

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

ANÁLISE DE ESTIMATIVA DA PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PROVÁVEL CONSIDERANDO MÉTODOS HIDROMETEOROLÓGICOS E ESTATÍSTICOS

Carolina Marques Sampaio¹; Márian da Costa Rohn²; Luan Marcos da Silva Vieira³

Abstract: Probable Maximum Precipitation (PMP) evaluation is employed for the design and verification of structures in terms of hydraulic safety, considering a physical limit for precipitation. This study was developed for a watershed located in the Zona da Mata region in Minas Gerais, Brazil, watershed Rio Matipó, specifically a sub-watershed within the Rio Doce basin, which contains water storage reservoirs. Variations of two distinct methods for precipitation estimation were applied, namely: the Hydrometeorological Method, subdivided into two approaches (Envelope of Observed Dew Point and Dew Point Estimate for a 100-year recurrence time), and the Statistical Method, further subdivided into two methods (Hershfield's Method and Adapted Hershfield's Method, based on local data). Four rain gauge stations at the watershed boundary and three meteorological stations in the surrounding area were analyzed. Calculation quality was assessed through comparative metrics. It is assumed that the developed models can be used for the characterization of the rainfall regime of the watershed regards to extreme climatic events.

Resumo: O cálculo da Precipitação Máxima Provável (PMP) é uma ferramenta utilizada para o dimensionamento e verificação de estruturas quanto a segurança hidráulica, considerando um limite físico para precipitação. Neste trabalho, o cálculo foi desenvolvido para uma bacia localizada na região da Zona da Mata em Minas Gerais, bacia do Rio Matipó, sendo uma sub-bacia pertencente à bacia do Rio Doce, a qual apresenta em seu território barramentos para armazenamento de água. Foram empregadas variações de dois métodos distintos indicados para estimativa de precipitação, a saber: o Método Hidrometeorológico, este subdividido em duas abordagens (Envoltória de ponto de orvalho observado e Estimativa de ponto de orvalho para 100 anos de tempo de recorrência), e o Método Estatístico, este subdividido em outros dois (Método de Hershfield e Método de Hershfield Adaptado, considerando dados locais). Foram analisadas quatro estações pluviométricas no limite da bacia hidrográfica e três estações meteorológicas no entorno. A qualidade do cálculo foi avaliada por meio de métricas comparativas. Admite-se que os modelos desenvolvidos possam ser empregados para caracterização do regime pluviométrico da referida bacia frente a eventos climáticos extremos.

Palavras-Chave – precipitação máxima provável, método hidrometeorológico, método estatístico.

1) Engenheira Civil (UFMG), BVP Geotecnia & Hidrotecnia – email: carolina.marques@bvp.eng.br,

2) Engenheira Civil (UFPR), BVP Geotecnia & Hidrotecnia – email: marian.rohn@bvp.eng.br,

3) Engenheiro Civil (UFRB) – email: luan.msv@gmail.com

INTRODUÇÃO

Eventos hidrológicos como tempestades convectivas e sistemas frontais, tem por características elevadas precipitações. No Brasil por exemplo, regiões como o Sul e o Sudeste são comumente atingidas por eventos extremos, como descreve Salviano (2018). O WMO (2009) estabelece o procedimento da estimativa do cálculo da Precipitação Máxima Provável (PMP) a ser realizado para diversas regiões, a saber regiões de latitudes médias com efeito orográfico e não orográficos e regiões tropicais. Segundo Mello e Viola (2013) a porção Leste do estado de Minas Gerais, onde está localizada a bacia do Rio Matipó, possui uma atuação mais intensificada da ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul), além sofrer com possíveis interferências orográficas dada a topografia regional, a qual influencia no regime pluvial da região.

A Precipitação Máxima Provável (PMP), segundo a *World Meteorological Organization*, é definida como a maior altura de chuva meteorologicamente possível de ocorrer sobre uma determinada bacia hidrográfica, correspondente a uma dada duração e época do ano, sem levar em conta as tendências climáticas de longo prazo. São utilizados dados pluviométricos e meteorológicos 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.

