DETERMINAÇÃO DA PMP PARA O ESTADO DE MINAS GERAIS

Ana Carolina Canossa Becker [1]; Gabriel França [2]; Thiago Assis [3]; Bennie Oliveira [4]; Camila Goulart [5]; Caio Voigt [6] & Paula Castro[7].

Palavras-Chave –Método Estatístico, Km individualizado, PMP por duração.

INTRODUÇÃO

A Precipitação Máxima Provável (PMP) é definida pela Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2009) como o maior quantil de precipitação teoricamente possível em uma área e duração específicas. A PMP pode ser determinada pelo método estatístico, que utiliza séries históricas de precipitação, ou pelo método hidrometeorológico, que necessita, além de dados de precipitação, séries históricas de temperatura ponto de orvalho, variável que não apresenta monitoramento tão extensivo. Em função da maior disponibilidade espacial e temporal de dados pluviométricos, este estudo obteve PMPs desenvolvidas pelo método estatístico para o estado de Minas Gerais, considerando as estações com dados pluviométricos disponibilizados no portal HidroWeb da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e dados pluviométricos de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O estudo da PMP é relevante para avaliação de segurança de estruturas hidráulicas e de armazenamento, em especial relacionadas à segurança de barragens de mineração, que, conforme indicado pelas resoluções ANM nº 95/2022 e ANM nº 220/2025, devem considerar o mais crítico entre a PMP e a precipitação decamilenar no dimensionamento e avaliação do sistema extravasor para barragens com Dano Potencial Associado (DPA) Alto ou em processo de desativação ou descaracterização. Tendo isso em vista, o objetivo do estudo foi indicar valores do fator Km e PMPs calculados para durações de 1, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20 e 30 dias para o estado de Minas Gerais, como referência para avaliações preliminares e comparativo com estudos locais futuros.

METODOLOGIA

A estimativa da PMP pelo método estatístico considerou séries históricas de dados pluviométricos de 418 estações do estado de Minas Gerais, 403 da plataforma HidroWeb e 15 do INMET. A definição das estações utilizadas, dentre as 1.161 levantadas nas duas bases utilizadas, se deu com base na existência de série de precipitação com extensão mínima de 15 anos e dados registrados minimamente até 2010. Para a consolidação das séries históricas, foram excluídos da análise os anos hidrológicos que possuíssem falha de medição em ao menos um dia no ano.

O método estatístico para cálculo da PMP foi desenvolvido por Hershfield e é recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2009). A equação utilizada para calcular a PMP é dada pela Equação 1, na qual $\boldsymbol{PMP}$ representa o quantil (mm) associado a precipitação máxima provável; $\bar{\boldsymbol{X}}_{\mathbf{n}}$ é a média das chuvas máximas anuais (mm); $\boldsymbol{Km}$ é o fator de recorrência/frequência e $\boldsymbol{S_n}$ é o desvio padrão correspondente (mm).

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

1) HIDROBR, ana.becker@hidrobr.com
2) HIDROBR, gabriel.franca@hidrobr.com
3) HIDROBR, thiago.assis@hidrobr.com
4) HIDROBR, bennie.oliveira@hidrobr.com
5) HIDROBR, camila.goulart@hidrobr.com
6) HIDROBR, caio.voigt@hidrobr.com
7) HIDROBR, paula.castro@hidrobr.com

No estudo original de Hershfield (1961), que contou com 2.645 estações pluviométricas localizadas nos Estados Unidos, o fator Km apresentou um valor máximo de 15 para precipitações com duração de 24 horas. O autor organizou esses resultados em um ábaco que foi amplamente utilizado para as estimativas de PMP. No entanto, em estudos recentes, como em Taborda et. al. (2025), foi discutido que o uso dessas estimativas não é representativo para a realidade brasileira, por superestimar os valores de Km. Desse modo, foi realizado o cálculo do km individualizado para as estações selecionadas. Para este cálculo individualizado do fator Km para cada estação, Hershfield propôs a Equação 2, na qual Km é o fator de recorrência/frequência; $Xmax$ é o maior valor observado na série de n máximos anuais (mm); $\bar{X}_{n-1}$é a média da série de máximos anuais sem o valor máximo (mm); S_{n-1} é o desvio padrão da série de máximos anuais sem o valor máximo (mm).

