

MAPEAMENTO DA PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PROVÁVEL NA BACIA DO RIO MANUEL ALVES DA NATIVIDADE

Virgílio Lourenço da Silva Neto¹, Delfim Dias Bonfim², Tamara Thalia Prolo³, Pedro Henrique Haddad Araujo⁴, Ezequiel Lopes do Carmo⁵, Otacílio Silveira Júnior⁶

¹MSc. em Ciências Florestais, professor do curso técnico em Agropecuária Integrado ao Ensino Médio/Bacharelado em Engenharia Agrônoma-IFTO. E-mail: <virgilio.neto@ifto.edu.br>

²MSc. em Matemática, professor do curso técnico em Agropecuária Integrado ao Ensino Médio/Bacharelado em Engenharia Agrônoma-IFTO. E-mail: <delfim.bonfim@ifto.edu.br>

³Discente do curso de Bacharelado em Engenharia Agrônoma Campus Dianópolis/IFTO. Bolsista do PIBIC/IFTO e-mail: <thaliprolo5@gmail.com>

⁴Engenheiro Agrônomo - IFTO. E-mail: <p-haddad@hotmail.com>

⁵Dr. em Agronomia (Energia na Agricultura), professor do curso técnico em Agropecuária Integrado ao Ensino Médio/Bacharelado em Engenharia Agrônoma-IFTO. E-mail: <ezequiel.carmo@ifto.edu.br>

⁶Dr. em Ciência Animal Tropical pela Universidade Federal do Tocantins, Técnico de Laboratório/Área do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. E-mail: <otacilio.junior@ifto.edu.br>

Resumo: A Precipitação Máxima Provável é definida como a maior altura de chuva meteorologicamente possível de ocorrer sobre uma determinada bacia hidrográfica, correspondente a uma dada duração, sem levar em conta as tendências climáticas de longo prazo. O objetivo deste trabalho consiste na determinação da precipitação máxima provável para 10 estações pluviométricas inseridas na Bacia do Rio Manuel Alves, bem como o mapeamento desta variável para a referida área. Foram utilizados dados de precipitações máximas do período entre 1986 a 2016, das estações meteorológicas distribuídas espacialmente na referida Bacia e seu entorno. A PMP 24h para a Bacia do Rio Manuel Alves da Natividade apresentou lâminas entre 263 e 444 mm. Na comparação com estudos realizados para outras regiões do Brasil e do mundo, pelo método estatístico, verificaram-se a ocorrência de valores de PMP compatíveis com os obtidos no presente estudo.

Palavras-chave: inverso da potência da distância, Hershfield, hidrologia

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a WMO (2009), o objetivo da estimativa da PMP é calcular o valor da Cheia Máxima Provável (CMP) utilizado na elaboração de um projeto para uma localização geográfica específica em uma bacia hidrográfica, para obter mais informações que poderiam ajudar a projetar a altura da barragem e a capacidade de armazenamento do reservatório e a dimensão do sistema extravasor (vertedor) da barragem do projeto.

Considerando a natureza da matriz energética do estado e do Brasil, deve-se dedicar atenção especial à construção de barragens. O Tocantins apresenta grande potencial hídrico, com 14 usinas hidrelétricas em operação, 13 projetadas e 8 usinas em construção (TOCANTINS, 2012), e com potencial hidráulico reconhecido para novos projetos. Diante disto é imprescindível a adequada determinação da PMP, visando subsidiar o cálculo da cheia de projeto e consequente adequado dimensionamento de estruturas hidráulicas que a exigem. Ressalta-se, que segundo Burger (2014) a PMP é adotada para o dimensionamento de grandes barragens.

Os riscos provenientes de uma possível ruptura ou transposição de massas de água associadas aos galgamentos de uma barragem de grande porte incluem perdas de vidas humanas, danos físicos e

materiais, paralisação da economia local, colapso do sistema hidrelétrico, dentre outros. Estes riscos podem ser minimizados com o dimensionamento adequado das estruturas hidráulicas (SILVA NETO, 2016).

