

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

APLICAÇÃO DE DISTRIBUIÇÕES TEÓRICAS DE PROBABILIDADE ÀS SÉRIES DE PRECIPITAÇÃO MÁXIMA

José Antonio Guarienti¹; Aleska Kaufmann Almeida^{1}; Henrique Augusto Dantas Heck¹;
Leidiane da Silva Marques¹; Ayrton Renan de Oliveira Ferreira¹; Cleylse Andreia Souza Lima¹;
Paulo Victor Freitas Lopes¹; Armando Menegati Neto¹; Cássia Monteiro da Silva Burigato Costa¹;
Sharon Kelly de Melo¹ & Isabel Kaufmann de Almeida¹*

RESUMO – Alterações na precipitação máxima, tanto relacionadas ao volume máximo precipitado quanto à intensidade da precipitação, muitas vezes perturbam o meio ambiente e a economia. Dessa forma, é necessário o entendimento dos processos hidrológicos para o gerenciamento sustentável dos recursos hídricos. Através de tratamentos estatísticos, dentro de uma margem de erro, é possível estabelecer qual modelo melhor representa a variável em estudo tornando possível quantificar a ocorrência de eventos extremos. Tendo em vista que o estado de Mato Grosso do Sul é recorrente no registro de eventos de cheias, o presente trabalho visa verificar a aderência das distribuições teóricas de probabilidade Normal, Log-Normal e Gumbel às séries históricas de precipitações máximas da região. As distribuições Gumbel e Log-Normal apresentam o melhor ajuste para precipitações máximas na região de estudo.

ABSTRACT– Changes in maximum precipitation, both related to maximum precipitation volume and precipitation intensity, often disrupt the environment and the economy. Thus, it is necessary to understand the hydrological processes for the sustainable management of water resources. Through statistical treatments, within a margin of error, it is possible to establish which model best represents the variable under study, making it possible to quantify the occurrence of extreme events. The present work aims to verify the adherence of the theoretical distributions of Normal, Log-Normal and Gumbel probability to the historical series of maximum rainfall of the region. The Gumbel and Log-Normal distributions present the best fit for maximum precipitation in the study region

Palavras-Chave – Modelo probabilístico; Teste de aderência; Distribuição da precipitação.

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

INTRODUÇÃO

Em hidrologia a precipitação é estabelecida como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre, seja na forma de chuva, granizo, neve, neblina, geada, saraiva ou orvalho. Numa região tropical um dos principais elementos climáticos é a precipitação, pois influencia no comportamento de outros elementos atmosféricos como a umidade relativa do ar e a temperatura do ar. Também, a precipitação é o elemento que melhor caracteriza a variabilidade climática dessa região. Conhecer a distribuição da pluviosidade, tanto no espaço como no tempo, é fator imprescindível nas atividades de planejamento ambiental, pois esse conhecimento subsidia a gestão sustentável dos recursos hídricos.

Definida como a ocorrência extrema, com duração, distribuição temporal e espacial críticas para uma área ou bacia hidrográfica, a precipitação máxima é de grande importância em estudos que visem o controle da erosão do solo, inundações em áreas urbanas e rurais, entre outras calamidades. Alterações na precipitação máxima, tanto relacionadas ao volume máximo precipitado quanto à intensidade da precipitação, muitas vezes perturbam o meio ambiente e a economia. Segundo Mesquita *et al.* (2009), para o dimensionamento de obras hidráulicas, tanto urbanas como rurais, é necessário o conhecimento da precipitação esperada, de modo que a estrutura planejada possa resistir adequadamente. No caso de obras rurais, esse conhecimento é necessário para o planejamento de sistemas de terraceamento agrícola, drenagem em estradas e implantação de barragens para atenuação de cheias, entre outros.

O entendimento dos processos hidrológicos geralmente é qualitativo devido a sua aleatoriedade, o que dificulta sua previsão e prejudica o gerenciamento sustentável de recursos hídricos. No entanto, é possível quantificá-los através de tratamentos estatísticos, dentro de uma margem de erro, estabelecendo o modelo que melhor representa a variável em estudo. Para Lanna (2009), os dados hidrológicos devem ser reunidos em uma amostra e posteriormente submetidos a uma análise estatística, visando à definição de probabilidades. Essa análise deve se ajustar o melhor possível à amostra e, baseado em seus parâmetros, criar modelos teóricos de probabilidade.

