IMPACTO DE FALHAS E DA PERDA DE EVENTOS EXTREMOS NA ESTIMATIVA DA PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PROVÁVEL - PMP

Livia Assunção Taborda [1] & Daniel Henrique Marco Detzel [2]

Palavras-Chave – Séries históricas de precipitação; Dados ausentes; Método de Hershfield.

INTRODUÇÃO

A Precipitação Máxima Provável (PMP) é definida como a maior altura de precipitação teoricamente possível de ocorrer sobre uma determinada área durante um intervalo de tempo específico, considerando condições meteorológicas fisicamente plausíveis (WMO, 2009). Por sua aplicação no dimensionamento e na avaliação de segurança de obras hidráulicas de grande porte, a PMP constitui um dos parâmetros mais importantes em estudos hidrológicos extremos. Embora amplamente utilizada, sua estimativa está sujeita a incertezas associadas tanto aos métodos empregados quanto à qualidade e representatividade das séries históricas utilizadas (Bertoni & Tucci, 1993).

Entre os fatores que podem influenciar a confiabilidade das estimativas hidrológicas, destacam-se as falhas presentes nos registros pluviométricos. Séries históricas com dados ausentes podem comprometer a caracterização de eventos extremos e a representatividade estatística dos máximos anuais, especialmente quando as falhas coincidem com períodos de ocorrência de precipitações intensas. (Papalexiou & Koutsoyiannis, 2013).

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência de diferentes percentuais de falhas nos meses críticos (outubro a março) sobre a estimativa da PMP em estações pluviométricas localizadas no estado de Minas Gerais. Para isso, foram simulados cenários com diferentes níveis de falhas, considerando tanto a inserção aleatória de dados ausentes quanto situações envolvendo a perda de eventos extremos, buscando analisar a sensibilidade da PMP a quantidade e a localização das falhas nas séries históricas.

METODOLOGIA

Para a seleção das estações a serem trabalhadas, inicialmente, foi realizado um diagnóstico de qualidade das séries históricas de precipitação disponíveis no estado de Minas Gerais, de propriedade da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Para cada estação foram calculados: número de anos hidrológicos disponíveis, percentual de completude da série e percentual de falhas no período chuvoso (outubro a março).

O percentual de completude foi calculado pela relação entre o número de registros válidos e o número total de registros esperados, sendo expresso em porcentagem. O percentual de falha crítica foi obtido considerando apenas os meses pertencentes ao período chuvoso (outubro a março), por ser o período de maior relevância para a estimativa da Precipitação Máxima Provável (PMP).

Foi calculado um índice de qualidade para cada estação a partir do percentual de falhas críticas, do número de anos hidrológicos e da completude da série. As variáveis foram padronizadas para permitir sua comparação e combinadas em um único indicador, com pesos de 50%, 30% e 20%, respectivamente. As estações foram então classificadas de acordo com o índice obtido, sendo selecionadas aquelas com melhor qualidade para os experimentos de inserção artificial de falhas.

Após a aplicação do índice de qualidade e o ranqueamento das estações, foram consideradas as 20 séries mais bem classificadas. Dentre elas, selecionaram-se cinco estações pluviométricas para

1) UFPR – livia.ch@hotmail.com
2) UFPR – detzel@ufpr.br

compor o estudo, adotando-se como critérios complementares a disponibilidade de mais de 60 anos hidrológicos de dados, percentual de falhas críticas inferior a 2% e completude superior a 98%. Esses critérios garantiram a utilização de séries longas e de elevada qualidade, reduzindo a influência de inconsistências nos resultados das análises de impacto das falhas sobre a PMP. As estações selecionadas são apresentadas na Figura 1.

