

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

CHUVAS EXTREMAS E PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PROVÁVEL DE POMEDORE, SANTA CATARINA

Álvaro José Back¹; Guilherme Semprebom Meller² & Cláudia Weber Coresuil³

Abstract: In order to meet the latest safety criteria, in hydrological studies of dam projects, the most restrictive condition between the 10,000-year return period and the Probable Maximum Precipitation (PMP) should be considered as critical rainfall. This study aimed to evaluate the decamillennial maximum rainfall and the PMP estimated for the Pomerode region, Santa Catarina. Daily rainfall data from the period 1930 to 2023 were used. Six probability distributions indicated for extreme values were evaluated, in which the parameters were adjusted by the L-Moments method. The adherence of the distributions was evaluated by the Kolmogorov-Smirnov and Anderson-Darling tests at 5% significance. The PMP was determined by the Hershfield statistical method. The GEV distribution was considered the best performing, followed by the Log-Pearson Type III distribution, while the Log-Normal distribution with 2 parameters had the worst performance. The extreme rainfall with a 10,000-year return period was estimated at 371.1 mm and a 95% confidence interval between 306.0 mm and 436.3 mm. Considering the frequency factor Km equal to 9, the PMP was estimated as 355.7 mm; however, using the envelope curve established by Hershfield, the frequency factor Km is 15.7 and the PMP is estimated as 552.5 mm

Resumo: Para atender aos mais recentes critérios de segurança, nos estudos hidrológicos de projetos de barragens deve-se considerar como chuva crítica a condição mais restritiva entre a chuva com período de retorno de 10.000 anos e a Precipitação Máxima Provável (PMP). Este trabalho teve como objetivo avaliar a chuva máxima decamilenar e a PMP estimadas para a região do município de Pomerode, Santa Catarina. Foram utilizados dados de chuva diária do período de 1930 a 2023. Foram avaliadas seis distribuições de probabilidade indicadas para valores extremos, em que os parâmetros foram ajustados pelos métodos dos L-Moments. A aderência das distribuições foi avaliada pelos testes de Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling a 5% de significância. A PMP foi determinada pelo método estatístico de Hershfield. A distribuição GEV foi considerada a de melhor desempenho, seguido da distribuição Log-Pearson Tipo III, enquanto a distribuição Log-Normal com 2 parâmetros teve o pior desempenho. A chuva extrema com período de retorno de 10.000 anos foi estimada com 371,1 mm e intervalo de confiança de 95 % entre 306,0 mm e 436,3 mm. Considerando o fator de frequência Km igual a 9 a PMP foi estimada como 355,7 mm, no entanto, usando a curva envoltória estabelecida por Hershfield, o fator de frequência Km é de 15,7 e a PMP estimada como 552,5 mm.

Palavras-Chave – Eventos extremos, barragens; chuvas intensas.

INTRODUÇÃO

1) Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri). Rodovia SC 108, km 353, nº1563, Bairro da Estação, Urussanga, SC, CEP 88840-000, fone: (48) 3403-1382; e-mail: ajb@epagri.sc.gov.br

2) Universidade do Extremo Sul Catarinense, Avenida Universitária, n.1105, Caixa Postal 3167, Bairro Universitário, Criciúma-SC, e-mail: guilherme@mssondagens.com.br

3) Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Rodovia Gov. Jorge Lacerda, 3201, Jardim das Avenidas, Araranguá, SC, CEP: 88.906-072, fone (48) 3721-6255 / (48) 996128438; e-mail: claudia.weber@ufsc.br.

O estudo das chuvas extremas é importante para estudos hidrológicos e nos projeto de obras hidráulicas. Nos projetos de barragens as chuvas extremas são empregadas em diversos estudos, como por exemplo, nas vazões máximas usadas no dimensionamento dos sistemas extravasores, na verificação de riscos de galgamento de barragens, na definição de borda livre, na verificação e simulação de cheias em bacias hidrográficas e reservatórios, e na simulação de rupturas ou outras falhas na barragem.