Dessa forma, modelos de cálculo para estimativa de PMP são usualmente empregados para caracterização desses fenômenos extremos, dado a sua capacidade de previsão dos impactos desses eventos. Todavia, as metodologias requerem o desenvolvimento de um inventário de informações hidrometeorológicas, o qual utiliza conhecimento dos processos pertinentes ao ciclo hidrológico, como precipitação, ponto de orvalho e pressão. Para a determinação da PMP, os métodos utilizados podem ser classificados basicamente em métodos hidrometeorológicos e métodos estatísticos.

Os métodos hidrometeorológicos baseiam-se na maximização de tormentas severas; quanto aos métodos estatísticos, a abordagem mais tradicionalmente utilizada toma por base a equação geral de frequência apresentada por Chow [Tucci et al. (1993)]. Os métodos hidrometeorológicos são os procedimentos mais tradicionais para a determinação da precipitação máxima provável. No entanto, sua aplicação por vezes esbarra na carência de dados meteorológicos em quantidade e qualidade suficiente. Por sua vez, os métodos estatísticos são úteis para uma estimativa rápida da PMP e também são muito utilizados em casos onde a região em estudo apresenta escassez de dados meteorológicos.

O estudo tem por objetivo principal estimar a PMP utilizando dois métodos distintos para estimativa da precipitação: o Método Hidrometeorológico, este subdividido em duas abordagens (Envoltória de ponto de orvalho observado e Estimativa de ponto de orvalho para 100 anos de tempo de recorrência) e o Método Estatístico, este subdividido em outros dois: Método de Hershfield e Método de Hershfield Adaptado, considerando dados locais. Essa comparação visa avaliar a consistência, aplicabilidade e limitações de cada abordagem, contribuindo para a escolha do método mais adequado em estudos hidrológicos regionais e no dimensionamento de estruturas hidráulicas voltadas à mitigação de riscos associados a eventos extremos de precipitação.

DADOS UTILIZADOS

A área de estudo está localizada na bacia hidrográfica do rio Matipó, localizada na região sudeste do Brasil, sendo pertencente à região da Zona da Mata no estado de Minas Gerais. Para a elaboração e estimativa dos modelos, foram utilizadas quatro estações pluviométricas operadas pela CPRM e pelo INMET, e disponíveis no banco de dados da ANA (Agência Nacional de Águas). A localização das estações pluviométricas está apresentada na Figura 1, e a título de comparação, apresenta-se o pluviograma com as precipitações médias mensais na Figura 2.