A segurança máxima de uma barragem corresponde a uma probabilidade insignificante de transbordamento por efeito de cheias ao longo de um período de tempo. Uma das formas para se alcançar este objetivo é a de tentar aproximar esta probabilidade a zero, através do cálculo do limite superior fisicamente possível de precipitar e escoar na área de drenagem em questão (KELMAN e DAMÁZIO, 1985, apud BURGER, 2014).

Desta forma, este estudo tem como objetivo geral a determinação da precipitação máxima provável para 10 estações pluviométricas inseridas na Bacia do Rio Manuel Alves e entorno, bem como o seu mapeamento, tendo como objetivos específicos: Coletar dados de precipitação máxima diária anual para a cidade de Dianópolis por meio da rede hidrometeorológica da Agência Nacional das Águas (ANA); Constituir uma série histórica de 30 anos com base nos dados de precipitação máxima diária anual obtidas junto à ANA no período de 1986 a 2016; testar o melhor interpolador determinístico Inverso da Potência da Distância, considerando os expoentes 2, 3, 4 e 5.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A Precipitação Máxima Provável (PMP) é definida como a maior altura de chuva meteorologicamente possível de ocorrer sobre uma determinada bacia hidrográfica, correspondente a uma dada duração, sem levar em conta as tendências climáticas de longo prazo (WMO, 2009). Dados pluviométricos e meteorológicos são utilizados para definir a chuva de projeto, e as peculiaridades da bacia hidrográfica são interpretadas na forma de um modelo de transformação de precipitação em escoamento.

Burger (2014), afirma que através da utilização de modelos de transformação de chuva em vazão, transforma-se a Precipitação Máxima Provável na Cheia Máxima Provável (CMP), que é o hidrograma máximo teórico que pode ocorrer em uma determinada bacia hidrográfica, em uma determinada época do ano, correspondente ao resultado da ocorrência da PMP. A autora ainda afirma que os dados pluviométricos e meteorológicos são utilizados para definir a chuva de projeto, e as peculiaridades da bacia hidrográfica são interpretadas na forma de um modelo de transformação de precipitação em escoamento.

Para estimar a PMP, os métodos utilizados podem ser classificados em métodos hidrometeorológicos e métodos estatísticos. O primeiro considera as condições meteorológicas mais severas das ocorrências observadas, partindo do princípio que o total precipitado tende a crescer à medida que aumenta o teor de umidade do fluxo de ar que alimenta as tempestades. Este método é aplicável quando existem dados pluviométricos de um número significativo de tormentas severas

observadas 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 procedimentos estatísticos para estimar a PMP podem ser empregados sempre que há dados disponíveis de precipitação, e são particularmente úteis para fazer estimativas onde outros dados meteorológicos, como registros de ponto de orvalho e vento, são escassos. Portanto o método estatístico em muitos casos é mais vantajoso do que o método hidrometeorológico, em função da carência de dados meteorológicos e do custo que este método demanda para ser aplicado. No entanto, os métodos estatísticos contêm duas desvantagens importantes: a primeira, é que ele apenas aponta valores de PMP e, portanto, requer curvas de redução de área para ajustar os valores para as áreas de vários tamanhos. O segundo problema é determinar o valor apropriado para utilização de K, uma variável estatística que depende da distribuição de frequência de dados hidrológicos de valores extremos (WMO, 2009).

Os métodos estatísticos permitem uma rápida estimativa da PMP e constituem-se como ferramentas de grande utilidade. Dentre os métodos estatísticos propostos para a estimativa da PMP, pode-se destacar o recomendado pela World Meteorological Organization (WMO), que é o método de Hershfield. No entanto, deve-se considerar que este método foi recomendado para bacias de até 1.000 km², mas tem sido aplicado a áreas muito maiores e para durações de chuva de até 24h, e seus parâmetros foram determinados para regiões em sua maioria localizadas nos Estados Unidos (WMO, 2009; BURGUER, 2014).

Segundo Burger (2014), no momento da escolha do método a ser utilizado para a estimativa da PMP, um dos fatores importantes a ser observado é a disponibilidade de dados. Por isso, em muitos casos opta-se pela estimativa da PMP através do método estatístico, que somente utiliza dados de precipitação, e com custo significativamente menor que o hidrometeorológico.

