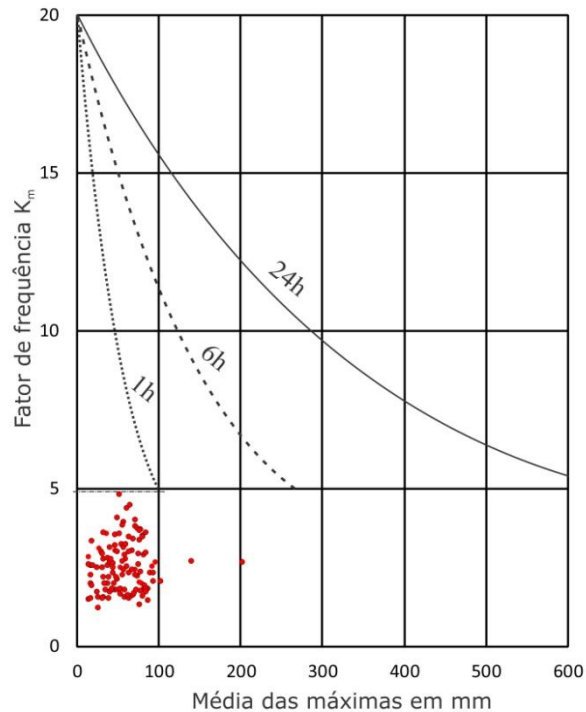
Duração (min)	Mín	Máx	Duração (min)	Mín	Máx	Duração (min)	Mín	Máx
10	13,89	12,33	50	11,57	8,98	240	14,16	11,81
20	12,20	10,00	60	11,78	9,10	360	14,84	12,70
30	11,46	9,42	120	12,89	10,14	720	15,80	14,18
40	11,40	9,02	180	13,62	11,01	1440	15,43	16,64

Buscando-se analisar os valores de  $K_m$  fornecidos pelo método de Hershfield para o estado do Tocantins, apresenta-se, na Figura 3, a comparação de valores deste coeficiente calculados com base nas séries pluviográficas disponíveis frente às curvas propostas por Hershfield. Observa-se nesta figura que os valores calculados para o fator  $K_m$  no Tocantins com base em dados observados foram substancialmente menores que aqueles propostos por Hershfield, tendo sido o valor máximo encontrado igual a 4,81. Cavalcanti et al. (2018), em estudos sobre a PMP para Recife (PB), Brasil, com uma base de dados de 14 anos, no período de 1998 a 2012, obteve o valor de  $K_m$  para o acumulado diário de 4,9. Lan et al. (2017), em estudos sobre a PMP para Hong Kong a partir da revisão do fator  $K_m$  de Hershfield, encontrou valores de  $K_m$  entre 1,9 e 5,4.

Há de se considerar que a base de dados do presente estudo é relativamente curta, totalizando 102 anos de registros pluviográficos monitorados em 10 estações. Mesma constatação foi realizada por Sugai e Fill (1990) em estudo sobre a PMP na região sul do Brasil. Os referidos autores calcularam a partir de 4510 anos de observações de 130 postos um valor máximo de  $K_m$  igual a 9, valor este muito menor que aquele obtido pela metodologia de Hershfield para os postos considerados, que foi igual a 15. Pesquisas sobre a PMP, no estado do Paraná, Brasil, cujo método foi utilizado neste estudo para determinação do fator  $K_m$ , considerando apenas o período adotado de 10 anos, similar ao presente estudo, os valores obtidos variaram entre 15,1 e 16,1 Burger e Kaviski (2013) e 13,86 a 15,79 para PMP de 24 horas Burger (2014).

Silva Neto et al. (2019), em estudos sobre a PMP para a bacia do Rio Manuel Alves da Natividade, localizada na região sudeste do Tocantins, utilizou o Fator  $K_m$  fixo igual a 15 para estações pluviométricas que foram utilizadas em sua pesquisa, baseado nos trabalhos de Hershfield, que adotou o valor mais alto arredondado para 15 para estimar a PMP. Entretanto, estudos de Desa e Rakhecha, (2006) para duas áreas na região equatorial da Malásia mostraram que o uso de  $K_m = 15$  para o cálculo da PMP, independentemente da localização, pode levar a uma superestimação da PMP em uma estação com alto valor de precipitação média e máxima anual. Por esta razão, no presente estudo, a PMP é calculada usando valores de  $K_m$  individuais por estação.

Isto evidencia a necessidade de desenvolvimento de estudos futuros com a aplicação de métodos hidrometeorológicos visando validar a metodologia de Hershfield para regiões tropicais.