Para o caso das barragens existem diversas normas que definem os critérios para os estudos hidrológicos. O critério utilizado no dimensionamento de cada obra deve considerar o custo e o risco inerente ao empreendimento, de forma a estabelecer um ponto de equilíbrio entre o orçamento e a segurança do mesmo. Esse critério é definido do pelo período de retorno da precipitação utilizada e, assim, para cada tipo de projeto existe um período de retorno indicado. Períodos de retorno comumente usados para estruturas de defesa contra inundações e análises de risco de inundaçao variam dentro de precipitações de 5, 10, 20, 50 e 100 anos (WEF, 2012; Alias, 2014). No entanto, quando os prejuízos são de grande magnitude ou há riscos de perdas de vidas humanas recomenda-se períodos de retorno maiores, como 500, 1000 ou 10.000 anos.

Obras hidráulicas, como barragens, são vinculadas a Lei de Segurança de Barragens, que estipula padrões de segurança relativos aos impactos e a possibilidade de ruptura das mesmas, sendo considerados possíveis danos econômicos, sociais e ambientais, dependendo da região passível de ser afetada. Conforme o tipo de obra e a consequência da ruptura deve-se adotar a cheia máxima provável ou a cheia estimada com período de retorno de 10.000 anos (CBDB, 2001). O Manual da ANA (2016) recomenda que a Cheia Máxima Provável (CMP) deverá ser estimada com base em modelos de chuva-vazão que recebem como entrada a Precipitação Máxima Provável (PMP). Na falta de dados suficientes, poderá ser utilizado, alternativamente, o valor correspondente à cheia com tempo de recorrência de 10.000 (dez mil) anos. A Agência Nacional de Mineração (ANM, 2022) define os critérios de segurança de acordo com o dano potencial e, no caso de dano potencial alto (DPA), recomenda usar a chuva com período de retorno de 10.000 anos ou PMP, a que for mais restritiva para a duração crítica do sistema hidrológico avaliado. Define também que, o período de retorno mínimo a ser considerado para dimensionamento do sistema extravasor para o período de desativação ou descaracterização da estrutura, deve atender, independentemente do DPA, a 10.000 anos ou PMP, a que for mais restritiva para a duração crítica do sistema hidrológico avaliado.

Constata-se que basicamente a definição da chuva crítica fica entre a chuva decamilenar ou a PMP. A estimativa da chuva com determinado período de retorno é baseada no ajuste de uma distribuição teórica de probabilidade à série de máximas anuais de chuva observada no local de interesse. Existem várias distribuições de probabilidade que são indicadas para chuvas máximas, com a distribuição de Extremos Tipo I (também chamada de distribuição de Gumbel), distribuição Pearson tipo III, distribuição Log-Pearson tipo III, distribuição Log-Normal, e a distribuição Generalizada de Valores Extemos.

A Organização Meteorológica Mundial (OMM) reconhece várias metodologias para estimar a PMP (WMO, 2009), destacando uma abordagem estatística conhecida como método estatístico de Hershfield; e como alternativa a abordagem física, conhecida como método hidrometeorológico. Dependendo da disponibilidade e das limitações dos dados, ambos os métodos são aceitos e amplamente utilizados. No entanto, devido principalmente às dificuldades em obter os parâmetros meteorológicos, como temperatura do ponto de orvalho, umidade relativa e temperatura da superfície, o método estatístico tem sido mais usado. O Método Estatístico desenvolvido por Hershfield, no início da década de 60, é recomendado para bacias hidrográficas com áreas inferiores a 1.000,00 km²

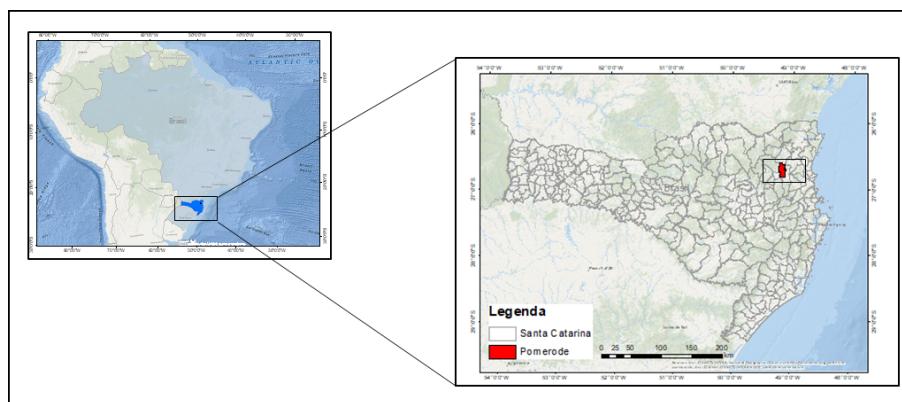
e para durações de chuva de até 24 horas. Uma estimativa confiável de PMP usando esse método requer dados observados longos.

