XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

ANÁLISE DA REPRESENTATIVIDADE DE DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE APLICADAS ÀS VAZÕES MÁXIMAS

Henrique Augusto Dantas Heck [1]; Aleska Kaufmann Almeida[1]; José Antonio Guarienti[1];*

Leidiane da Silva Marques[1]; Paulo Victor Freitas Lopes[1]; Marcos Mota Medalha Júnior[1];

Cássia Monteiro da Silva Burigato Costa[1]; Armando Menegati Neto[1]; Sharon Kelly de Melo[1];

Ayrton Renan de Oliveira Ferreira[1] & Isabel Kaufmann de Almeida[1]

RESUMO – A estimativa da máxima vazão de ocorrência em determinado local, considerando o período de tempo em anos, é muito importante para a Engenharia, pois esse valor é determinante para elaboração de projetos de infraestrutura ou obras de contenção de cheias naquele local. O presente trabalho tem como objetivo estimar eventos extremos de vazão, no estado do Paraná, usando métodos analíticos, comumente utilizados na literatura científica, e determinar qual desses métodos é o mais representativo para a região. Foi constatado que, dentre as metodologias analisadas, a distribuição de Gumbel é a mais representativa para eventos extremos de vazão na área de estudo e, portanto, a mais segura para elaborações de projetos.

ABSTRACT– The estimation of the maximum flow of occurrence in a given location, considering the period of time in years, is very important for Engineering, since this value is determinant for the elaboration of infrastructure projects or containment works in that place. The present work aims to estimate extreme flow events in the state of Paraná by the analytical methods commonly used in the scientific literature and to determine which of these methods is the most representative for the region. It was found that, among the methodologies analyzed, the Gumbel distribution is the most representative for extreme flow events in the study area and, therefore, the safest for project elaborations.

Palavras-Chave – Processos hidrológicos; Modelo probabilístico; Vazão extrema.

INTRODUÇÃO

Segundo Villela e Mattos (1975) a magnitude dos picos de enchentes, além da maior ou menor oportunidade de infiltração e a suscetibilidade de erosão do solo, dependem diretamente da velocidade do escoamento superficial, ou seja, da vazão que que ocorre bacia. A estimativa da máxima vazão de ocorrência em determinado local, considerando o período de tempo em anos, é muito importante para a Engenharia, pois esse valor é determinante na elaboração de projetos de

1) Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia. Cidade Universitária, CEP 79070-900. Campo Grande, MS.
* Autor Correspondente: aleska.kaufmann@gmail.com

infraestrutura ou obras de contenção de cheias naquele local. Como exemplos de projetos que dependem diretamente de estimativas confiáveis de eventos extremos pode-se citar o dimensionamento de canais, diques, pontes, sistemas de abastecimento, vertedores e projetos de irrigação. Um evento que extrapole significativamente o esperado pode causar sérios danos e até perda de vidas. Assim, uma questão importante na engenharia é a estimativa do período de retorno de eventos como inundações extremas ou precipitações para um local ou região.

A importância da estimativa de cheias de projeto é tópico importante na hidrologia, ilustrado pelo grande número de metodologias que podem ser encontradas na literatura científica e prática (Lamb, 2005). Os métodos podem envolver, desde a aplicação de modelos de distribuição de probabilidades a uma série de máximas anuais (Vogel e Wilson, 1996), até sistemas de modelagem chuva-vazão (Yue, 2000). A escolha do método a ser aplicado para estudo de cheias é determinada por considerações práticas, como tipo e importância do estudo, normativas existentes, experiência prévia do projetista e disponibilidade de dados para a análise.

Hosking e Wallis (1993) organizaram o procedimento de análise regional de frequência de cheias em quatro etapas: (I) Triagem dos dados; (2) identificação de regiões homogêneas; (3) escolha de uma distribuição probabilística regional e (4) estimativa da distribuição probabilística regional. A identificação de regiões homogêneas (etapa 2) é importante para definir uma forma de determinar parâmetros e os de desvios a serem usados para estimativas regionais de cheias. Dessa maneira, o presente trabalho tem como objetivo estimar eventos extremos, no estado do Paraná, pelos modelos de distribuição de probabilidades comumente utilizados na literatura científica e determinar qual desses métodos é o mais representativo para a região.