**Figura 3** - Valores do fator de frequência  $K_m$  calculados para as precipitações máximas com duração entre 10 e 1440 minutos para o Estado do Tocantins e curvas estabelecidas por Hershfield.

Na Tabela 3 estão apresentadas as lâminas de PMP calculadas pela metodologia de Hershfield. Observa-se que a PMP de 1440 min (24h) variou entre 410,9 e 768,2 mm, enquanto as lâminas de outras durações variaram entre 184,6 e 266,7 (1h), 198,7 e 452,7 (3h), 197,4 e 518,8 mm (6h) e 335,5 e 667,2 mm (12h) para as localidades estudadas no estado do Tocantins. Rezacova et al (2005), em estudo sobre a PMP na República Checa, encontraram lâminas de 202 mm, 254 mm, 276 mm e 285 mm para as durações de 1, 3, 6 e 12 horas respectivamente. Casas et al. (2011), em estudo desenvolvido para Barcelona, Espanha, encontraram lâminas de PMP de 102 mm e 130 mm para as durações de 20 e 30 min, respectivamente. Destaca-se que a disponibilidade de estudos sobre a PMP de curta duração é limitada, sobretudo para regiões tropicais, como é o caso do estado do Tocantins.

**Tabela 3** - Precipitação máxima provável (PMP), em mm, calculada pela metodologia de Hershfield (1965) para 10 localidades do estado do Tocantins, para durações entre 10 e 1440 minutos.

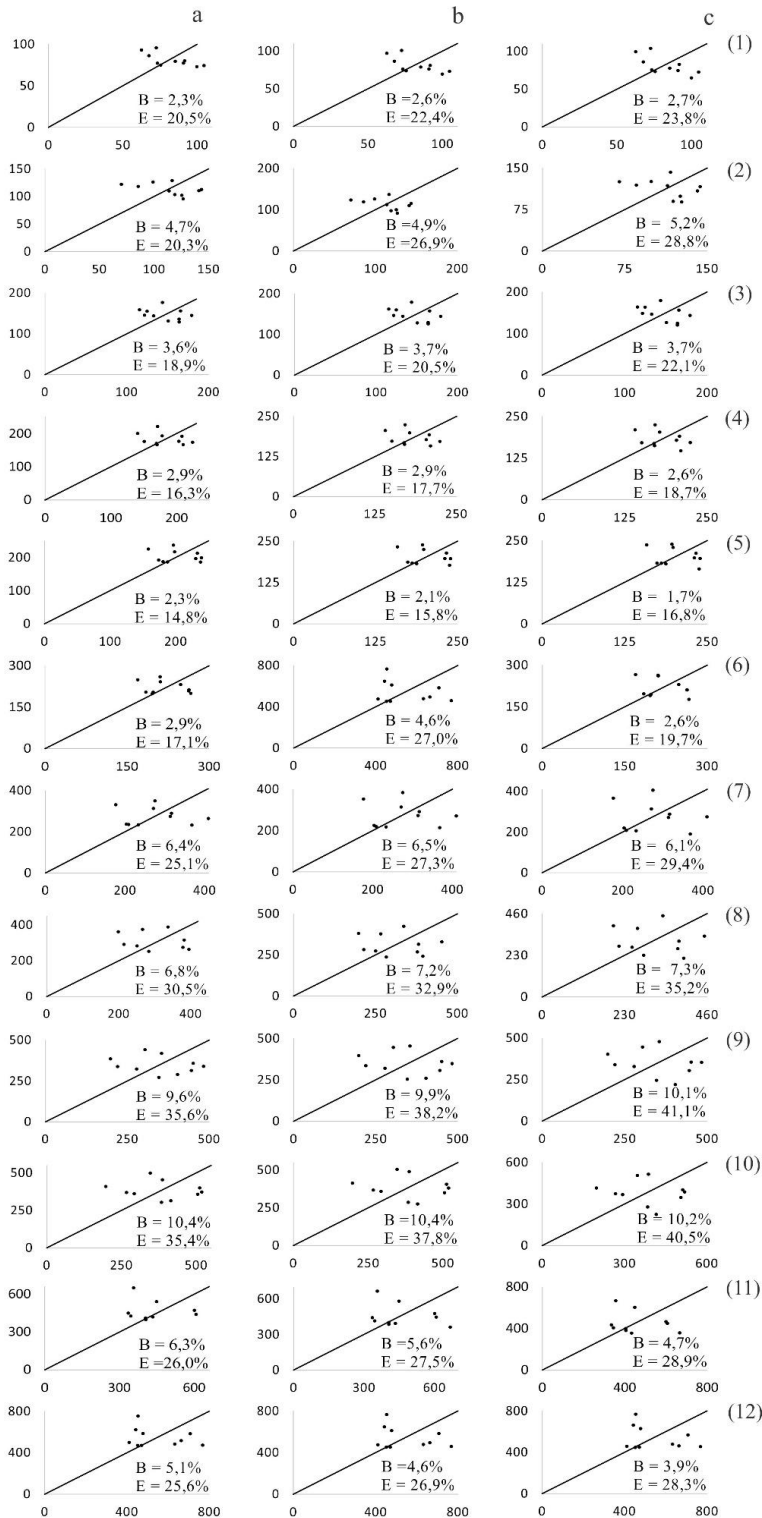
Duração (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	90,9	104,7	62,6	73,3	85,3	91,7	99,8	75,5	72,5	67,6
20	141,2	143,6	85,5	99,0	126,7	113,9	119,1	125,5	116,6	70,0
30	165,8	164,1	115,6	143,7	150,7	132,9	164,0	179,4	124,8	121,6
40	208,1	203,5	140,8	171,1	170,4	150,9	210,0	224,4	178,1	169,5
50	233,0	230,5	158,3	196,5	180,7	174,0	237,8	239,2	198,3	187,5
60	248,2	263,0	169,6	210,6	196,2	198,0	266,7	263,5	211,0	184,6
120	316,7	409,6	176,8	271,4	203,5	233,5	368,1	313,8	275,2	209,0
180	381,6	452,7	198,7	266,2	283,3	250,8	394,8	378,1	336,6	214,4
240	451,4	483,0	198,4	304,0	346,4	278,4	403,4	445,7	354,6	220,2
360	511,8	518,8	197,4	346,7	384,0	292,8	415,2	505,1	387,2	267,0
720	600,8	607,7	335,5	356,8	405,8	345,5	433,6	667,2	449,2	404,9
1440	707,6	632,5	442,6	454,0	452,0	410,9	663,8	768,2	477,8	471,2