Figura 1: Estações pluviométricas e meteorológicas para monitoramento da Bacia

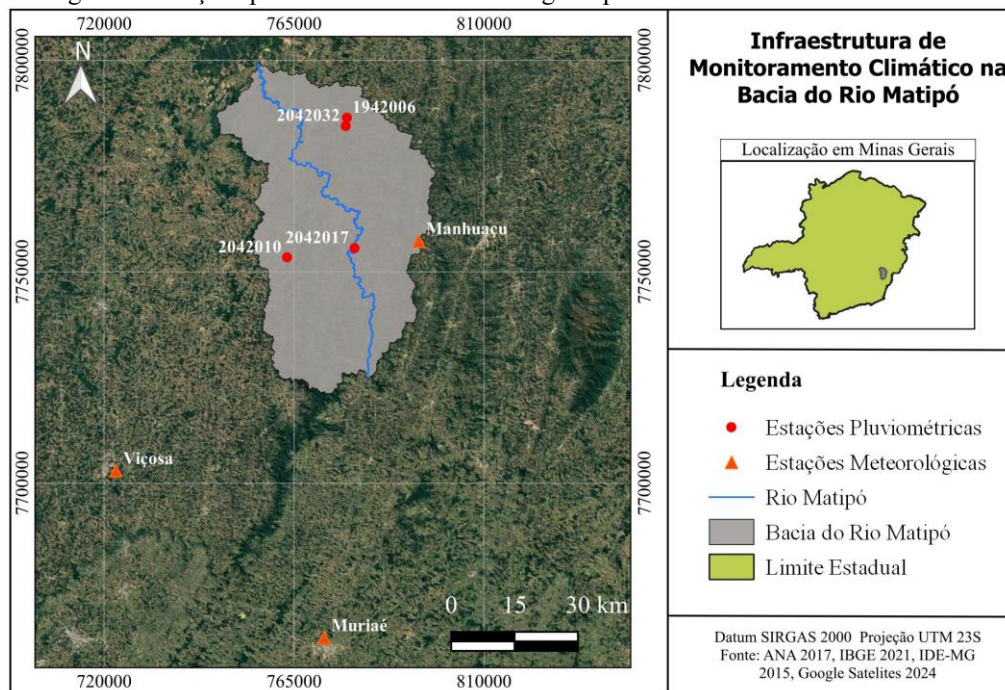
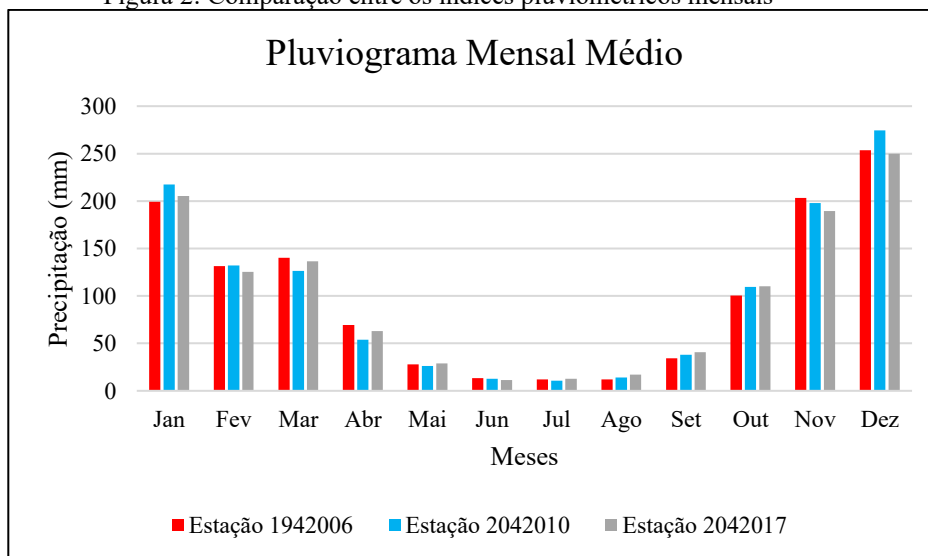


Figura 2: Comparação entre os índices pluviométricos mensais



Para os dados meteorológicos, foram analisadas três estações (Manhuaçu, Muriaé e Viçosa). As informações de ponto de orvalho foram obtidas e analisadas segundo o banco de dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

Em grande parte do período chuvoso, as estações de Muriaé e Viçosa apresentam valores acima de 26°C, máximo ponto de orvalho admitido no Brasil. Segundo Carvalho (2000), valores acima desse limite são provenientes de evaporação localizada ou erros de observação no monitoramento e consequentemente não representam a umidade na região. Assim, a localização geográfica da estação e a pequena variação da extensão da série de dados, frente às demais estações analisadas, foram os principais critérios que orientaram a escolha da estação Manhuaçu (código: A556). Para o avanço do

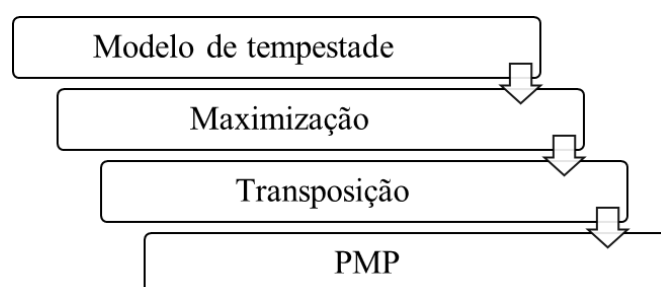
estudo foi selecionada a estação pluviométrica Matipó (2042017) devido a série de dados consistente, homogênea e a proximidade com a estação meteorológica selecionada.