METODOLOGIA

Dados fluviométricos e área de estudo

Os dados necessários para o estudo foram disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA), a partir dos quais foi possível analisar dados de vazão diários e mensais. Foram selecionados para o estudo as estações que possuíam séries de dados superiores a trinta anos e com menor porcentagem de falhas, dentro desse intervalo de tempo. Outro ponto determinante na escolha das estações foi separar apenas aquelas localizadas em áreas não urbanas. Essa premissa de escolha se deu com o intuito de melhor caracterizar o comportamento do escoamento na bacia hidrográfica, em sua formação mais natural possível. Dessa forma, a área de estudo do presente trabalho foi determinada pela disponibilidade de dados que atendessem os requisitos apresentados.

Modelos Probabilísticos de Distribuição

As distribuições de probabilidades teóricas Normal, Log-Normal e Gumbel são, de acordo com Mello *et al*. (2010), Ren *et al*. (2017), Nortje (2010) e Smithers *et al*. (2015), métodos probabilíticos aplicáveis à estimativa de vazões máximas.

Com o intuito de determinar qual dos modelos já citados melhor se adéqua à série de dados, deve-se, previamente, aplicar uma distribuição empírica, a qual servirá como parâmetro de comparação para as demais distribuições. Segundo Tucci (2002) a distribuição empírica é aplicada principalmente pela dificuldade de ajustar uma curva que represente corretamente os valores amostrais em alguns casos, o próprio autor cita o exemplo da modificação das características da seção transversal de um rio quando analisamos vazões máximas.

Dentre as possíveis equações de estimativa empírica, tem-se a equação de Weibull (Eq. 1). Essa equação fornece a probabilidade de um evento ser igualado ou superado, referente as vazões máximas anuais.

$$p = \frac{m}{n+1} \qquad (1)$$

Com as máximas vazões anuais ordenadas da maior para a menor ocorrência registrada, p é a probabilidade acumulada do evento ser igualado ou superado em magnitude, m é o número de ordem e n é o total de anos registrados na amostra.

A estimativa em anos para um evento ser igualado ou superado é o tempo de retorno (Eq. 2). O tempo de retorno é inverso da probabilidade de excedência acumulada.

$$T = \frac{1}{p} \qquad (2)$$

Na sequência, foram aplicadas, às séries de vazões máximas das estações selecionadas, as distribuições de probabilidades teóricas Normal (Eq.3), Log-Normal (Eq.4) e Gumbel (Eqs. 5 e 6) descritas em Naghettini e Pinto (2007), Tucci (2009) e Collischonn (2013).

$$x = \bar{x} + K.s \qquad (3)$$

Onde x é a vazão máxima para uma dada probabilidade; $\bar{x}$ é a média das vazões diárias máximas anuais observadas; s é o desvio padrão das vazões diárias máximas anuais observadas; K é a variável reduzida a qual relaciona a probabilidade de exceder com o período de retorno (Tabela 1).

$$\log(x) = \overline{\log(x)} + K.s_{logx} \qquad (4)$$

Onde $\log(x)$ é o logaritmo das vazões diárias máximas anuais observadas; $\overline{\log(x)}$ é a média dos logaritmos das vazões diárias máximas anuais observadas; $s_{\log(x)}$ é o desvio padrão dos logaritmos das vazões diárias máximas anuais observadas; K é a variável reduzida a qual relaciona a probabilidade de exceder com o período de retorno (Tabela 1) .

Tabela 1 – Variável reduzida K relacionada com a probabilidade e o período de retorno.

T (anos)	Probabilidade	K
10000	0,0001	3,719
2000	0,0005	3,291
1000	0,0010	3,090
200	0,0050	2,576
100	0,0100	2,326
20	0,0500	1,645
10	0,1000	1,282
5	0,2000	0,842
2	0,5000	0,000

$$b = \frac{1}{0{,}7797 * s} * (x - \bar{x} + 0{,}45 * s) \qquad \text{(eq. 5)}$$

$$P = 1 - e^{-e^{-b}} \qquad \text{(eq. 6)}$$

Onde s é o desvio padrão das vazões diárias máximas anuais observadas, $\bar{x}$ a média das vazões diárias máximas anuais observadas e P é a probabilidade de um evento de vazões máximas ser igualado ou superado.