1. Alvorada, 2. Araguatins, 3. Dianópolis, 4. Formoso do Araguaia, 5. Guaraí, 6. Miracema, 7. Natividade, 8. Projeto Rio Formoso, 9. Tocantinópolis, 10. Tupiratins

Já para a maior duração analisada 1440 minutos (24 horas) foram encontrados valores variando de 410,9 a 768,2 mm. Estudos desenvolvidos em diversas partes do globo sobre a PMP com duração de 1440 min mostram distintos resultados, o que é esperado, em vista da diversidade do regime de chuvas ao redor do globo. Alias et al. (2013) encontraram lâminas superiores a 1000 mm para a bacia do rio Yodo, Japão, cujo clima é temperado oceânico com alta pluviosidade. Desa et al. (2001) obtiveram lâminas variando entre 375 e 500 mm para o estado de Selangor, Malásia, onde o clima equatorial úmido sofre grande influência das monções. Desa & Rakhecha (2006) obtiveram lâminas de até 1200 mm para o estado de Johor, também na Malásia. Fernando & Wickramasuriya (2011), calcularam lâminas entre 585 e 923 mm para o Sri Lanka, onde o clima, segundo os autores, pode ser classificado como tropical de monção. Ghahraman (2008), averiguaram valores entre 103 e 295 mm para o Irã, cujo clima árido justifica os valores menores aos obtidos pelos estudos citados anteriormente. Chavan e Srinivas (2015), por sua vez, encontraram lâminas entre 234 e 866 mm para a bacia do rio Mahanadi, Índia, bacia que frequentemente experimenta inundações durante o período das monções no verão indiano (junho a setembro). Ekaningtyas (2017) encontrou PMP de 638 mm para a bacia do rio Logung, Indonésia.