No Brasil, um dos trabalhos mais importantes neste contexto é de [Sugai e Fill \(1990\)](#), que objetivava a determinação da PMP de 1 e 2 dias, a partir da análise do tempo de recorrência, em 45 postos pluviométricos na região Sul do Brasil. Outros estudos sobre estimativas da PMP foram realizados por Burger (2014) para o estado do Paraná, por SILVA NETO et al., (2016) para o estado do Tocantins.

O interpolador inverso do quadrado da distância (IQD) pode ser aplicado no mapeamento de variáveis climáticas com bons resultados (CECILIO e PRUSKI, 2003; VIOLA et al., 2010; GARDIMAN JUNIOR et al., 2012). De acordo com [Mello et al. \(2003\)](#), a base teórica para aplicação desta metodologia centra-se na sua semelhança com a Lei de Gravitação Universal e Lei de Coulomb (Força e Campo Elétrico), ambas com enfraquecimento diretamente proporcional ao inverso da

distância.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado na Bacia Hidrográfica do Rio Manuel Alves da Natividade, utilizando dados de precipitações máximas do período entre 1986 a 2016, das estações meteorológicas distribuídas espacialmente na Bacia Hidrográfica do Manuel Alves de Natividade e seu entorno (Figura 1)

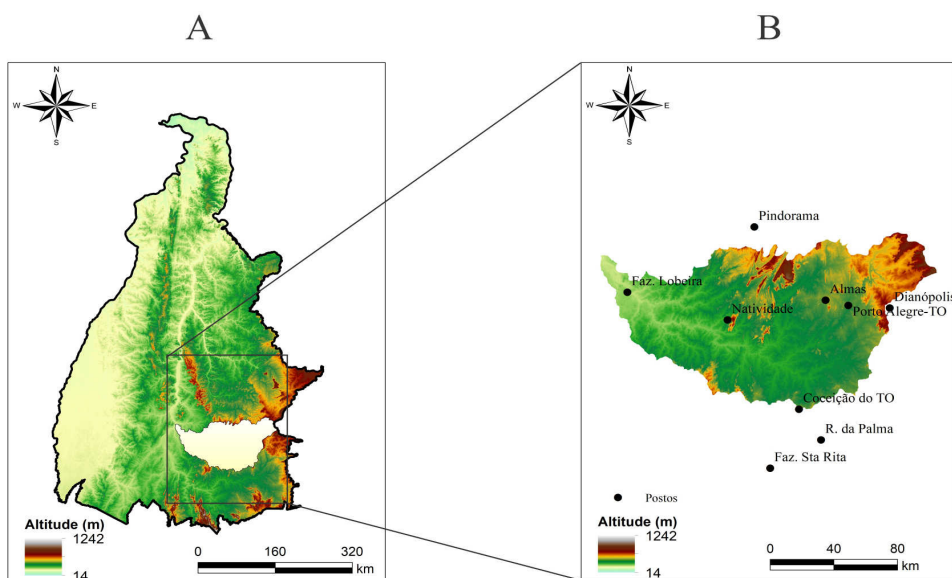


Figura 1 - Mapa de elevação altimétrica do Tocantins (A) e Bacia Hidrográfica do Rio Manuel Alves da Natividade com postos pluviométricos utilizados neste estudo (B)

Segundo a WMO (2009), a metodologia para determinação da PMP, desenvolvida por Hershfield (1961;1965), baseia-se na equação geral de frequência proposta por Ven Te Chow (1964):

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

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

Os valores dos fatores de frequência K_m para cada uma das estações foram calculados utilizando-se a Equação 2, foram calculados a partir da máxima precipitação observada no local $X_{máx}$, e utilizando a média e o desvio padrão da série excluindo o valor $X_{máx}$, conforme a Equação proposta por Hershfield (1965):

$$K_m = \frac{X_{máx} - X_{n-1}}{S_{n-1}} \quad (2)$$

Hershfield (1965) apud (Galvêncio e Sousa (2002)), através de estudos para vários locais do mundo, adaptou o valor de m K para 15, e sugeriu a seguinte expressão para a estimativa da PMP:

$$X_{PMP} = \bar{X}_n + 15 \cdot S_n \quad (3)$$

A Eq. 1 e a Figura 2 constituem a base do método estatístico de Hershfield para a estimativa da PMP.