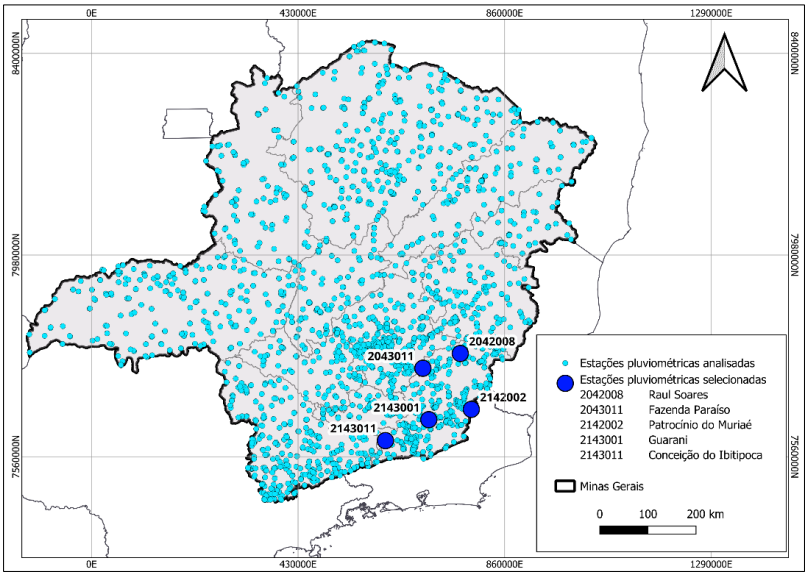


Figura 1 - Estações pluviométricas consideradas no estudo.

Com o objetivo de avaliar a influência das falhas nos registros pluviométricos sobre a estimativa da PMP, foram realizadas duas análises complementares. Na primeira, foram simulados diferentes percentuais de falhas distribuídas aleatoriamente nos meses críticos para a ocorrência de chuvas intensas. Na segunda, além da inserção aleatória de falhas, foi considerada a remoção deliberada de eventos extremos, representando situações em que registros de precipitações máximas são perdidos devido à ausência de observações. Em ambas as análises foram avaliados cenários com 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% e 70% de falhas.

Em ambas as abordagens, as falhas foram inseridas apenas em registros válidos dos meses críticos (outubro a março). Para cada cenário foram realizadas dez simulações independentes e, após a inserção das falhas, os máximos anuais foram recalculados e utilizados na estimativa da PMP conforme o método proposto por Hershfield (1961).

RESULTADOS

De modo geral, a inserção de falhas aleatórias produziu alterações relativamente pequenas nas estimativas de PMP, mesmo nos cenários com maiores percentuais de dados ausentes. Embora algumas estações tenham apresentado leves reduções ou aumentos nos valores estimados, a principal consequência observada foi o aumento da variabilidade entre as simulações, indicando maior incerteza nas estimativas. Esses resultados sugerem que a quantidade de falhas, por si só, exerce influência limitada sobre a PMP quando os eventos extremos permanecem preservados na série histórica.

Com o objetivo de comparar diretamente os efeitos da quantidade de falhas e da perda de eventos extremos sobre a estimativa da PMP, a Figura 2 apresenta a variação média da PMP em relação ao cenário de referência para cada estação analisada. Em cada gráfico são comparados os resultados obtidos para os cenários de falhas aleatórias e para os cenários de falhas aleatórias com remoção de eventos extremos.

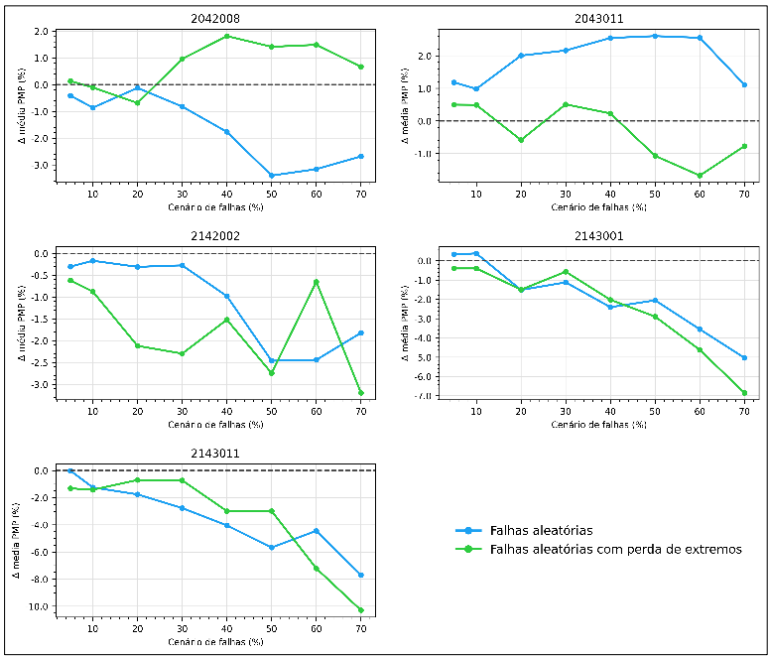


Figura 2- Variação média da PMP em relação ao número de falhas.