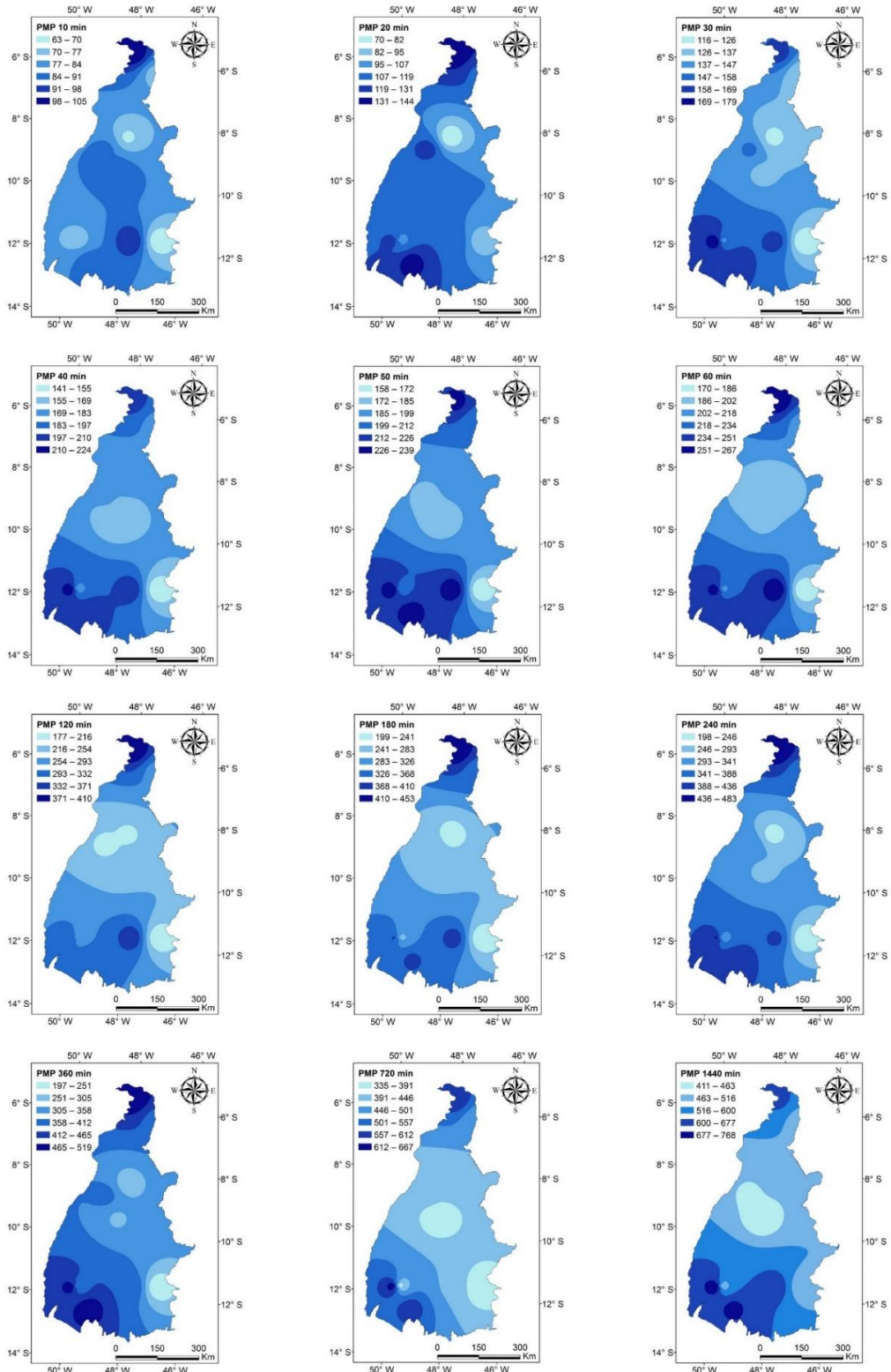
A partir do cálculo da PMP, foi aplicado o interpolador Inverso da Potência da Distância, considerando-se os expoentes 2 (IPD2), 3 (IPD3) e 5 (IPD5). A Figura 4 apresenta os gráficos de dispersão em torno da reta 1:1 para os interpoladores e os resultados da validação cruzada. Pode-se observar menor EMPA para o interpolador IPD2 para todas as durações analisadas. Especificamente para este interpolador, obteve-se  $EMPA \leq 20\%$  para as durações de 30, 40, 50 e 60 min;  $20\% < EMPA \leq 30\%$  para 10, 20, 120, 720 e 1440 min e  $EMPA > 30\%$  para as durações de 180, 240 e 360 min. Diversas pesquisas sobre o mapeamento de variáveis climáticas encontraram EMPA de mesma grandeza e tiveram seus resultados considerados adequados pelos autores (Mello et al.,

2003; Alves et al., 2016; Braga et al., 2018). Os resultados do BIAS indicaram uma reduzida tendência de subestimativa, com valores menores que 10% para a maioria dos eventos, cabendo a exceção para a PMP de 360 minutos. Nota-se, em outros estudos, que valores de BIAS da mesma ordem de grandeza foram considerados adequados, destacando-se os de Mello e Silva (2009) e Mitra et al. (2013).