A região do Vale do Rio Itajaí, em Santa Catarina, apresenta histórico de eventos extremos de chuvas e inundações e várias barragens foram construídas, com o objetivo de controle de inundações nesta bacia. Este trabalho teve como objetivo avaliar a chuva máxima decamilenar e a PMP estimadas para a região de Pomerode, Santa Catarina.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados os dados de precipitação diária do período de 1930 a 2023 da estação pluviométrica pertencente à Rede Hidrológica Nacional da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), localizada no município de Pomerode, Santa Catarina (Código da estação 02649002). O município de Pomerode está localizado na mesorregião do Vale do Rio Itajaí (Figura 1). De acordo com a atualização da classificação climática de Köppen desenvolvida por Alvares *et al.* (2013), o tipo climático da área de estudo é o Cfa-mesotérmico, sem estação seca e com verões quentes. A chuva média mensal varia de 102,8 mm em julho a 241,3 mm em janeiro, com média anual de 1824 mm.

Figura 1 - Localização do município de Pomerode, Santa Catarina.



Com base na série de máximas anuais foram ajustadas as distribuições de probabilidade indicadas para eventos de chuvas máximas. A distribuição Log-Normal tem função densidade de probabilidades dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(\ln(x) - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2}} \quad (1)$$

Em que μ_y e σ_y são respectivamente os parâmetros de escala e forma da distribuição.

A distribuição Log-Normal com três parâmetros (LN3) tem função densidade de probabilidades dada por:

$$f(x) = \frac{1}{(x-\beta)\sigma_y \sqrt{2\pi}} e^{\frac{[\ln(x-\beta) - \mu_y]^2}{2\sigma_y^2}} \quad (2)$$

Em que μ_y , σ_y e β são respectivamente os parâmetros de escala, forma e posição da distribuição. Sendo β um limite inferior para os dados da variável analisada.

A distribuição Pearson tipo III tem como função densidade de probabilidades:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta)} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\alpha} \right)} \quad (3)$$

Em que γ , α e β são os parâmetros de posição, escala e forma da distribuição, e Γ é a função gama.

Se os logaritmos de variável x ($\ln x$) são distribuídos segundo a distribuição Pearson tipo III, a variável x deverá se distribuir como a Log-Pearson tipo III. A distribuição Log-Pearson tipo III tem como função densidade de probabilidades:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha x \Gamma(\beta)} \left\{ \frac{\ln(x) - \gamma}{\alpha} \right\}^{\beta-1} e^{-\left\{ \frac{\ln(x) - \gamma}{\alpha} \right\}} \quad (4)$$

Em que γ , α e β são os parâmetros de posição, escala e forma da distribuição, Γ é a função gama.

A distribuição de extremos tipo I, também conhecida como distribuição de Gumbel ou Fisher-Tippet do tipo I, tem função densidade de probabilidade dada por:

$$f(x) = \alpha e^{\{-\alpha(x-\beta) - e^{-\alpha(x-\beta)}\}} \quad (5)$$

Em que β e α são os parâmetros de posição, escala

A distribuição Generalizada de Valores Extremos (*Generalizes Extreme Value*) ou distribuição GEV foi introduzida por Jenkinson (1955) e incorpora as três formas de assintóticas de valores extremos máximos em uma única expressão. A função densidade de probabilidades da distribuição GEV é dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \left[1 + k \left(\frac{x-\beta}{\alpha} \right) \right]^{-\left(\frac{1+k}{k} \right)} \exp \left\{ - \left[1 + k \left(\frac{x-\beta}{\alpha} \right) \right]^{-\left(\frac{1}{k} \right)} \right\} \quad (6)$$

Em que β e α e κ são respectivamente os parâmetros de posição, escala e forma da distribuição.

Para ajuste dos parâmetros foi utilizado o métodos dos momentos ponderados por probabilidades, conhecido como Momentos-L (MML), o qual pode produzir estimadores de parâmetros comparáveis, em qualidade, àqueles gerados pela Máxima Verossimilhança, com a vantagem de exigirem um menor esforço computacional (Naghettini e Pinto, 2007).