Após os cálculos dos três modelos probabilísticos e do modelo empírico, a aderência dos modelos foi analisada pelo teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (KS), considerando um nível de significância de 5% de probabilidade estatística. Segundo Back (2001), o teste KS leva em consideração as diferenças absolutas entre os valores de probabilidade de excedência empírico e analítico (Eqs. 7 e 8). Com as diferenças absolutas, o maior valor dessas diferenças, será o nosso Ks, ou seja, o resultado de teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (Eq. 9).

$$D^{+} = \max_{x(i)} |F(x(i))teórica - F(x(i))enpírica| \qquad (7)$$

$$D^{-} = \max_{x(i)} |F(x(i+1))teórica - F(x(i))enpírica| \qquad (8)$$

$$Ks = \max(D^{+}, D^{-}) \qquad (9)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram selecionadas quatro estações fluviométricas (Tabela 2). As estações foram dispostas na área de estudo (Figura 1) em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica).

Tabela 2 – Caracterização das estações selecionadas para o estudo.

Estações Estudadas						
Código	Tempo de medição	Municipio	Estado	Bacia	Sub-bacia	Bioma
64450002	36 anos	Ponta Grossa	PR	Paraná	Rios Paraná, Paranapanema e outros	Mata Atlântica
64620000	81 anos	Prudentópolis	PR	Paraná	Rios Paraná, Paranapanema e outros	Mata Atlântica
65370000	31 anos	General Carneiro	PR	Paraná	Rios Paraná, Iguaçu e outros	Mata Atlântica
65855000	85 anos	Virmond	PR	Paraná	Rios Paraná, Iguaçu e outros	Mata Atlântica