**Figura 4** - Dispersão em torno da reta 1:1, BIAS (B) e erro médio percentual absoluto (E) obtidos por validação cruzada pelo interpolador inverso da potência da distância com expoentes 2 (a), 3 (b) e 5 (c), para chuvas intensas com duração de 10 (1), 20 (2), 30 (3), 40 (4), 50 (5), 60 (6), 120 (7), 180 (8), 240 (9), 360 (10), 720 (11) e 1440 (12) min.

A Figura 5 apresenta os mapas de PMP para durações de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 min. Observam-se lâminas de PMP elevadas para todo o estado do Tocantins, para todos os eventos analisados. Na região do Bico do Papagaio, ao norte do Estado, pode-se observar os maiores valores para todos os eventos, exceto para as durações de 30, 40 e 1440 min, situações em que a região sudoeste do Estado, onde se localiza a Ilha do Bananal apresentou as maiores lâminas de PMP, que variaram entre 169 e 179 mm (30 min), 210 e 224 mm (40 min) e 667 e 768 mm (1440min). Destaca-se que para lâminas de duração de 10 min, o Bico do Papagaio (ao norte) apresenta os maiores valores de PMP. A porção leste do Estado, onde se localiza o Jalapão, apresentou valores de PMP mais moderados em relação às outras regiões do Estado, considerando todas as situações analisadas, sobretudo para as durações de 30 min (126-137 mm), 120 min (216-254 mm) e 180 min (241-283 mm). Entretanto a região sudeste do Tocantins apresentou sempre as menores lâminas de PMP para todas as durações analisadas em comparação com as demais regiões do Estado. Na porção oeste do Tocantins, onde se localiza o Parque Estadual do Cantão, os maiores valores de PMP foram para a duração de 20 minutos, variando entre 107 e 119 mm. Convertendo-se as lâminas de PMP para intensidade de precipitação, para a menor duração (10 min) têm-se intensidades variando de 498 a 630 mm h<sup>-1</sup>; enquanto que para a maior duração (1440 min) a intensidade varia de 17,13 a 32 mm h<sup>-1</sup>.



**Figura 5** - Mapas de precipitação máxima provável (PMP) para durações de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 360, 720 e 1440 minutos obtidos pelo inverso do quadrado da distância para o estado do Tocantins.

Quando comparados com mapeamentos realizados a partir de valores médios observados de chuvas intensas para regiões brasileiras, constata-se que os valores de PMP calculados para o estado do Tocantins são bastante elevados. Oliveira et al. (2008) obtiveram valores para duração de 1440 min entre 67,4 e 102,7 mm para o estado de Goiás (Região Centro-Oeste do Brasil). Mello e Viola, (2013) obtiveram lâminas entre 98,4 e 237,6 mm para o estado de Minas Gerais (Região Sudeste) para a mesma duração e um tempo de retorno de 5 anos. Aragão et al. (2013) encontraram valores entre 110,4 e 215,7 mm para duração de 1440 min no estado de Sergipe (Região Nordeste). Conforme os resultados do presente estudo, para o estado do Tocantins, a PMP calculada pelo método de Hershfield supera a lâmina média observada em cerca de 480% (10 min), 365% (20 min), 389% (30min), 409% (40 min), 404% (50 min), 414% (60 min), 471% (120 min), 485% (180 min), 483% (240 min), 482% (360 min), 621% (720 min) e 690% (1440 min).

A validação cruzada demonstra o desempenho aceitável do interpolador inverso do quadrado da distância no mapeamento da PMP com durações entre 10 e 1440 min no estado do Tocantins. A averiguação dos valores do fator de frequência  $K_m$  propostos pela metodologia de Hershfield, com base em 102 anos de dados observados em 10 estações pluviográficas do estado do Tocantins, indica superestimativa pela referida metodologia. A PMP de menor duração avaliada (10 min) apresentou lâminas entre 63 e 105 mm. Para a maior duração avaliada (1440 min) foram encontradas lâminas variando de 411 a 768 mm.

Considera-se os resultados do presente estudo como uma primeira aproximação para a PMP no estado do Tocantins. Recomenda-se, para o melhor entendimento da PMP, que é altamente relevante no dimensionamento de grandes empreendimentos hidráulicos, o aprofundamento das pesquisas. É relevante, por exemplo, o desenvolvimento de novos estudos utilizando o método hidrometeorológico. Contudo, salienta-se que para isto torna-se necessário o investimento na implantação e manutenção de postos de monitoramento meteorológico, visando aumentar a disponibilidade de séries e a redução das falhas nos registros.