$$Km = \frac{X\,max - \bar{X}_{n-1}}{S_{n-1}} \quad (2)$$

Considerando que a área de estudo compreende todo o estado de Minas Gerais, foram determinados os fatores Km e valores de PMP para durações de 1, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20 e 30 dias a partir da aplicação das Equações 1 e 2. Foram elaborados mapas das estimativas do fator Km e da Precipitação Máxima Provável (PMP) para cada duração. A espacialização dos resultados foi elaborada por meio da interpolação IDW (Inverse Distance Weighting), que estima valores em pontos desconhecidos baseando-se em dados de pontos conhecidos próximos, atribuindo pesos inversamente proporcionais às distâncias.

RESULTADOS

Os valores do Km para a duração de 1 dia variaram entre 1,58 e 10,61, com média de 3,64. Os resultados da PMP para essa mesma duração resultaram entre 107mm e 333 mm, com média de 168 mm. A Tabela 1 apresenta os valores de Km e PMP para todas as durações avaliadas.

Tabela 1 – Valores de Km e PMP para diferentes durações.

Duração	Fator Km			PMP (mm)		
	Mínimo	Médio	Máximo	Mínima	Média	Máxima
1	1,58	3,64	10,61	107	168	333
2	1,39	3,68	13,19	131	228	565
3	1,53	3,70	11,66	160	274	586
5	1,70	3,63	10,95	205	342	790
7	1,56	3,47	10,47	235	390	950
10	1,66	3,34	10,05	267	448	1069
15	1,50	3,22	10,52	309	535	1363
20	1,49	3,19	8,65	360	618	1406
30	1,43	3,16	9,31	448	764	1839

A Figura 1 apresenta a espacialização dos fatores Km calculados em todo o estado de Minas Gerais, enquanto a Figura 2 apresenta os resultados da PMP para o referido estado.

Foi observada elevada variabilidade espacial nas estimativas do fator Km e da PMP. Em todas as durações avaliadas, embora tenha sido identificado um padrão geral de valores mais altos na região sul do estado, a variação entre estações próximas foi significativa, resultando em diversos pontos isolados com valores elevados. Esse comportamento evidencia a variabilidade regional dos eventos pluviométricos em Minas Gerais, inclusive entre estações pluviométricas próximas.