MODELOS DE ESTIMATIVA DE PMP

Os modelos hidrometeorológicos são métodos que maximizam precipitações históricas considerando situações adversas extremas. Esses métodos consistem essencialmente na maximização da umidade e transposição de tempestades observadas e combinações dessas, assim a maior quantidade de água precipitável que deverá ocorrer sobre certa localidade é relacionada diretamente a quantidade de massa de vapor de água existente em uma determinada coluna de ar. Segundo o WMO (2009), os principais fatores que influenciam na estimativas de PMP são os fatores de umidade, determinados a partir dos pontos de orvalho superficiais, e o fator dinâmico, determinados a partir de dados extremos de precipitação observados.

A Figura 3 apresenta o esquema recomendado pela WMO (2009) para o cálculo da estimativa de PMP considerando os métodos hidrometeorológicos.

Figura 3: Esquema de cálculo de PMP. Fonte: WMO (2009)



Dentre os métodos hidrometeorológicos, existem diversas abordagens para cálculo da PMP. Neste estudo, foi adotado o método local, devido à disponibilidade da série de dados históricos pluviométricos. Uma vez que o método hidrometeorológico maximiza precipitações extremas considerando situação adversas, as etapas para a conclusão do cálculo no ajuste da chuva para representar condições climáticas adversas, como pontua Kim e Tachikawa (2020), baseia-se nos dados históricos de precipitação e ponto de orvalho superficial.

O passo inicial refere-se ao modelo de tempestade, o qual indica as dimensões das precipitações extremas ocorridas na região da bacia hidrográfica. A maximização sugere a amplificação do modelo dados os fatores de umidade, e fator dinâmico caso a série de dados pluviométricos trabalhados não exerça resultados consistentes e de eficiência considerável. A transposição indica a transferência das chuvas indicativas no monitoramento maximizadas pelo fator umidade e por fim o cálculo efetivo da PMP (precipitação máxima provável).

Para o desenvolvimento do método foram analisados dados que caracterizam o regime pluviométrico da região, bem como dados meteorológicos. Assim, a estimativa da PMP depende da disponibilidade e consistência dos dados de precipitação, ponto de orvalho superficial, pressão atmosférica e temperatura, situados na região da bacia hidrográfica de estudo.

Diferentemente do método hidrometeorológico que é utilizado para simulação da altura precipitável, o método estatístico utiliza somente dados de chuva para a estimativa do fator K de

frequência a depender do método de quantificação da precipitação de base adotado. Entre todos os métodos estatísticos propostos para a estimativa da PMP, o que teve melhor aceitação é o Método de Hershfield. Entretanto, o método desenvolvido por Hershfield teve seus parâmetros determinados para regiões em sua maior parte localizadas nos EUA. Além disso, o método é recomendado para bacias hidrográficas de até 1.000 km², embora já tenha sido aplicado a áreas maiores, e para durações de chuva de até 24h.

Alternativamente ao método de Hershfield, foi desenvolvido um modelo estatístico baseado em dados locais. Este modelo modificado foi originalmente apresentado em Burger (2014), e elaborado a partir de um método computacional para geração de séries sintéticas de precipitações máximas anuais de d dias de duração, utilizando-se um modelo auto-regressivo multivariado de primeira ordem AR (1) segundo a distribuição log-normal 3 parâmetros, para o cálculo do parâmetro K. A partir destes resultados são determinadas faixas de confiança para K usando o método de simulação de Monte Carlo.

Parametrização dos Modelos

Com relação ao método hidrometeorológico, buscou-se através de duas abordagens a aderência dos dados observados, sendo que o primeiro estudo apresenta uma envoltória de classificação para a determinação do valor de ponto de orvalho, enquanto o segundo estudo apresenta a análise de frequência quanto aos dados da série histórica para determinação do ponto de orvalho. Adicionalmente, a verificação das alturas de águas precipitáveis foi estimada, em razão da disponibilidade limitada de dados, com base em formulações empíricas. Em consonância com Carvalho (2000) e Gibertoni et al. (2014), foram utilizadas quatro formulações para o cálculo, onde todas as formulações utilizadas seguem uma relação linear entre a altura de água precipitável (W_p) e a temperatura do ponto de orvalho (T_o).