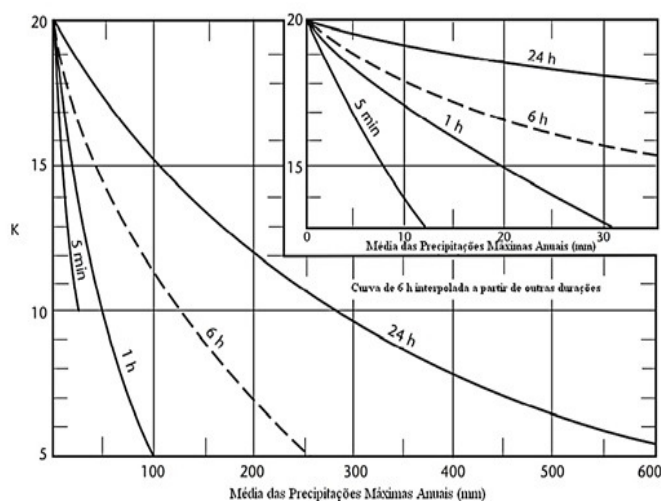


Figura 2 - Valores de K_m em função da duração da chuva intensa (curvas de 5 min, 1 h, 6 h e 24 h) e da lâmina média observada (WMO, 2009)

Segundo WMO (2009), a presença de valores atípicos (*outliers*), entendidos como chuvas de ocorrência rara, pode influenciar a média e o desvio padrão das séries históricas. A magnitude do efeito é menor para longos registros do que para curtos, e isso varia de acordo com a raridade do evento. Hershfield (1961) estudou este efeito e a Figura 2 (a, b) apresenta os ajustes sugeridos para \bar{X}_n e S_n , como função do tamanho da série e do valor médio observado, em mm, visando compensar a presença de valores atípicos (WMO, 2009). O procedimento, segundo SILVA NETO (2016), deve ocorrer da seguinte forma:

- I. Determinar \bar{X}_n (média) e S_n (desvio padrão) da série histórica anual;
- II. Determinar \bar{X}_{n-m} e S_{n-m} , sendo \bar{X}_{n-m} , a média da precipitação máxima obtida pela série histórica anual, excluindo-se dela o maior valor observado e, S_{n-m} , o desvio padrão obtido da série histórica anual de precipitação máxima, excluindo-se da série o maior valor observado.
- III. Estabelecer a relação $\bar{X}_{n-m} / \bar{X}_n$ e a relação S_{n-m} / S_n ;

IV. Com o valor obtido dessas relações, a partir do eixo x como referência, determinar o ajuste recomendado no eixo y (%) em função do tamanho da série (anos) para X_n (Figura 3a) e S_n (Figura 3b).

Em termos práticos, isto significa que, para uma relação $\bar{X}_{n-m} / \bar{X}_n$ igual a 0,9 (eixo x), considerando uma série histórica de 30 anos, o ajuste recomendado será equivalente a 0,93 (eixo y), que deve ser multiplicado a \bar{X}_{n-m} . Da mesma forma, para uma relação S_{n-m} / S_n equivalente a 0,9 (eixo x), considerando a mesma série de 30 anos, o ajuste aplicado para S_n será de 1,02 (eixo y), que deve ser multiplicado a S_{n-m} (Figura 3).

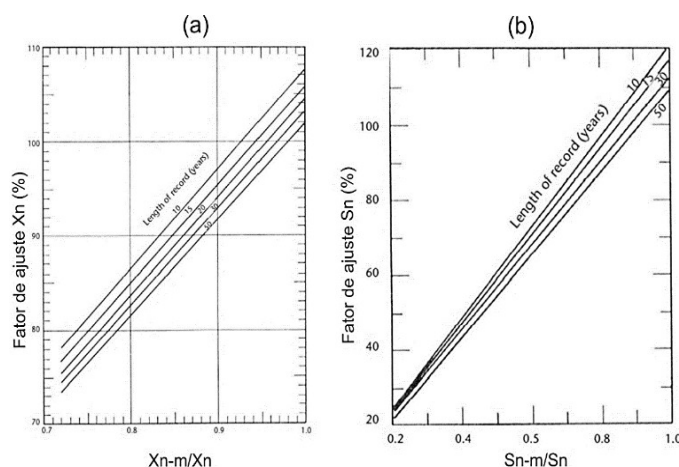


Figura 3 - Fatores de correção para a média (a) e desvio padrão (b) das séries anuais de precipitação máxima como função do tamanho da série e do valor médio observado, em mm, visando compensar a presença de valores atípicos (WMO, 2009).