## **CONCLUSÕES**

A PMP no estado do Tocantins apresenta valores mais elevados junto à região do Bico do Papagaio (extremo norte) e no sudoeste do estado. O inverso do quadrado da distância se sobressaiu dentre os interpoladores testados para a espacialização da PMP, com erros de estimativa considerados aceitáveis. Na comparação com estudos realizados para outras regiões do Brasil e do mundo com o método estatístico de Hershfield verificou-se a ocorrência de valores compatíveis com os obtidos no presente estudo. Esta pesquisa apresenta-se como uma primeira aproximação para o cálculo da PMP no estado do Tocantins, sendo recomendados estudos posteriores visando a aplicação do método hidrometeorológico, e assim, podendo-se atestar a qualidade das estimativas pela metodologia de Hershfield no ambiente tropical.



**AGRADECIMENTOS**

Ao Instituto Federal do Tocantins pela concessão de bolsa de qualificação (PROQUALIFICAR 08/2016) e ao o CNPq pela concessão de bolsa em produtividade em pesquisa.

**REFERÊNCIAS**

ALIAS, N. E.; LUO, P.; TAKARA, K. Probable maximum mrecipitation using statistical method for the Yodo River Basin. Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), v. 69, n. 4, p. I\_157-I\_162, 2013.

ANA. Agência Nacional das Águas. Hidroweb. Sistema de informações hidrológicas. 2015. Disponível em: < <http://hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em: 21 de Outubro de 2015. >.

ARAGÃO, R. D.; SANTANA, G. R. D.; COSTA, C. E. F. F. D.; CRUZ, M. A. S.; FIGUEIREDO, E. E. D.; SRINIVASAN, V. S. Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 17, n. 3, p. 243-252, 2013.

AVANZI, J. C.; VIOLA, M. R.; MELLO, C. R. D.; GIONGO, M. V.; PONTES, L. M. Modeling of the Rainfall and R-Factor for Tocantins State, Brazil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 43, 2019.

BOOTA, M. W.; NABI, G.; ABBAS, T.; JIN, H.; YOUSAF, A.; BOOTA, M. A. Comparative study of probable maximum precipitation and isohyetal maps for mountainous regions, Pakistan. Sciences in Cold and Arid Regions, v. 10, n. 1, p. 55-68, 2018.

BRAGA, R. N. D. S.; LYRA, G. B.; NASCENTES, A. L. Determinação e interpolação dos coeficientes das equações de chuvas intensas para cidade do Rio de Janeiro. Revista Ambiente & Água, v. 13, n. 1, p. 1-14, 2018.

BUREAU, U. W. Generalized estimates of probable maximum precipitation and rainfall-frequency data for Puerto Rico and Virgin Islands. Technical Paper No 1961. 94 p.

BURGER, L. C. Adaptação e análise do método de Hershfield para estimativa da precipitação máxima provável (PMP). 2014. (Dissertação de Mestrado). Departamento de Hidráulica e Saneamento do Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR. 100 p.

BURGER, L. C.; KAVISKI, E. Análise e extrapolação do método de Hershfield para determinação da Precipitação Máxima Provável. Água - desenvolvimento econômico e social. HÍDRICOS, A. B. D. R. Bento Gonçalves-RS: ABRH 2013.

CASAS, M. C.; RODRÍGUEZ, R.; NIETO, R.; REDAÑO, A. The Estimation of Probable Maximum Precipitation. Annals of the New York Academy of Sciences, v. 1146, n. 1, p. 291-302, 2008.

CASAS, M. C.; RODRÍGUEZ, R.; PROHOM, M.; GÁZQUEZ, A.; REDAÑO, A. Estimation of the probable maximum precipitation in Barcelona (Spain). International Journal of Climatology, v. 31, n. 9, p. 1322-1327, 2011. Disponível em: < <http://https://doi.org/10.1002/joc.2149> >.

CAVALCANTI, R. L. C.; SILVA, C. H. D. S.; JESUS, E. S. D.; FILHO, M. C.; STOŠIĆ, T. Estudo da Precipitação Máxima Provável e tempo de retorno em Recife (PE). III Congresso Internacional das Ciências Agrárias - COINTER. João Pessoa - PB: PDVAgro 2018.