Segundo Gibertoni et al. (2014) os resultados de sua aplicação se mostram de qualidade superior, quando comparadas às demais e, ainda, comparada a integração numérica, tem a vantagem de ter uma aplicação mais rápida, requerer menos dados e propiciar mais facilidade para calcular as chuvas maximizadas.

$$\ln w_p = a + (b * T_o) \quad (1)$$

As relações de coeficientes a e b e o coeficiente de correlação estão apresentados segundo a Tabela 1. Ambos os estudos desenvolvidos para o método utilizaram as correlações das equações empíricas apresentadas.

Tabela 1: Funções explícitas para a determinação da água precipitável – Fonte: Gibertoni et al. (2014)

Referência da função	Coefficiente a	Coefficiente b	Coefficiente de Correlação
Sugai e Fill (1991)	-0,115	0,0895	0,99997
Reitan (1963)	0,110	0,0614	0,98
Bolsenga (1965)	0,117	0,0769	0,85
Lowry e Glahn (1969)	-0,917	0,0576	0,834

Como descrito, o método hidrometeorológico estabelece a maximização da precipitação extrema considerando um fator de umidade. Assim, o fator de maximização da umidade ($F_{m\acute{a}x}$), estabelece a razão entre a altura de água precipitável na condição extrema considerando fatores maximizados de ponto de orvalho ($W_{m\acute{a}x}$) e a altura de água precipitável nas condições em que a precipitação foi observada (W_i).

$$F_{m\acute{a}x} = \frac{w_{m\acute{a}x}}{w_i} \quad (2)$$

Assim a PMP em um determinado local cujo regime hidrológico foi analisado, é resultado máximo do produto de cada precipitação máxima selecionada por seu respectivo fator de maximização.

$$PMP = F_{m\acute{a}x} \cdot P_{observada} \quad (3)$$

Para a análise dos métodos, foram selecionados três eventos extremos dentro da série de dados compatíveis entre as estações pluviométricas e meteorológicas, onde as precipitações máximas foram selecionadas para os mesmos tempos de pontos de orvalho máximos de 24 horas, os quais compreenderam os anos hidrológicos de 2011/2012, 2019/2020, 2020/2021. Segundo estabelecido no WMO (2009) há influência da umidade sobre a precipitação, considerando seu efeito em horas. Assim, para a estimativa da umidade provável máxima, devem ser contabilizados intervalos de tempo representativos. Dado esse fato, a utilização do ponto de orvalho persistente de 12 horas, se define como valor máximo igualado ou excedido no período de tempo especificado. Entretanto, o ponto de orvalho máximo medido de 24 horas aplicado ao estudo considerando o método hidrometeorológico foi utilizado, uma vez considerada uma abordagem mais conservadora.

Para o comparativo de resultado foram desenvolvidas estimativas utilizando dois métodos estatísticos diferentes para testar a aderência do modelo aos dados observados e a comparação entre os dois métodos, foram utilizados o Método Hershfield e o Método Hershfield Adaptado, que utilizam a parametrização estimada na equação geral da frequência apresentada por Ven Te Chow. A estimativa do fator K consistiu em, a partir da função da série histórica de precipitações, determinados os valores referentes às precipitações máximas anuais, para diversas durações e estimado o fator K amostral. Entretanto no modelo adaptado, a estimativa do fator K consistiu-se em determinar os valores referentes às precipitações máximas anuais locais, para diversas durações e estimado o fator K amostral.