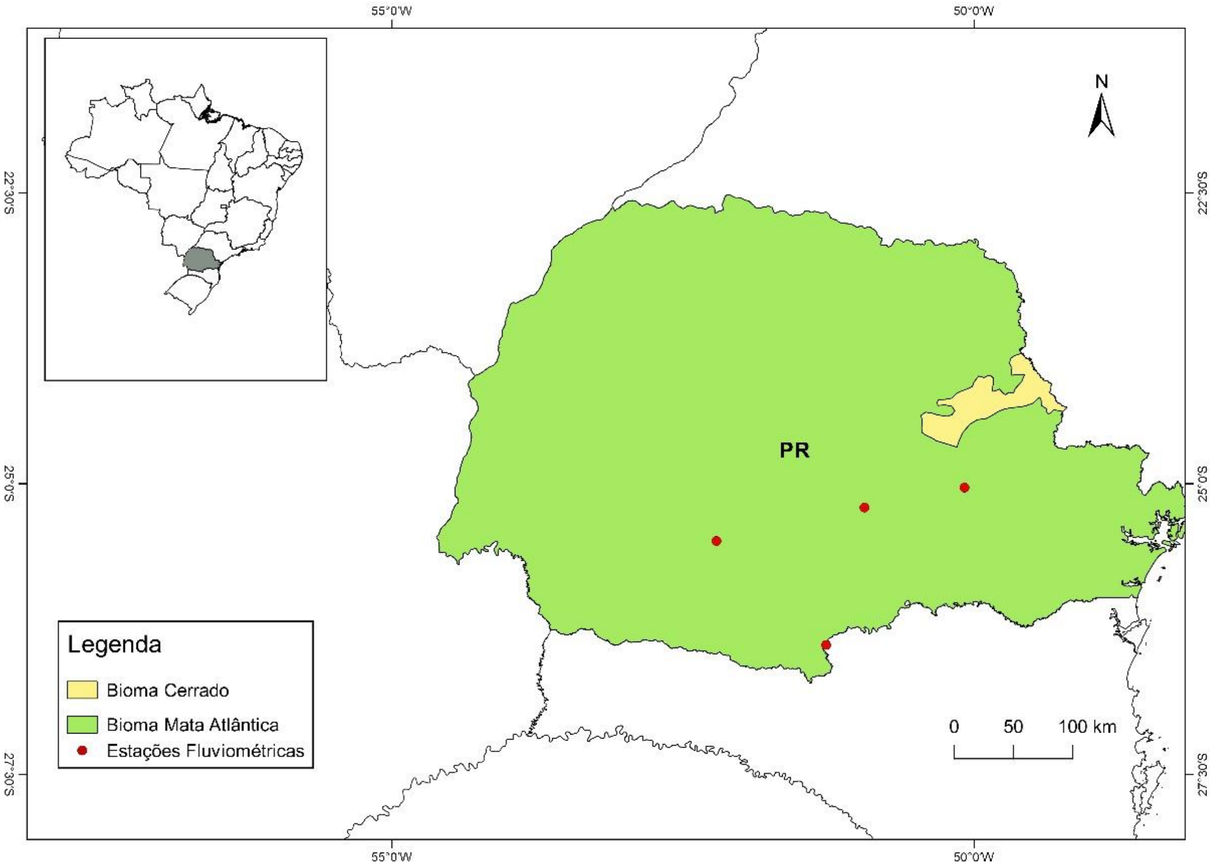

Figura 1 – Localização das estações selecionadas para estudo.

Os dados de cada estação foram tratados em planilhas eletrônicas, a fim de localizar de forma mais visual, as máximas anuais e, a partir delas, aplicar o modelo empírico e os modelos analíticos. Na Figura 2 estão apresentados os gráficos que comparam os modelos para cada uma das quatro estações selecionadas.

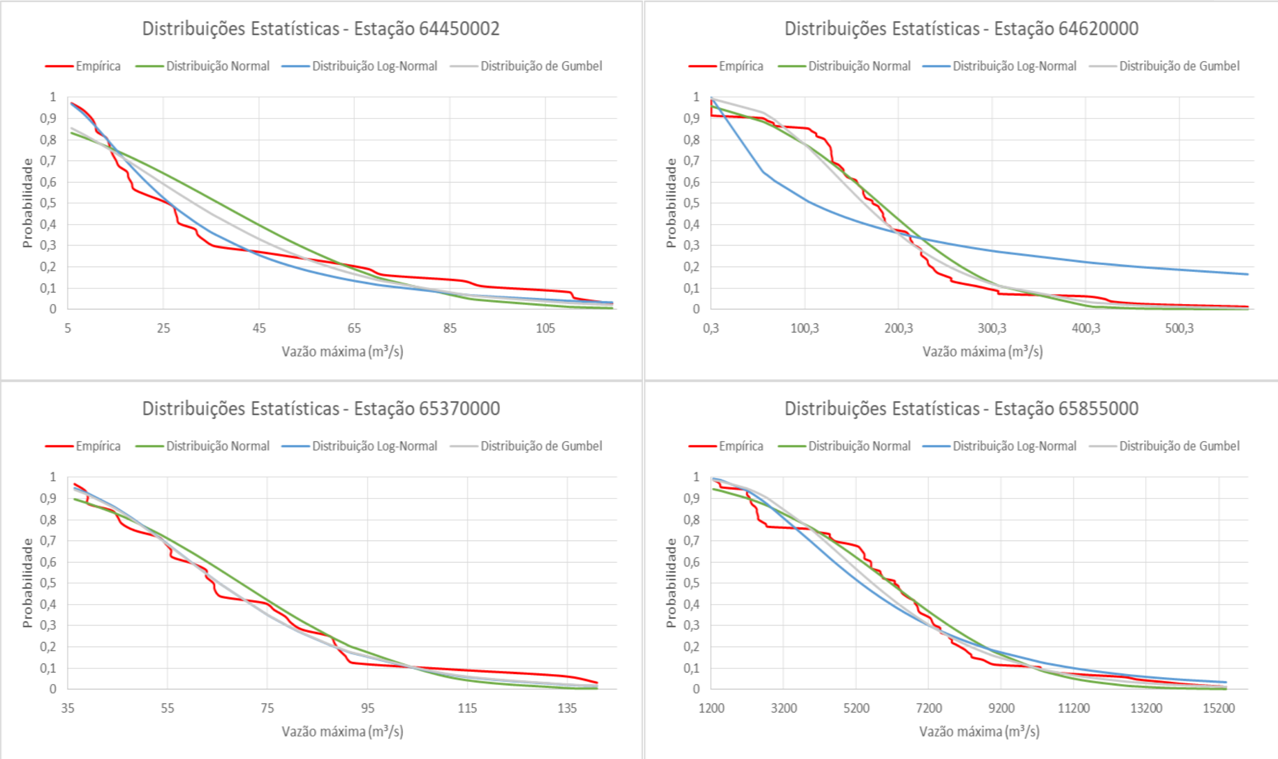

Figura 2 - Distribuições estatísticas das estações

Na mesma planilha foi realizado o teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para determinar qual dos modelos possui melhor representatividade com relação ao modelo empírico. Na Tabela 3 estão apresentados os resultados de KS para cada modelo e a distribuição melhor ajustada para a estação em questão.