Segundo Burguer (2014), 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 assimétrica com a cauda para a direita. Assim, a Figura 4 apresenta os ajustes sugeridos conforme o tamanho da amostra (WMO, 2009). Assim como nos ajustes anteriores, o eixo y corresponde ao ajuste recomendado (%) de acordo com tamanho da amostra descrita no eixo x, ou seja, para uma série de 25 anos, o ajuste recomendado para \bar{X}_n será de 1,01 e para S_n , de 1,05, que deve ser aplicado ao valor da média e desvio padrão ajustados. Este ajuste difere do recomendado na Figura 36 por não considerar o valor atípico obtido pelas relações anteriormente mencionadas, mas sim, apenas a recomendação de um fator de ajuste (eixo y) conforme forme o tamanho da amostra (eixo x).

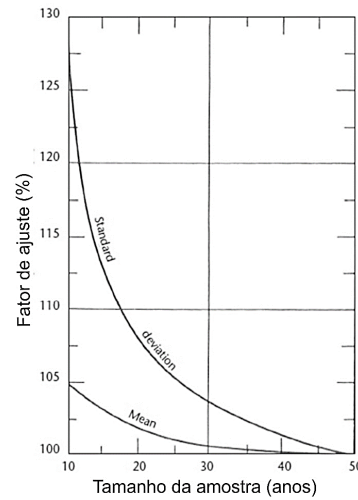


Figura 4 - Fator de Ajuste (%) da média e desvio padrão das séries anuais em função do tamanho da série (WMO, 2009)

Para o mapeamento da PMP foi empregado o interpolador inverso do quadrado da distância (IQD), cuja formulação encontra-se descrita na Equação 3 (MELLO et al., 2003). A justificativa para aplicação do IQD encontra-se na inviabilidade de utilização de interpoladores geoestatísticos, uma vez que a maioria dos mapeamentos será desenvolvido a partir de dados de 10 localidades do estado do Tocantins.

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

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 do mapeamento 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 Equação 4 (SANTOS et al., 2011):

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

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

Para Lewis (1997), a classificação do Empa é apresentada como: Empa < 10% “muito bom”; Empa < 20% “bom”; Empa < 30% “razoável” e Empa > 30% “impreciso”.

O viés estatístico ou Bias (BIAS) foi calculado de acordo com Liew et al. (2007), pela Equação 5. O valor do BIAS corresponde ao percentual de viés das variáveis estimadas com relação às variáveis observadas.

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

Onde, $Q_{k_{sims}}$ é o valor simulado e $Q_{k_{obs}}$, é o valor observado da variável estudada e o n é o número de postos pluviométricos.

Os valores foram classificados da seguinte maneira: $|BIAS| < 10\%$, considerado muito bom; $10\% < |BIAS| < 15\%$, bom; $15\% < |BIAS| < 25\%$, satisfatório e $|BIAS| > 25\%$, o modelo é considerado inadequado (LIEW et al., 2007).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os postos pluviométricos localizados no sudeste do Tocantins que foram considerados para a realização deste estudo foram os que apresentaram dados satisfatórios de séries históricas de precipitação superior a 24 anos. Na Tabela 1, podem ser observados estes postos pluviométricos por município, além de suas respectivas altitudes e séries históricas e, principalmente, o resultado da PMP calculada para cada posto.

Tabela 1 – Postos pluviométricos utilizadas neste estudo neste estudo para determinação da PMP para a Bacia do Rio Manuel Alves da Natividade.