Para avaliar a aderência dos dados a distribuição ajustada foram usados os testes de Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling ao nível de significância de 5%.

Para selecionar a melhor distribuição foram considerados os índices de desempenho dados pela raiz do erro quadrático médio (RMSE), o erro percentual absoluto médio (MAPE), erro absoluto médio (MAE) e o D-Index, calculados respectivamente por:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{e_i})^2}{n}} \quad (7)$$

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{X_{e_i} - X_i}{X_i} \right| \quad (8)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |X_{e_i} - X_i| \quad (9)$$

$$Dindex = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^6 |R_i - R_i^*| \quad (10)$$

Em que X_i é o valor da chuva máxima observada, X_{e_i} é a chuva estimada com a distribuição de probabilidade testada, que R é o valor médio da série da precipitação registrada, R_i ($i = 1$ a 6) são os seis primeiros valores mais altos na série de precipitação registrada e R_i^* é a precipitação estimada por distribuição de probabilidade, n é o número de dados na série de máxima.

No método estatístico, proposto por Hershfield (1961) a PMP é estimada por:

$$X_{PMP} = \bar{X}_n + (K_m S_n) \quad (11)$$

Em que \bar{X}_n é a média de n dados da série de chuvas máximas; S_n é o desvio padrão da série de máximas anuais; K_m é um fator de frequência.

WMO (2009) apresenta a metodologia estatística definida por Hershfield com fatores de ajuste da média e do desvio padrão das séries. Hershfield apresentou a curva envoltória para a determinação de um fator de frequência, que foi realizada com base no comportamento de chuvas com 24 horas de duração e na observação de 2700 estações meteorológicas nos Estados Unidos. Burger (2014) ajustou a equação para estimativa do fator K_m de Hershfield dada por:

$$K_m = 20 - \frac{0,732 \bar{X}_n^{0,692}}{(d+0,372)^{0,420}} \quad (12)$$

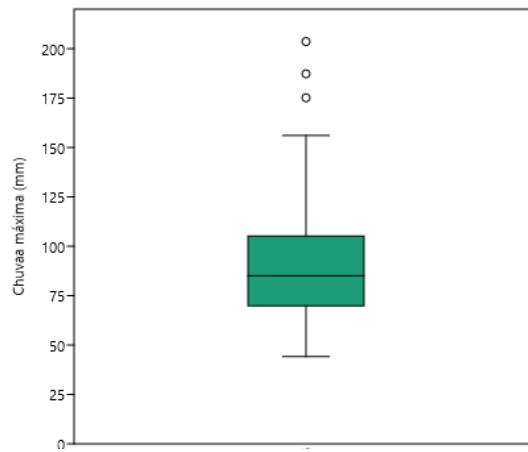
Em que, d é a duração em horas.

Vários estudos mostram que o fator K_m estabelecido por Hershfield não foi adequado. Sugai (1989), com base em dados de 130 estações pluviométricas do sul do Brasil, indicou o valor de K_m máximo igual a 9,0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 consta o boxplot da série de máximas anuais, com valores variando de 44,2 mm a 203,6 mm, média de 90,1 mm, desvio padrão de 29,4 mm, e coeficiente de assimetria de 1,46. Alam *et al.* (2018) afirmaram que séries com coeficiente de assimetria acima de 1,0 podem ser consideradas altamente assimétricas, enquanto assimetria de 0,5 a 1 é considerada moderadamente assimétrica. Séries com assimetria de -0,5 a 0,5 podem ser consideradas aproximadamente simétricas. Back e Bonfante (2021) analisaram as séries de máximas anuais de precipitação diária de 224 estações pluviométricas em Santa Catarina, e encontraram assimetria variando de -0,277 a 3,917. Os coeficientes de assimetria e dispersão observados em Pomerode estão de acordo com vários trabalhos de chuvas intensas. Bhakar *et al.* (2006) mostraram que as séries de precipitação de Banswara, Rajasthan (Índia), com duração de 1 a 5 dias, variaram de 138,4 mm a 169,3 mm, com coeficiente de assimetria variando de 0,98 a 1,70. Kwaku e Duke (2007), analisando dados de precipitação de até 5 dias consecutivos em Accra (Gana), encontraram uma média variando de 92,3 mm a 120,0 mm, com assimetria de 1,10 a 1,93.