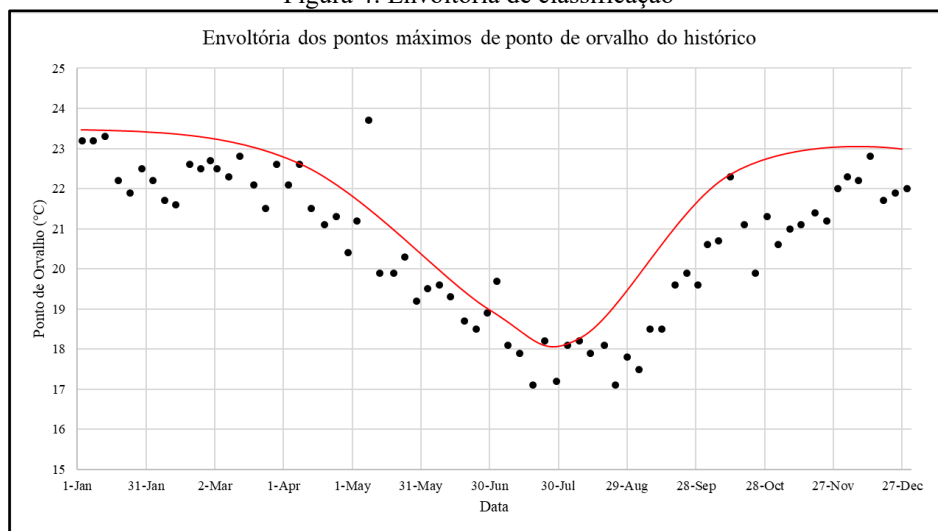
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com relação à base de dados utilizada, pode-se concluir que a série histórica de chuva é satisfatória, do ponto de vista de disponibilidade de dados, e que a série de dados meteorológicos é limitada, apresentando curta extensão da série de ponto de orvalho na estação selecionada.

Para o método hidrometeorológico desenvolvido a partir da utilização da envoltória (Estudo 1), os pontos máximos foram agrupados em seis classes durante o período mensal de cada ano hidrológico, ou seja, intervalos do dia 1 a 5, 6 a 10, etc, obtendo-se um valor de leitura máximo para cada intervalo dado o ano hidrológico. A partir dessa classificação foi admitido o máximo ponto de

orvalho de cada classe para a série de dados da estação, sendo 6 valores por período mensal. A plotagem associa no eixo das abscissas a data média de cada intervalo de classe e no eixo das ordenadas o valor máximo do ponto de orvalho obtido para a classe admitida. A Figura 4 apresenta a plotagem de ponto de orvalho máximos e a envoltória representativa.

Figura 4: Envoltória de classificação



O ponto de orvalho foi determinado admitindo-se o máximo valor na envoltória em uma variação de 15 dias após a ocorrência da máxima precipitação ou 15 dias antes. O intervalo leva em considerações variações sazonais. Os pontos de orvalho máximos obtidos para análise do desempenho estão apresentados na Tabela 2 e o resultado da estimativa na Tabela 3.

Tabela 2: Ponto de orvalho máximos admitido por evento

Evento	Ano hidrológico	Precipitação (mm)	Data	Ponto de Orvalho durante o evento (°C)	Ponto de orvalho máximo (°C)
Evento 1	2019/2020	143,70	14/02/2020	20,2	23,3
Evento 2	2020/2021	138,2	19/02/2021	21,4	23,2
Evento 3	2011/2012	105,4	29/12/2011	19,4	23,5

Tabela 3: Resultado da estimativa do cálculo de PMP - Estudo 1

Evento	Formulação	Altura de água precipitável (mm)	Altura de água precipitável máxima (mm)	Fator de Maximização	Precipitação maximizada (mm)	Porcentagem de Maximização (%)
1	Sugai e Fill (1991)	5,22	6,95	1,33	191,35	33,16
	Reitan (1963)	3,86	4,42	1,14	164,48	14,46
	Bolsenga (1965)	5,31	6,29	1,18	170,19	18,43
	Lowry e Glahn (1969)	1,28	1,45	1,14	163,11	13,51
2	Sugai e Fill (1991)	5,81	6,83	1,17	162,36	17,48
	Reitan (1963)	4,15	4,44	1,07	147,86	6,99
	Bolsenga (1965)	5,83	6,34	1,09	150,40	8,83
	Lowry e Glahn (1969)	1,37	1,46	1,07	147,24	6,54
3	Sugai e Fill (1991)	4,86	7,02	1,44	152,13	44,33
	Reitan (1963)	3,67	4,50	1,22	129,07	22,46

Bolsenga (1965)	5,00	6,44	1,29	135,85	28,89
Lowry e Glahn (1969)	1,22	1,48	1,21	127,47	20,93

Conforme a colocação, as precipitações seguiram uma sequência de majoração, estabelecendo a sequência de eventos máximos 1, 2 e 3, independente da formulação adotada. Nota-se que os valores estabelecidos por Sugai e Fill (1991) ocasionaram maiores valores de PMP, reiterando o bom desempenho da formulação considerando a área da bacia hidrográfica de estudo, constatado em outras regiões por Carvalho (2000) e Gilbertoni et al. (2014). A formulação apresentou maiores porcentagens de maximização para os 3 eventos analisados, seguidos por Bolsenga (1965), Reitan (1963) e Lowry e Glahn (1969), respectivamente.