Cód. Estação	Posto	Município	Altitude (m)	Série Histórica (anos)	PMP 24h (mm)
1147000	Almas	Almas	427	27	316,41
1246001	Aurora	Aurora do Tocantins	464	29	443,98
1247000	Conceição	Conceição do Tocantins	407	27	364,00
1146000	Dianópolis	Dianópolis	679	24	346,70
1148000	Faz. Lobeira		243	30	393,90

1247005	Faz. Sta Rita	Fátima	340	26	343,50
1147001	Natividade	Natividade	308	24	362,20
1147002	Pindorama	Pindorama do Tocantins	444	33	403,00
1147003	Porto Alegre	Porto Alegre do Tocantins	372	26	263,20
1247002	R. da Palma	Conceição do Tocantins	322	24	347,10

A estação de Aurora, localizada no município de mesmo nome, fora da bacia do rio Manuel Alves da Natividade, a sudeste, apresentou o maior valor de PMP de 24h (443 mm), seguido pelos valores de PMP das estações de Pindorama (403 mm) e São Valério da Natividade (393 mm). É importante destacar estação de Aurora foi utilizada neste estudo com o intuito de melhorar a região de contorno para fins de mapeamento. Já a estação de Porto Alegre do Tocantins apresentou o menor valor de PMP de 24h (263 mm), seguido pelos valores de PMP de 24h das estações de Almas (316 mm) e Faz. Sta. Rita, no município de Fátima (343 mm).

A partir do cálculo da PMP, foi aplicado o interpolador inverso da potência da distância, considerando-se os expoentes 2 (IPD2), 3 (IPD3), 4 (IPD4) e 5 (IPD5). Pode-se observar na Tabela 2, que o menor EMPA foi encontrado para o interpolador IPD2, considerando todas as estações analisadas. Especificamente para este interpolador, obteve-se EMPA de 11,03%, classificado como “bom”. Diversas pesquisas sobre o mapeamento de variáveis climáticas encontraram EMPA de mesma grandeza e tiveram seus resultados considerados adequados pelos autores, como nos estudos de Santos et al., (2012), Viola et. al., (2014), Alves et. al., (2014) e Araújo (2018).

Tabela 2 – Viés estatístico (Bias) e Erro Médio Percentual Absoluto dos interpoladores utilizados neste estudo.

Interpolador	Bias (%)	EMPA (%)
IPD2*	- 4,77	11,03
IPD3	- 6,09	11,82
IPD4	- 6,49	12,05
IPD5	- 6,62	12,09

*Melhor desempenho.

IPD = Inverso da Potência da Distância.

A análise dos resultados do BIAS mostrou pequena tendência de subestimativa. Valores menores que 10% foram obtidos considerando-se todos os expoentes do interpolador IPD, o que os classifica como “muito bom”. Cabe destacar que o menor BIAS foi obtido pelo interpolador IPD5 e o maior Bias para o IPD2. Importante inferir que o ideal é valor do Bias tendendo a zero. (XAVIER et al., 2016). Nota-se, em outros estudos, que valores de BIAS da mesma ordem de grandeza foram considerados adequados, destacando-se Mitra et al. (2013).

A Figura 5 apresenta o mapa de PMP associado com a duração de 24h, obtido a partir do banco de dados pluviométrico de 10 localidades na bacia do Rio Manuel Alves da Natividade e seu entorno. Observam-se lâminas de PMP elevadas para toda a área da bacia.

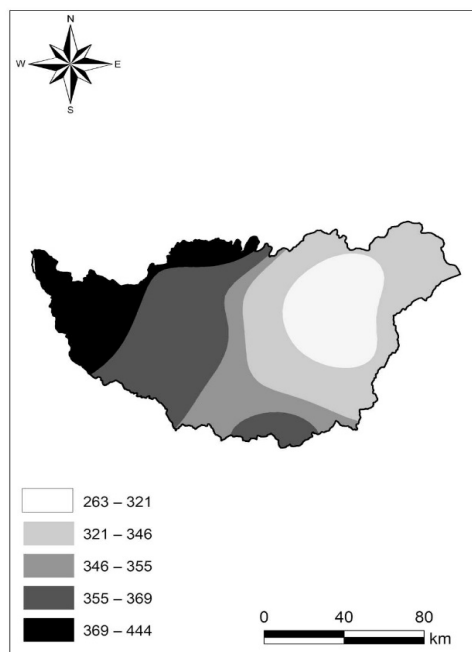


Figura 5 - Mapa de precipitação máxima provável (PMP) para duração de 24h obtido pelo inverso da potência da distância com expoente 2, a partir de um banco de dados pluviométricos de 10 localidades na Bacia do Rio Manuel Alves da Natividade e seu entorno.