De acordo com Silvino *et al.* (2007), a possibilidade de utilização de uma distribuição teórica reside no ajuste às distribuições reais, verificada pela aplicação de testes de aderência. Esses testes possibilitam investigar se os valores amostrais podem ser considerados representativos para uma população. Tendo em vista que o estado de Mato Grosso do Sul é recorrente no registro de eventos de cheias, o presente trabalho visa verificar a aderência das distribuições teóricas de probabilidade Normal, Log-Normal e Gumbel às séries históricas de precipitações máximas da região.

METODOLOGIA

Área de estudo e dados hidrológicos

O Estado de Mato Grosso do Sul tem a agropecuária como principal atividade econômica e a região do estado com maior quantidade de vias de transporte e trânsito comercial são as fronteiras com os estados de São Paulo e Paraná. Essa região, do Planalto da Bacia do Paraná, apresenta solo fértil e é considerada a principal área econômica do Estado. Dessa forma, tendo em vista o potencial crescimento da região, para o presente estudo foram selecionadas estações de monitoramento pluviométrico, localizadas na mesma, que apresentassem séries de dados consistentes.

Foram utilizados dados hidrológicos, de monitoramento pluviométrico contínuo, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA). Foram analisados os dados de pluviosidade máximos diários, mensais e anuais, utilizando-se um conjunto de estações escolhidas de modo a se obter representatividade temporal e espacial da área de estudo. Com o intuito de analisar a variabilidade temporal da precipitação, optou-se pelas estações de medição que apresentam séries de dados superiores a trinta anos.

Além disso, as séries de dados devem possuir as seguintes características apresentadas por Tucci (2002):

- série de valores independentes entre si;
- a série deve ser estacionária ou homogênea no tempo;
- a série deve ser uma amostra representativa.

Assim foi obtida a relação das estações pluviométricas localizadas na área de estudo, juntamente com as suas respectivas coordenadas geográficas latitude e longitude. As estações de medição foram filtradas de tal forma que possuíssem séries de dados superiores a trinta anos e poucas ou nenhuma falha na série histórica para evitar que a representatividade temporal fosse prejudicada.

Modelos Probabilísticos de Distribuição

Para avaliar a adequabilidade dos modelos probabilísticos às séries de dados em estudo, foi aplicado, inicialmente, uma distribuição empírica para, posteriormente, analisar o modelo probabilísticos de distribuição que melhor se ajusta aos pontos da distribuição empírica.

Para representar graficamente uma distribuição empírica e, eventualmente, compará-la graficamente com uma distribuição teórica de probabilidades, é necessário ordenar os valores da amostra e estimar a probabilidade de excedência de cada valor (Tucci, 2002). Portanto, utiliza-se uma equação para estimar a probabilidade de excedência de cada valor amostral de precipitação máxima, ou seja, a probabilidade com que futuras ocorrências de precipitação igualem ou superem o valor considerado. A equação de posição de locação utilizada foi a de Weibull (Eq. 1).

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

Onde p é a probabilidade acumulada de um evento ser igualado ou superado em magnitude, m o número de ordem e n é o total de anos de registro considerado.

O inverso de p é chamado de tempo de retorno (Eq. 2),

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

em que T representa o intervalo temporal médio com que precipitações sucessivas iguais ou maiores que o evento analisado ocorram.

Após a realização dessa análise inicial, foram aplicadas as distribuições de probabilidades teóricas Normal (Eq. 3), Log-Normal (Eq. 4) e Gumbel (Eqs. 5, 6 e 7) descritas em Naghettini e Pinto (2007) e Tucci (2009), às séries históricas de precipitações máximas anuais das estações selecionadas na área de estudo.

$$x = \bar{x} + K \cdot s \quad (3)$$

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

$$\log(x) = \overline{\log(x)} + K \cdot s_{\log x} \quad (4)$$

Onde $\log(x)$ é o logaritmo das precipitações diárias máximas anuais observadas; $\overline{\log(x)}$ é a média dos logaritmos das precipitações diárias máximas anuais observadas; $s_{\log(x)}$ é o desvio padrão dos logaritmos das precipitações 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)	Prob.	K
10000	0,0001	3,719
2000	0,0005	3,291
1000	0,001	3,090
200	0,005	2,576
100	0,010	2,326
20	0,050	1,645
10	0,100	1,282
5	0,200	0,842
2	0,500	0,000

$$\beta = 6^{0,5} \cdot \frac{s}{\pi} \quad (5)$$

$$\alpha = (\mu - 0,577 \cdot \beta) \quad (6)$$

$$\frac{p(1dia;T)-\alpha}{\beta} = -\ln \left(\ln \left(\frac{1}{F(p(dia;T))} \right) \right) \quad (7)$$