Para o método hidrometeorológico desenvolvido a partir da parametrização da análise do TR 100 anos (Estudo 2), os resultados das alturas de água calculadas para a umidade associado ao tempo de retorno de 100 anos (26°C), considerando os coeficientes estimados por cada um dos autores, podem ser verificados na Tabela 4 e as alturas de água precipitável para cada um dos três eventos analisados, relativos a precipitações máximas da série histórica para o período analisado podem ser verificados na Tabela 5.

Tabela 4: Alturas de água precipitável calculadas com base em diferentes funções empíricas

Autor	Coeficiente		Altura de água precipitável (mm)
Reitan (1963)	a	0,11	1,70
	b	0,0614	
Bolsenga (1965)	a	0,117	2,11
	b	0,0769	
Lowry e Glahn (1969)	a	-0,917	0,58
	b	0,0576	
Sugai e Fill (1991)	a	-0,155	2,17
	b	0,0895	

Tabela 5: Resultado da estimativa do cálculo de PMP - Estudo 2

Autor	Evento	Altura de água precipitável (mm)	Fator de Maximização	Precipitação maximizada (mm)
Reitan (1963)	Evento 1	1,35	1,43	205,17
	Evento 2	1,42	1,33	183,30
	Evento 3	1,30	1,50	158,06
Bolsenga (1965)	Evento 1	1,67	1,56	224,47
	Evento 2	1,76	1,42	196,85
	Evento 3	1,61	1,66	175,09
Lowry e Glahn (1969)	Evento 1	0,24	1,40	200,70
	Evento 2	0,32	1,30	180,12
	Evento 3	0,20	1,46	154,15
Sugai e Fill (1991)	Evento 1	1,65	1,68	241,50
	Evento 2	1,76	1,51	208,59
	Evento 3	1,58	1,81	190,27

Para o máximo evento identificado (evento 1) na série histórica de chuva da estação de Matipó, ocorrido no dia 14/02/2020, com o valor de 143,70 mm, foi obtida uma PMP de aproximadamente 241,50 mm. Sua seleção seguiu a formulação que apresentou maior maximização do valor de PMP,

dada a criticidade do evento analisado, os quais justificam a escolha da função empírica apresentada por Sugai e Fill (1991).

De modo geral as estimativas calculadas através dos métodos hidrometeorológicos, apresentam-se consistentes dado a aderência razoável entre os valores obtidos pelos dois estudos analisados. A dispersão entre os resultados para estimativa do cálculo de PMP é de aproximadamente 26%. Ainda, ambos os estudos apresentam a tendência de maiores maximizações para o Evento 1, 2 e 3, respectivamente, respeitando os dados monitorados de precipitação obtidos da estação pluviométrica de análise, bem como a tendência de maximização das formulações empíricas análogo ao Estudo 1 de referência.

A título de comparação, a análise dos resultados gerados para o Método de Hershfield (Estudo 3) deu-se a partir dos valores selecionados correspondentes a uma precipitação média máxima de 1 dia de duração igual a 76 mm. A partir da equação geral da frequência de Ven Te Chow, obteve-se como estimativa da PMP um valor igual a 468,5 mm.

Nota-se que a estimativa obtida através deste método estatístico (Estudo 3) difere significativamente das estimativas obtida pelos métodos hidrometeorológicos, com maximização de 2,4 e 1,94 dos valores obtido para os Estudos 1 e 2, respectivamente. Os fatores que podem ter contribuído para superestimativa do valor obtido referem-se à formulação do próprio método utilizado, bem como, a ausência de correções nas observações dos dados monitorados e as considerações quanto a área de drenagem. Essas correções não foram efetuadas nesta avaliação, devido a objetividade do comparativo das estimativas entre os métodos analisados.