Contudo, pode-se observar regiões nas quais predominam maiores valores, especialmente na região noroeste da bacia, onde registrou-se lâminas de PMP entre 369 e 444 mm, área em que se localiza a Usina Hidrelétrica de Natividade I. Na região centro-leste, onde se localizam as estações de Almas e Porto Alegre, foram obtidas lâminas de PMP entre 263 e 321 mm, próximo a esta região estão inseridas as Centrais Geradores Hidrelétricas de Bagagem (a noroeste) e de Peixinho (a nordeste). No extremo leste da bacia foram registradas lâminas de PMP entre 321 e 346 mm, sendo que nesta área estão localizadas inúmeras Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH Dianópolis, Agro Trafo, Areia, Diacal II, Porto Franco, Água Limpa Riacho Preto, Boa Sorte) e a Usina Hidrelétrica Caetana. Já na porção centro-oeste, foram obtidas lâminas entre 355 e 369 mm e na região central da bacia os valores encontrados para as lâminas de PMP estão entre 346 e 355mm.

O conhecimento sobre a precipitação máxima provável nestas regiões é de suma importância para a supervisão das barragens, contribuindo para sua conservação e manutenção, considerando os riscos de transbordamento que pode levar a graves perdas econômicas, patrimoniais e humanas. 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, 1989; TUCCI, 2009).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A PMP 24h para a Bacia do Rio Manuel Alves da Natividade apresentou lâminas entre 263 e 444 mm. Na comparação com estudos realizados para outras regiões do Brasil e do mundo, pelo método estatístico, verificaram-se a ocorrência de valores de PMP compatíveis com os obtidos no presente estudo. Os valores encontrados de PMP para a área da referida bacia hidrográfica foram obtidos por 10 estações pluviométricas, sendo que nem todas estão na área delimitada pela bacia. 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.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, pela concessão de bolsa ao primeiro autor, por meio do Programa de Apoio ao Pesquisador/Arranjos Produtivos Locais – PAP/APL, via Edital nº 8/2017/REI/IFTO, DE 12 DE ABRIL DE 2017.

REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional das Águas. Hidroweb. Sistema de informações hidrológicas. Disponível em: < <http://hidroweb.ana.gov.br> >. Acesso em: 10 de maio de 2017.

ARAUJO, P. H. H. **Variabilidade espacial e temporal da precipitação na bacia hidrográfica do rio Manuel Alves de Natividade**. 2018. (Bacharelado em Engenharia Agrônômica). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Dianópolis - IFTO, Dianópolis. 2018. 46 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.

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.

GALVÍNCIO, J. D.; SOUSA, F. A. S. Precipitação máxima provável com duração de um dia no Estado da Paraíba. XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu-PR, 2002.

GARDIMAN JUNIOR, B. S. et al. 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.

MELLO, C. D. et al. 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. ISSN 0100-0683.

MITRA, A. K. et al. 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. ISSN 0973-774X. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s12040-013-0338-3> >.

SILVA NETO, V. L. **Chuvas Intensas no estado do Tocantins**. 2016. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais). Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal do Tocantins - UFT, Gurupi, TO. 116 p.

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.

TOCANTINS. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública: subsídios ao planejamento da gestão territorial. Palmas: SEPLAN/DZE. **Atlas do Tocantins**, 2012. Disponível em: < http://web.seplan.to.gov.br/Arquivos/Publicacoes/Atlas2012/z_Completo_Atlas_do_Tocantins_2012_portugues.pdf >.

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

VIOLA, M. R. et al. 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. Disponível em: < <https://www.researchgate.net/publication/262631127> >.

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. ISSN 1097-0088.