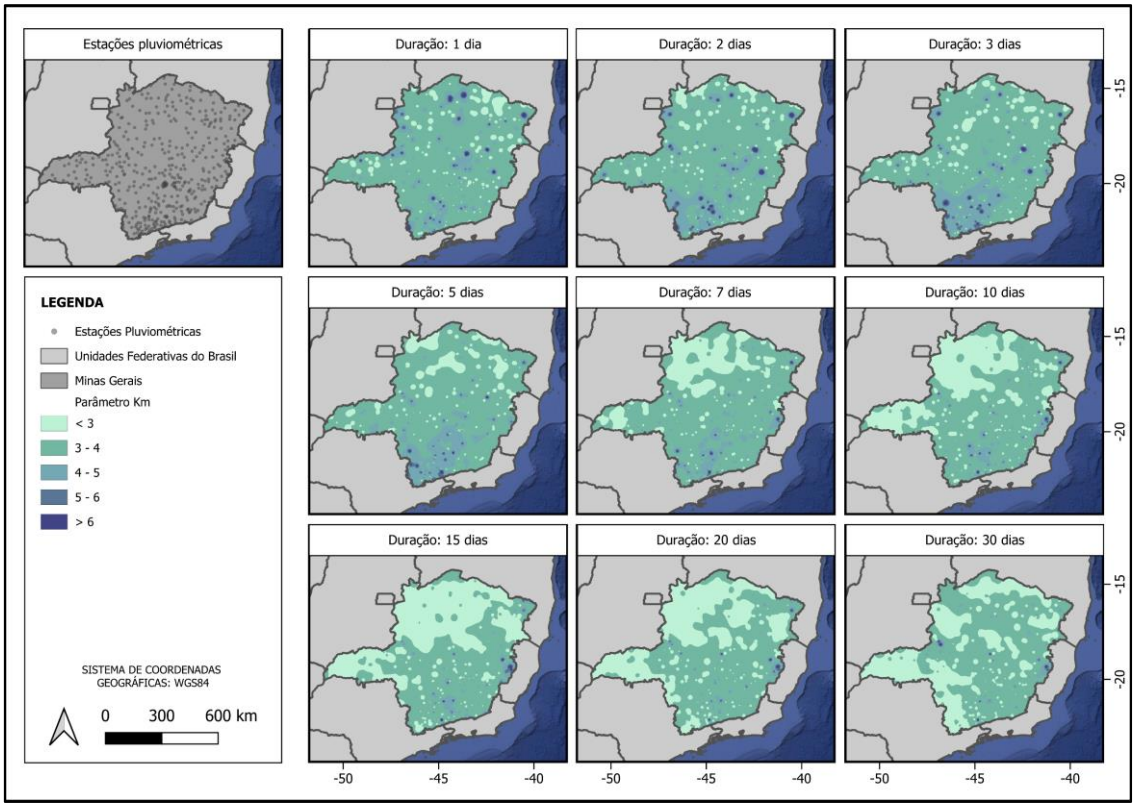


Figura 1. Fator Km calculado para precipitações de diferentes durações em Minas Gerais.