CECILIO, R. A.; PRUSKI, F. F. Interpolação dos parâmetros da equação de chuv da equação de chuvas intensas com as intensas com uso do inv uso do inverso de potências da distância so de potências da distância. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 7, n. 3, p. 501-504, 2003.

CHAVAN, S. R.; SRINIVAS, V. Probable maximum precipitation estimation for catchments in Mahanadi river basin. *Aquatic Procedia*, v. 4, p. 892-899, 2015.

CHOW, V. T. *Handbook of applied hydrology*. New York: McGraw-Hill Company, 1964. 1468 p. p.

CONDE, R. P.; YAMAMOTO, J. K. Avaliação de reservas por métodos computacionais: um estudo de caso na Mina de Canoas 2 (PR). *Revista Brasileira de Geociências*, v. 26, n. 1, p. 35-42, 1996.

DESA, M. N.; NORIAH, A.; RAKHECHA, P. Probable maximum precipitation for 24 h duration over southeast Asian monsoon region—Selangor, Malaysia. *Atmospheric research*, v. 58, n. 1, p. 41-54, 2001.

DESA, M. N.; RAKHECHA, M. P. R. Probable maximum precipitation for 24-h duration over an equatorial region: Part 2-Johor, Malaysia. *Atmospheric Research*, v. 84, p. 84-90, 2006.

DESHPANDE, N.; KULKARNI, B.; VERMA, A.; MANDAL, B. Extreme rainfall analysis and estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP) by statistical methods over the Indus river basin in India. *Journal of Spatial Hydrology*, v. 8, n. 1, 2008.

EKANINGTYAS, L. R. Flood Inundation Prediction of Logung River due to the Break of Logung Dam. *Journal of the Civil Engineering Forum*, v. 3, n. 2, p. 61-72, 2017.

FATTAHI, E.; NOORIAN, A. M.; NOOHI, K. Comparison of physical and statistical methods for estimating probable maximum precipitation in southwestern basins of Iran. *Desert*, v. 15, n. 2, p. 127-132, 2010. Disponível em: <[https://jdesert.ut.ac.ir/article\\_23009\\_b93146425bd1c8c5f3ad8060d53efc60.pdf](https://jdesert.ut.ac.ir/article_23009_b93146425bd1c8c5f3ad8060d53efc60.pdf)>

FERNANDO, W.; WICKRAMASURIYA, S. The hydro-meteorological estimation of probable maximum precipitation under varying scenarios in Sri Lanka. *International Journal of Climatology*, v. 31, n. 5, p. 668-676, 2011.

GARDIMAN JUNIOR, B. S.; MAGALHÃES, I. A. L.; FREITAS, C.; CECÍLIO, R. A. Análise de técnicas de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na bacia do rio Itapemirim (ES). *Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*, p. 61-71, 2012.

GHAHRAMAN, B. The estimation of one day duration probable maximum precipitation over atrak watershed in Iran. *Iranian Journal of Science and Technology*, v. 32, n. B2, p. 175, 2008.

HARTMANN, M.; MOALA, F. A.; MENDONÇA, M. A. Estudo das precipitações máximas anuais em Presidente Prudente. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 26, n. 4, p. 561-568, 2011.

HERSHFIELD, D. M. Technical Paper N. 40: Rainfall Frequency Atlas of the United States, Department of Commerce. Weather Bureau, Washington, DC, 1961.

\_\_\_\_\_. Method for estimating probable maximum rainfall. American Water Works Association, p. 965-972, 1965.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. Biomas do Brasil. 2004.

KAPPEL, B.; MUHLESTEIN, G.; HULTSTRAND, D.; PARZYBOK, T. Probable Maximum Precipitation Study for Arizona. Applied Whater Associates, p. 275, 2013.

LAN, P.; LIN, B.; ZHANG, Y.; CHEN, H. Probable Maximum Precipitation Estimation Using the Revised K m-Value Method in Hong Kong. Journal of Hydrologic Engineering, v. 22, n. 8, p. 05017008, 2017.

LIMA, J. G. A.; VIANA, P. C.; SILVA, R. M.; ALVINO, F. C. G.; DA SILVA, G. D. Período de retorno das precipitações máximas para algumas cidades do Rio Grande do Norte. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 7, n. 5, p. 144-149, 2012.

LOPES, I.; DE MELO, J. M. M.; LEAL, B. G. Espacialização da temperatura do ar para a região do Submédio São Francisco. IRRIGA, v. 22, n. 1, p. 177-193, 2017.