Tabela 3 – Resultado do teste de aderência.

Código	KS Distribuição Normal	KS Distribuição LogNormal	KS Distribuição Gumbel	Distribuição Melhor Ajustada
64450002	0,2401203	0,1208384	0,1719110	Log-Normal
64620000	0,1166479	0,3431900	0,1130358	Gumbel
65370000	0,1544685	0,0889801	0,0886771	Gumbel
65855000	0,1107037	0,1635816	0,1470520	Normal

A partir dos dados obtidos, é possível perceber que a distribuição de Gumbel foi o que apresentou melhor ajuste para a maioria das estações. A distribuição Log-Normal foi o que apresentou o pior ajuste, tendo isso sido observado na estação de número 64620000. Tal fato se deve a um período de seca que o rio monitorado pela estação foi submetido, o que pode ser visualizado no gráfico da estação em questão.

CONCLUSÕES

A distribuição Log-Normal foi o que apresentou o pior ajuste, em caso de grandes períodos de estiagem. A distribuição de Gumbel é a mais representativa para eventos extremos de vazão na área de estudo e, portanto, a mais segura para elaborações de projetos.

.

AGRADECIMENTOS – Ao Grupo de Pesquisa ModelHy, à Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – FUFMS, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

REFERÊNCIAS

BACK, A. J. (2001). "*Seleção de distribuição de probabilidade para chuvas diárias extremas do estado de Santa Catarina*". Revista Brasileira de Meteorologia 16 (2), pp. 211-222.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. (2013). "*Hidrologia para engenharia e ciências ambientais*". Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos 1, pp. 336.

HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. (1993). "*Some statistics useful in regional frequency analysis*." Water resources research, *29*(2) pp. 271-281.

LAMB, R. (2005). "*Rainfall-runoff modelling for flood frequency estimation*". Em *Encyclopedia of hydrological sciences, volume 3,* Editado por: Anderson, MG e McDonnell, JJ1923 - 1953 .Chichester: Wiley.

MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; BESKOW, S. (2010). "*Maximum and minimum discharges for Alto Rio Grande region basins, Minas Gerais state, Brazil*". Ciência e Agrotecnologia 34 (2), pp. 494-502.

NAGHETTINI, M., PINTO, E.J.A. (2007). "*Hidrologia Estatística". * CPRM, Belo Horizonte, Brasil, pp. 552.

NORTJE, J. H. (2010). "*Estimation of extreme flood peaks by selective statistical analyses of relevant flood peak data within similar hydrological regions*". Journal of the South African Institution of Civil Engineering= Joernaal van die Suid-Afrikaanse Instituut van Siviele Ingenieurswese 52 (2), pp. 48-57.

REN, M. et al. (2017). "*A Comparison of Flood Control Standards for Reservoir Engineering for Different Countries*". Water 9(3), pp. 152, 2017.

SMITHERS, J. C. *et al.* (2015). "*Performance of regional flood frequency analysis methods in KwaZulu-Natal, South Africa*". Water AS 41 (3), pp. 390-397.

TUCCI, C. E. M. (Org.). (2009). "*Hidrologia: Ciência e Aplicação*". 4.ed. Porto Alegre: Universidade/ABRH/UFRGS, pp.943.

TUCCI, C. E. M. (2002). "*Regionalização de vazões".* Ed. Universidade: UFRGS.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. (1975). "*Hidrologia aplicada*". In: Hidrologia aplicada. McGraw-Hill.

VOGEL, R. M.; WILSON, I. (1996). "*Probability distribution of annual maximum, mean, and minimum stream flows in the United States*". Journal of Hydrologic Engineering, *1*(2) pp. 69-76.

YUE, S. (2000). *"Joint probability distribution of annual maximum storm peaks and amounts as represented by daily rainfalls".* Hydrological Sciences Journal, *45*(2), pp. 315-326.