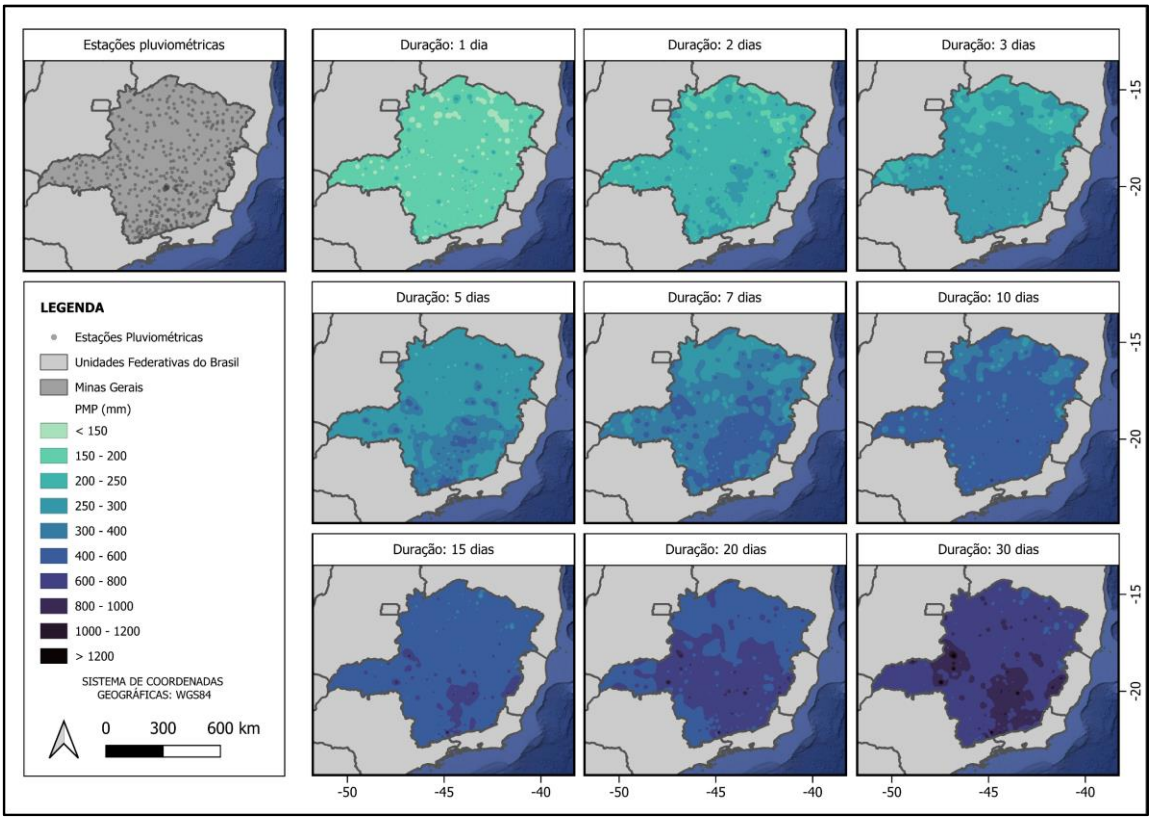


Figura 2. Precipitações Máximas Prováveis para diferentes durações em Minas Gerais.

Os padrões climatológicos registrados pela literatura em Minas Gerais indicam que as regiões norte e noroeste apresentam menores índices pluviométricos anuais, enquanto as porções sul e leste estão sujeitas a maiores volumes de precipitação e à ocorrência de eventos extremos mais intensos (Reboita et al., 2015). Esse mesmo padrão não pode ser confirmado pelo presente estudo, tendo em vista a ocorrência de grandes variabilidades pontuais em áreas de pouca extensão. Foram buscadas, com finalidade exploratória, relações com variáveis físicas como Altitude, utilizando o Modelo Digital de Terreno MDT Copernicus (90m), e Zonas Climáticas, definidas por IDE SISEMA (2018). No entanto, modelos lineares aplicados apresentaram coeficiente de determinação (R^2) inferiores a 0,03. Isso reforça a importância de estudos individualizados para regiões e empreendimentos específicos, podendo a presente análise servir como referência de valores esperados e aproximações.

CONCLUSÕES

Este estudo determinou os valores de Precipitação Máxima Provável (PMP) para o estado de Minas Gerais utilizando o método estatístico de Hershfield, aplicado a 418 estações pluviométricas, sendo 403 da plataforma HidroWeb e 15 do INMET selecionadas com base em critérios de extensão e atualização de séries históricas. Os valores de Km calculados individualmente para cada estação apresentaram média de 3,64 e os valores de PMP médios foram de 168 mm para a duração de 1 dia. A espacialização dos dados por interpolação IDW revelou grande variabilidade espacial em áreas de pouca extensão. Este resultado reforça a importância de estudos individualizados para regiões e empreendimentos específicos, podendo a presente análise servir como referência de valores esperados e aproximações.

REFERÊNCIAS

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO – ANM. “Resolução ANM nº 95, de 07 de fevereiro de 2022. Consolida os atos normativos que dispõem sobre segurança de barragens de mineração”. (2022). Diário Oficial da União, Brasília, DF, Edição 33, seção 1, p. 49, 16 fev. 2022.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO – ANM. “Resolução ANM nº 220, de 16 de outubro de 2025. Estabelece a disciplina aplicável às barragens de mineração”. (2025). Diário Oficial da União, Brasília, DF, Edição 199, seção 1, p. 43, 17 out. 2025.

HERSHFIELD, D. M. “*Estimating the probable maximum precipitation”.* (1961). In: Journal of Hydraulics. Division. American Society of Civil Engineers., v. 87, n.5, New York Set., p.99-116.

IDE SISEMA. “Zonas Climáticas”. (2018).

REBOITA, M. S.; RODRIGUES, M.; SILVA, L. F.; ALVES, M. A. *“Aspectos climáticos do estado de Minas Gerais (climate aspects in Minas Gerais state)”.* (2015). Revista Brasileira de Climatologia, [S.l.], v. 17, 2015. DOI: 10.5380/abclima.v17i0.41493. Disponível em: https://doi.org/10.5380/abclima.v17i0.41493.

TABORDA, L. A.; BECKER, A. C. C.; DETZEL, D. H. M.; ANDRADE, S. B. A. (2025). *“Análise do parâmetro Km para cálculo da Precipitação Máxima Provável: Estudo de caso para a Região Metropolitana de Belo Horizonte”* in Anais do XXVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2025.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. (2009). “*Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation – PMP”*. Geneva.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à HIDROBR pelo apoio na publicação.