MELLO, C. R.; LIMA, J. M.; SILVA, A. M.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, M. S. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, n. 5, p. 925-933, 2003.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Modelagem estatística da precipitação mensal e anual e no período seco para o estado de Minas Gerais. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 13, n. 1, p. 68-74, 2009.

MELLO, C. R. D.; VIOLA, M. R. Mapeamento de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 37, p. 37-44, 2013.

MITRA, A. K.; MOMIN, I. M.; RAJAGOPAL, E. N.; BASU, S.; RAJEEVAN, M. N.; KRISHNAMURTI, T. N. Gridded daily Indian monsoon rainfall for 14 seasons: Merged TRMM and IMD gauge analyzed values. Journal of Earth System Science, v. 122, n. 5, p. 1173-1182, 2013.

OLIVEIRA, J. P. B. D.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; ZANETTI, S. S. Espacialização da erosividade das chuvas no Brasil a partir de séries sintéticas de precipitação. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 10, n. 4, p. 558-563, 2015.

OLIVEIRA, L. F. C. D.; ANTONINI, J. C. D. A.; GRIEBELER, N. P. Estimativas de chuvas intensas para o Estado de Goiás. Engenharia Agrícola, v. 28, p. 22-33, 2008.

REZACOVA, D.; PESICE, P.; SOKOL, Z. An estimation of the probable maximum precipitation for river basins in the Czech Republic. Atmospheric research, v. 77, n. 1, p. 407-421, 2005.

SAMMEN, S.; MOHAMED, T.; GHAZALI, A. A.; SIDEQ, L.; AZIZ, A. A. Estimation of probable maximum precipitation for tropical catchment. MATEC Web of Conferences, 2018. EDP Sciences. p.03012.

SARKAR, S.; MAITY, R. Estimation of Probable Maximum Precipitation in the context of climate change. MethodsX, 2020.

SILVA, D. D.; GOMES FILHO, R. R.; PRUSKI, F. F.; PEREIRA, S. B.; NOVAES, L. F. Chuvas intensas no Estado da Bahia. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 6, n. 2, p. 362-367, 2002.

SILVA, D. D.; PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; RODRIGUES, R.; FILHO, G.; LANA, Â. M. Q.; BAENA, L. G. N. Equações de Intensidade-duração-frequência da precipitação pluvial para o Estado do Tocantins. Revista Engenharia na Agricultura, v. 11, n. 4, p. 7-14, 2003.

SILVA NETO, V. L. D.; BONFIM, D. D.; PROLO, T. T.; CARMO, E. L. D.; JÚNIOR, O. S.; VIOLA, M. R.; SILVA, L. L. D. Mapeamento da Precipitação Máxima Provável na bacia do rio Manuel Alves da Natividade. In: RODRIGUES, T. D. A.; NETO, J. L. (Ed.). Competência Técnica e Responsabilidade Social e Ambiental nas Ciências Agrárias. Ponta Grossa-PR: Atena Editora, 2019.

SINGH, V. P.; SINGH, A.; BYRD, A. Computation of probable maximum precipitation and its uncertainty. International Journal of Hydrology, v. 2, n. 2, 2018.

SOUZA, F. H. M. D.; VIOLA, M. R.; AVANZI, J. C.; GIONGO, M.; FILHO, M. V. THORNTHWAITE'S CLIMATE REGIONALIZATION FOR THE STATE OF TOCANTINS, BRAZIL. FLORESTA, v. 49, n. 4, p. 783-792, 2019.

SUGAI, M. R. V. B.; FILL, H. D. O. A. Tempo de recorrência associado à Precipitação Máxima Provável na região sul do Brasil. Revista Brasileira de Engenharia, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 110, 1990.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação (Org.). Porto Alegre: Ed. da UFRGS: ABRH, 2009. 943 p.

VIOLA, M. R.; MELLO, C. D.; PINTO, D. B.; MELLO, J. D.; ÁVILA, L. F. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, n. 9, p. 970-978, 2010.

VIOLA, M. R. AVANZI, J. C. MELLO, C. R. D. LIMA, S. D. O. ALVES, M. V. G. Distribuição e potencial erosivo das chuvas no Estado do Tocantins. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 49, p. 125-135, 2014.

WANGWONGWIROJ, N.; KHEMNGOEN, C. Probable maximum precipitation in tropical zone (Thailand) as estimated by generalized method and statistical method. International Journal of Climatology, v. 39, n. 13, p. 4953-4966, 2019.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation - PMP. Geneva: 2009. 291 p.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). International Journal of Climatology, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, 2016