Figura 2 - Boxplot da série de chuvas máximas anuais da cidade de Pomerode-SC (1930-2023).



Na Tabela 01 constam os parâmetros ajustados de cada distribuição de probabilidades, bem como os valores dos testes de aderência e os critérios de seleção. Observa-se que, tanto o teste de KS, como o de AD não rejeitaram nenhuma distribuição de probabilidades e, dessa forma, todas distribuições podem ser usadas na estimativa da chuva máxima. Neste caso, pode-se selecionar uma distribuição mais adequada, isto é, a que melhor se ajusta aos dados observados. Esta seleção pode ser auxiliada com base nos índices de desempenho. No ranqueamento destes índices observa-se que a distribuição GEV apresentou os menores valores de RMSE, MAPE, MAE, e obteve a segunda colocação no D-index, portanto, pode ser indicada como a melhor distribuição para estimativa das chuvas máximas de Pomerode. Verifica-se ainda que a distribuição Log-Normal com 2 parâmetros (LN2) teve pior desempenho em todos os índices avaliados.

Tabela 1 - Parâmetros da distribuição e estatísticas dos testes de aderência e índices de desempenho.

Estatística	Distribuição de probabilidades ¹					
	Gumbel	LN2	LN3	PE3	LP33	GEV
Parâmetros da distribuição						
Posição	22,2562	4,4548	3,9526	20,1767	0,0686	-0,0925
Escala	77,3029	0,3057	0,4775	2,0700	18,7385	20,2791
Forma			31,7979	48,3902	3,1710	76,4201
Testes de aderência						
KS	0,0794	0,0891	0,0709	0,0783	0,0650	0,0660
AD	0,3862	0,5238	0,2998	0,5722	0,2653	0,2543
Critérios de seleção						
RMSE	4,0326	4,8018	2,7888	3,3310	2,7984	2,6025
MAPE	2,3934	2,8560	2,0517	2,4882	1,8939	1,8612
MAE	2,3874	2,8289	1,9216	2,3181	1,8258	1,7858
D-index	0,7843	0,9489	0,4113	0,5285	0,4396	0,4263
Rankeamento						
KS	5	6	3	4	1	2
AD	4	5	3	6	2	1
RMSE	5	6	2	4	3	1
MAPE	4	6	3	5	2	1
MAE	5	6	3	4	2	1
D-index	5	6	1	4	3	2

KS critico =0,1401; AD critico = 0,752.

¹LN2 –Log-Normal com 2 parâmetros; LN3 –Log-Normal com 3 parâmetros; PE3 –Pearson Tipo III; LPE3 – Log-Pearson Tipo III; GEV –Generalized Extreme Value.

Existem vários estudos que apontam a distribuição GEV como mais adequada aos estudos de chuvas máximas. Sabino *et al.* (2021), analisando dados de 14 estações pluviográficas do Estado de Mato Grosso observaram que, as funções de distribuição acumulada Generalizada de Valores Extremos (GEV) e Generalizada de Pareto, apresentaram os melhores resultados de ajuste para todas as estações estudadas, sendo a GEV a única que apresentou um ajuste em todas as estações e durações de chuva. Também Ferreira, Beijo e Avelar (2021), analisando dados de três cidades de Minas Gerais, concluíram que a distribuição GEV se mostrou superior a demais testadas. Back (2021) analisando

dados de chuva máxima de Itapiranga, no extremo oeste de Santa Catarina, concluiu que a distribuição GEV com parâmetros estimados pelo método dos momentos apresentou melhor ajuste, enquanto a Log-Normal com dois parâmetros e a Gumbel-Chow apresentaram os piores ajustes. Para períodos de retorno inferior a 100 anos as diferenças entre as estimativas das distribuições de probabilidade em relação à distribuição GEV-LM foram inferiores a 10%. As distribuições Gumbel e Pearson apresentaram os piores desempenhos estatísticos.