Analisando a Figura 2 , observou-se uma tendência de redução da PMP com o aumento do percentual de falhas e da quantidade de máximos anuais removidos. Embora a magnitude da resposta tenha variado entre as estações analisadas, a maioria apresentou comportamento consistente, com diminuição progressiva das estimativas à medida que os cenários se tornavam mais severos.

A estação 2143011 apresentou a maior sensibilidade a perda de eventos extremos. Nesse caso, a variação média da PMP passou de aproximadamente -1,3% no cenário de 5% de falhas para cerca de -10,3% no cenário de 70%, evidenciando forte dependência da estimativa em relação a preservação dos eventos máximos da série histórica. Comportamento semelhante foi observado na estação 2143001, cuja redução média atingiu aproximadamente -6,9% no cenário mais severo.

As estações 2142002, 2042008 e 2043011 apresentaram reduções menos expressivas, porém ainda perceptíveis. Em todos os casos, os cenários de maior severidade produziram estimativas inferiores as obtidas para a série de referência, indicando que a remoção de eventos extremos tende a reduzir os valores estimados de PMP pelo método de Hershfield.

Além das alterações nos valores médios, observou-se aumento da variabilidade entre as simulações para os cenários mais severos. Esse comportamento sugere que não apenas a quantidade de eventos extremos removidos influencia a estimativa final, mas também quais eventos específicos são afetados em cada simulação. Em outras palavras, diferentes combinações de perdas podem produzir respostas distintas, mesmo quando o percentual total de falhas permanece constante.

Os resultados obtidos indicam que a estimativa da PMP apresenta sensibilidade a perda de eventos extremos, uma vez que esses eventos exercem influência direta sobre a composição das séries de máximos anuais utilizadas no método de Hershfield. A tendência geral de redução observada nas estações analisadas sugere que a ausência de registros associados a precipitações excepcionais pode levar a subestimação da PMP, especialmente em séries nas quais poucos eventos concentram parcela significativa da variabilidade observada. Embora a intensidade dessa resposta varie entre as estações, os resultados evidenciam a importância da preservação dos registros extremos para a obtenção de estimativas confiáveis de PMP, reforçando a necessidade de avaliar não apenas a quantidade de falhas presentes nas séries históricas, mas também sua localização em relação aos eventos hidrológicos mais relevantes.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstraram que a influência das falhas na estimativa da Precipitação Máxima Provável (PMP) depende não apenas da quantidade de dados ausentes, mas principalmente da sua relação com os eventos pluviométricos extremos presentes na série histórica.

Na primeira análise, baseada exclusivamente na inserção aleatória de falhas nos meses críticos, observou-se que o aumento do percentual de dados ausentes produziu alterações relativamente pequenas nos valores médios de PMP. Mesmo em cenários severos, com até 70% de falhas, as reduções observadas foram geralmente modestas, embora tenha sido verificado aumento da dispersão dos resultados entre as simulações. Esse comportamento indica que a PMP estimada pelo método de Hershfield apresenta certa robustez a ocorrência de falhas distribuídas aleatoriamente ao longo da série. Entretanto, a segunda análise revelou um comportamento distinto quando as falhas foram direcionadas para atingir eventos extremos. Nessa condição, observou-se uma tendência mais consistente de redução da PMP, com algumas estações apresentando diminuições superiores a 10% nos cenários mais severos. Os resultados evidenciam que a perda de registros associados aos máximos anuais exerce influência significativamente maior sobre a estimativa da PMP do que a simples remoção aleatória de observações.

Dessa forma, os resultados indicam que avaliações de qualidade de dados voltadas para estudos de PMP não devem considerar apenas o percentual de falhas presente na série, mas também a possibilidade de ausência de registros associados a eventos extremos. A preservação dessas informações é essencial para a obtenção de estimativas mais representativas e confiáveis. Em conjunto, as duas análises demonstram que a PMP apresenta relativa resistência ao aumento generalizado de falhas, mas sensibilidade considerável a perda de eventos pluviométricos extremos, evidenciando a importância desses eventos na caracterização do potencial máximo de precipitação de uma região.

REFERÊNCIAS

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. HIDROWEB. Disponível em: *https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas*. Acesso em: jun/2026.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 1993. p. 177–242

HERSHFIELD, D. M. Estimating the probable maximum precipitation. In: Journal of Hydraulics. v. 87, n. HY5, p. 99–116, 1961

PAPALEXIOU, Simon Michael; KOUTSOYIANNIS, Demetris. Battle of extreme value distributions: A global survey on extreme daily rainfall. Water Resources Research, [S. l.], v. 49, p. 187–201, 2013.

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