No Método Hershfield Adaptado (Estudo 4), teve-se como objetivo a obtenção somente do quantil de chuva referente à duração de 1 dia. A Tabela 6 apresenta os valores médios, desvio padrão da série de máximos anuais e os valores de K da faixa de confiança de 99,9% para as durações pré-determinadas.

Tabela 6: Parâmetros estatísticos da série – Chuva Média

Duração	Média	Desvio Padrão	K (99,9%)
1 Dia	76,0	24,3	8,7552

Pela equação geral da frequência de Ven Te Chow obteve-se o valor de PMP igual a 289 mm. Percebe-se, portanto, que o Estudo 4 apresentou uma tendência ao comportamento de estimativa com o desempenho discretamente inferior aos valores apresentados pelos métodos hidrometeorológicos (Estudos 1 e 2), classificados ainda como satisfatórios. Ainda, a variação entre o Estudo 2, estimado através da parametrização a partir da análise do TR 100 anos do ponto de orvalho selecionado, foi 19% considerando a maximização superior.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados apresentados, pode-se observar que a estimativa pelo método convencional de Hershfield (Estudo 3) apresenta valor bastante elevado quando comparado com os demais. Pode-se concluir que o método proposto por Hershfield é um método conservador para o local analisado, ainda que a comparação tenha sido realizada apenas para precipitações de 24 horas, devido à limitação do próprio método de Hershfield e da discretização dos dados de precipitação disponíveis.

Apesar da adequabilidade do Estudo 1 de cálculo de PMP (envoltória) há uma subestimativa do valor calculado quando comparados aos demais métodos, indicando a interferência da curta série

de dados meteorológicos. Ainda, os demais estudos se aproximaram nos valores obtidos. O Estudo 2 utiliza uma série de dados locais, tanto pluviométricos, quanto meteorológicos, indicando a aderência as particularidades do regime hidrológico da área de estudo, além de utilizar os valores extrapolados de 100 anos de tempo de retorno, os quais geralmente são utilizados para definir a curva de variação sazonal. Apesar da aderência do valor estimado de PMP pelo Estudo 2, há uma tratativa de dados significativa a ser considerada na continuidade do processo.

O modelo alternativo (Estudo 4) utilizado, apresenta-se como uma ferramenta muito útil para estimativa da PMP pelos seguintes motivos: é baseado em dados de precipitação, encontrados em quantidade superior quando comparados com os dados necessários para a aplicação do método meteorológico; são utilizados dados locais, ao contrário do método de Hershfield, baseado em estações que não necessariamente representam as características da área de estudo; e a geração de séries sintéticas procura contornar as limitações devido ao tamanho limitado das amostras.

Todavia, julga-se adequada a utilização dos modelos apresentados nos Estudos 2 e 4 como alternativa para situações práticas. No futuro, é possível direcionar pesquisas para aprimorar a quantidade e qualidade dos dados de entrada das informações meteorológicas adicionais disponíveis para análise e a calibração dos modelos baseados na temperatura de ponto de orvalho.

REFERÊNCIAS

BURGER, L.C. “Adaptação e Análise do Método de Hershfield para Estimativa da Precipitação Máxima Provável (PMP)”. 2014. 100 p. Dissertação – Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CARVALHO, M.C.L. Análise Regional da Precipitação Máxima Provável no Estado do Paraná. 2000. Dissertação de Mestrado (Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos) - Universidade Federal do Paraná, [S. l.], 2000.

GIBERTONI, R.F.C et al. Estimativa da Altura de Água Precipitável. XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Natal - RN, novembro 2014.

KIM, Y. K.; KIM, S. M.; TACHIKAWA, Y. Analyzing uncertainty in probable maximum precipitation estimation with pseudoadiabatic assumption. *Water Resources Research*, v. 56, n. 9, p. e2020WR027372, 2020.

MELLO, C.R; VIOLA, M.R. Mapeamento de Chuvas Intensas no Estados de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [s. l.], v. 37, ed. 2, 2013.

SALVIANO, M.F. O Sistema de Alerta de Inundação do Rio Muriaé. III Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul, Juiz de Fora-MG, 27 A 29 de Agosto 2018.

TUCCI, C.E.M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Editora da UFRGS: ABRH: EDUSP, 1993. 943 p. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos). ISBN 85-7025-298-6.

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