Na Tabela 2 constam as estimativas das chuvas máximas obtidas com todas as distribuições testadas para período de retorno de 5 a 10.000 anos. Observa-se que para períodos de retorno de até 100 anos as diferenças entre as estimativas das diferentes distribuições de probabilidade em relação a estimativa obtida com a distribuição GEV foram inferiores a 10%, corroborando as observações de Back (2021). A distribuição Log-Pearson Tipo III apresentou valores de chuvas máximas com diferenças inferiores a 5% em relação à distribuição GEV, enquanto para a distribuição Log-Normal com três parâmetros essas diferentes foram inferiores a 9%. No entanto, para estimativa da chuva decamilenar obteve-se diferenças de 27,7%, 23,9% e 20,5% respectivamente com as distribuições Log-Normal com dois parâmetros, Gumbel e Pearson tipo III. É importante destacar que essas distribuições não foram rejeitadas nos testes de aderência, e assim, caso fossem analisadas isoladamente, sem a comparação com outras, seriam usadas nos estudos hidrológicos. Essa constatação reforça a necessidade de estudos mais detalhados nas estimativas de chuvas intensas com grandes períodos de retorno. Existem estudos que somente avaliam uma distribuição de probabilidade usando o teste de KS, que se mostra pouco rigoroso para rejeitar a distribuição de probabilidades (Silva Neto *et al.*, 2022). A avaliação de apenas uma distribuição de probabilidades pode ter influência e ser determinante na definição da chuva crítica entre a PMP ou a chuva decamilenar.

Tabela 2 - Chuvas extremas estimadas para Pomerode-SC.

T (anos)	Probabilidade		Distribuição de probabilidades ¹					
	P[X<x]	P[X>x]	Gumbel	LN2	LN3	PE3	LPE3	GEV
5	0,80	0,20	110,7	111,3	109,6	110,5	109,6	109,0
10	0,90	0,10	127,4	127,3	127,8	128,7	127,5	127,2
25	0,96	0,04	148,5	146,9	151,9	151,6	151,5	151,9
50	0,98	0,02	164,1	161,2	170,6	168,5	170,3	171,7
100	0,99	0,01	179,7	175,2	189,9	185,3	190,0	192,7
500	0,998	0,002	215,6	207,4	237,6	223,7	240,0	246,7
1000	0,999	0,001	231,0	221,3	259,5	240,2	263,7	272,5
5000	0,9998	0,0002	266,9	253,9	314,1	278,6	324,9	339,2
10000	0,9999	0,0001	282,3	268,2	339,2	295,2	354,1	371,1

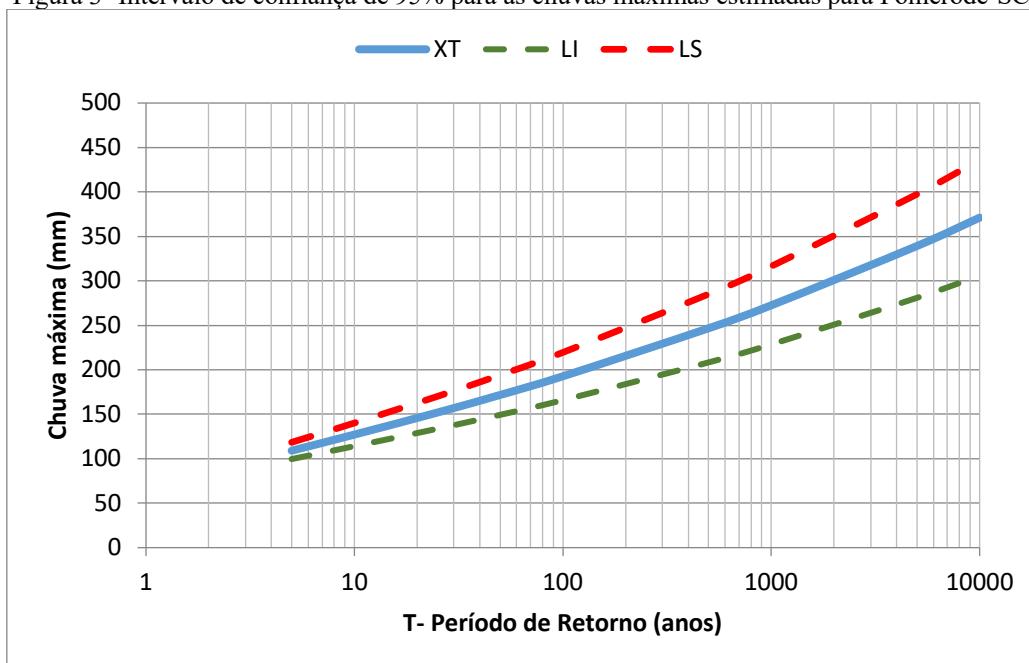
¹LN2 –Log-Normal com 2 parâmetros; LN3 –Log-Normal com 3 parâmetros; PE3 –Pearson Tipo III; LPE3 – Log-Pearson Tipo III; GEV –Generalized Extreme Value.

Aplicando a metodologia de Hershfield, com o fator de frequência calculado conforme Burger (2014), obteve-se K_m de 15,68 e a PMP de 551,1 mm. No entanto, adotando o limite máximo de K_m de 9, conforme indicado por Sugai e Fill (1990) obtém-se a PMP de 355,7 mm. Esses valores correspondem a chuvas estimadas pela distribuição GEV com período de retorno de 256.000 anos e 7.000 anos. Parece evidente que o fator de frequência K_m 15,68 está superestimado. Koutsoyiannis (1999), analisando os postos pluviométricos utilizados pelo Hershfield (1961b), percebeu que, a utilização fixa do K_m igual a 15 para estimar a PMP é similar a estimar o quantil da distribuição de probabilidades GEV com período de retorno de 60.000 anos. Barbosa *et al.* (2023) analisando dados

de 27 estações do Inmet propuserem uma envoltório regional do fator de frequência par todo o Brasil, com o valor K_m máxima de 9,6.

Na Figura 3 estão representados os valores de chuva máxima estimada com período de retorno de 5 a 10.000 anos com os respectivos intervalos de confiança de 95%. Para o período de retorno de 10.000 anos o intervalo de confiança varia de 306,0 mm a 436,3 mm. Esses valores correspondem respectivamente a K_m de 7,3 e 11,7. Observa-se que para o caso de Pomerode, dado a incerteza da estimativa de envoltória de K_m estabelecida por Hershfield (1965), parece ser mais adequado indicar o valor do limite superior do intervalo de confiança da chuva máxima com um dado período de retorno.

Figura 3- Intervalo de confiança de 95% para as chuvas máximas estimadas para Pomerode-SC.



CONCLUSÕES

Com base na série de chuvas máximas anuais com 94 anos de observação pode-se observar que para períodos de retorno de até 100 anos todas as distribuições avaliadas neste estudo podem ser usadas para a estimativa da chuva máxima. No entanto, para períodos de retorno grandes como 10.000 anos, podem ocorrer diferenças superiores a 20% nas estimativas das chuvas máximas entre as distribuições de probabilidades que foram consideradas aptas pelos testes de aderência.

No caso de Pomerode a chuva decamilenar apresentou valores mais restritivos do que a PMP calculada com o fator de frequência indicado para a região sul do Brasil. O uso da metodologia da PMP é dependente do fator de frequência, sendo que a curva de envoltória deste parâmetro apresentada na metodologia da WMO (2009) é muito questionada para as condições do Brasil. Com estas incertezas sugere-se como alternativa o valor do limite superior do intervalo de confiança da chuva máxima calculada pelo estudo de frequências com os dados locais.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (Fapesc), pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- ALAM, M.A.; EMURA, K.; FARNHAM, C.; YUAN, J. (2018). “*Best-Fit Probability Distributions and Return Periods for Maximum Monthly Rainfall in Bangladesh*”. *Climate* 6(1), pp.1-16.
- ALIAS, N. E. B. (2014). “Improving extreme precipitation estimates considering regional frequency analysis”. A dissertation submitted in partial fulfilment of the requirements for the Degree of Doctor of Engineering Department of Civil and Earth Resources Engineering Kyoto University, Japan 2014, 204p.
- ALVARES, C.A; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVEZ, J.L.M.; SPAROKEV, G. (2013). “*Köppen's climate classification map for Brazil*”. *Meteorologische Zeitschrift* 22(6) pp. 711–728.
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA. (2016). *Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens* – Volume V: Diretrizes para a Elaboração de Projeto de Barragens. Brasília, DF, Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.
- Agência Nacional de Mineração - ANM. (2022). *Resolução ANM nº 95, de 07 de fevereiro de 2022*. Brasília, DF, Ministério de Minas e Energia. 2022.
- BACK, Á.J. (2021). “*Distribuições de probabilidades para estimativa de chuvas máximas*” In: Congresso Virtual de Agronomia, 2021, On line. **IX Congresso Virtual de Agronomia**. São Paulo: Instituto Pantex de Pesquisa Ltda, 2021, p.1 – 15.
- BACK, Á.J.; BONFANTE, F.M. (2021). “*Evaluation of generalized extreme value and Gumbel distributions for estimating maximum daily rainfall*”. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais* 56(4), pp.1 - 11.
- BARBOSA, A.G.; DA SILVA, A.F.R.; COSTA, V.A.F. (2023). “*Estimativa espacial da Precipitação Máxima Provável com duração de 24 horas para o território brasileiro*”. XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, p. 10, 2023
- BHAKAR, S.R.; BANSAL, A.K.; CHHAJED, N.; PUROHIT, R.C. (2006). “Frequency analysis of consecutive days maximum rainfall at Banswara, Rajasthan, India”. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences* 1(3), pp.64-67.
- BURGER, L. C. (2014). *Adaptação e análise do método de Hershfield para estimativa da precipitação máxima provável (PMP)*. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Departamento de Hidráulica e Saneamento do Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR. 2014
- Comitê Brasileiro De Barragens (CBDB) (2001). *Guia Básico de Segurança de Barragens*. São Paulo: CBDB - Núcleo Regional de São Paulo, 78 p.
- FERREIRA, T.R.; BEIJO, L.A.; AVELAR, F.G. (2021). “*Avaliação de distribuições de probabilidades no estudo de precipitação pluvial máxima de três cidades de Minas Gerais*”. *Revista Brasileira de Climatologia* 29, p.524-544.
- HERSHFIELD, D.M. (1961a). *Technical Paper N. 40: Rainfall Frequency Atlas of the United States, Department of Commerce*. Weather Bureau, Washington, DC.

- HERSHFIELD, D.M. (1961b). “*Technical Estimating the probable maximum precipitation*”. Journal of Hydraulics Division: Proceedings of the American Society of Civil Engineers 87, pp. 99–106.
- HERSHFIELD, D.M. (1965). “*Method for estimating probable maximum rainfall*”. American Water Works Association, pp. 965-972.
- JENKINSON, A.F. (1955). “*The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements*”. Quarterly Journal of Royal Meteorological Society 81, pp.58-171.
- KOUTSOYIANNIS, D. (1999). “*A probabilistic view of Hershfield's method for estimating probable maximum precipitation*”. Water Resources Research 35(4), pp.1313-1322.
- KWAKU, X. S.; DUKE, O. (2007). “*Characterization and frequency analysis of one day annual maximum and two to five consecutive days' maximum rainfall of Accra, Ghana*”. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences 5(7), pp.27-31.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, É.J.A. (2007). *Hidrologia estatística*. Belo Horizonte: CPRM.
- SABINO, M.; SOUZA, A.P.; ULIANA, E.M.; ALMEIDA, F.T.; LISBOA, L.; ZOLIN, C.A. (2021). “*Distribuições de probabilidade para intensidade de precipitação máxima no Estado de Mato Grosso*”. Revista Brasileira de Climatologia 29, pp.321–340.
- SILVA NETO, V.L.; SOUZA, L.B.; VIOLA, M.R.; MORAIS, M.A.V. (2022). “*Equação de chuvas intensas e Precipitação Máxima Provável para a cidade de Goiás-GO, Brasil*”. Revista Brasileira de Climatologia 30, pp.611-625.
- SILVA NETO, V. L. VILA, M. R.; MELLO, C.R.; SILVA, D. D.; GIONGO, M.V. (2020). “*Precipitação máxima provável no estado do Tocantins: primeira aproximação pelo método estatístico de Hershfield*”. Revista Brasileira de Climatologia 27, pp.660-679.
- SUGAI, M.R.V.B.; FILL, H.D.O.A. (1990). “*Tempo de recorrência associado à Precipitação Máxima Provável na região Sul do Brasil*”. Revista Brasileira de Engenharia 8(1), pp.110.
- SUGAI, M.R.V.B. (1989). “*Tempo de Recorrência associado a Precipitação Máxima Provável na Região Sul do Brasil*”, Dissertação de Mestrado, CEHPAR/UFPR, Curitiba, 1989.
- Water Environment Federation- American Society Of Civil Engineers. (1992). *Design and Construction Of Urban Stormwater Management Systems: Asce Manuals And Reports On Engineering Practice No. 77.* 724p.
- WMO. (2009). *Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP)*. World Meteorological Organization, Nº 1045, Geneva, 257 p.