Onde s é o desvio padrão, μ a média e α e β são os parâmetros da distribuição de Gumbel obtidos pelo Método dos Momentos (Naghettini e Pinto, 2007), T é o período de retorno e \ln o logaritmo neperiano.

Para verificar a aderência das probabilidades estimadas às séries históricas de precipitações máximas utilizou-se o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, levando em consideração um nível de significância de 5% de probabilidade estatística. Este teste consiste em comparar a função de distribuição acumulada empírica com a função de distribuição acumulada teórica. Utilizam-se as Equações 8 e 9 para medir a distância (vertical) entre os gráficos das duas funções, teórica e empírica, nos pontos $x_{(i-1)}$ e $x_{(i)}$, e verifica-se o valor de KS (Eq. 10).

$$D^+ = |F(x)_{empírica} - F(x)_{teórica}| \quad (8)$$

$$D^- = |F(x)_{empírica} - F(x+1)_{teórica}| \quad (9)$$

$$KS = \max(D^+, D^-) \quad (10)$$

É definida como a distribuição melhor ajustada aquela que apresentar o menor valor de KS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram selecionadas, em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica), sete estações pluviométricas. Na Figura 1 é possível visualizar a localização das estações selecionadas e na Tabela 2 a caracterização das mesmas.

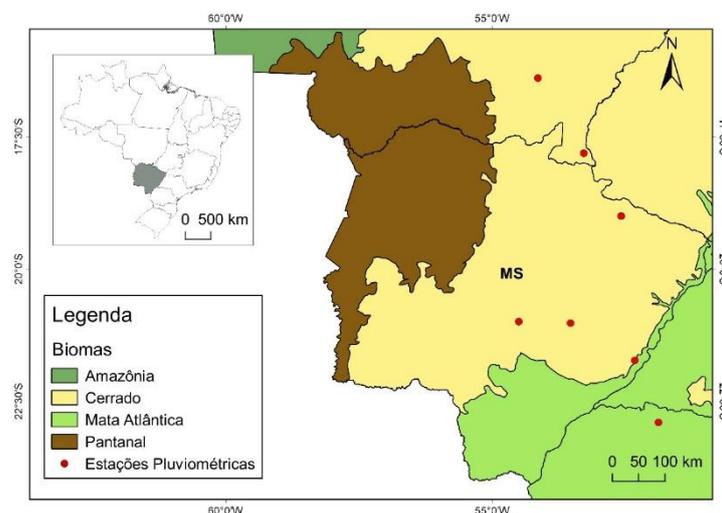


Figura 1 – Localização das estações selecionadas para estudo.

Com o auxílio de planilha eletrônica foi determinada, para cada estação, a série de precipitações máximas anuais e foram aplicadas as distribuições empírica e teóricas de probabilidade. Na figura 2, para cada estação, estão apresentados os valores das precipitações ajustadas pela distribuição empírica e pelas diferentes distribuições de probabilidade em função do tempo de recorrência.

Tabela 2 – Caracterização das estações selecionadas para o estudo.

Código	Tempo de medição (anos)	Município	Estado	Bacia	Sub-bacia	Bioma
2251033	42	Colorado	PR	Paraná	Rios Paraná, Paranapanema e outros.	Mata Atlântica
2152001	45	Bataguassu	MS	Paraná	Rios Paraná, Pardo e outros.	Cerrado
2153004	33	Ribas do Rio Pardo	MS	Paraná	Rios Paraná, Pardo e outros.	Cerrado
2154002	45	Sidrolândia	MS	Paraná	Rios Paraná, Pardo e outros.	Cerrado
1852002	35	Chapadão do Sul	MS	Paraná	Rios Paraná, Pardo e outros.	Cerrado
1853000	48	Alto Taquari	MT	Paraná	Rio Paranaíba.	Cerrado
1654005	33	Guiratinga	MT	Paraná	Rios Paraguai, São Lourenço e outros.	Cerrado

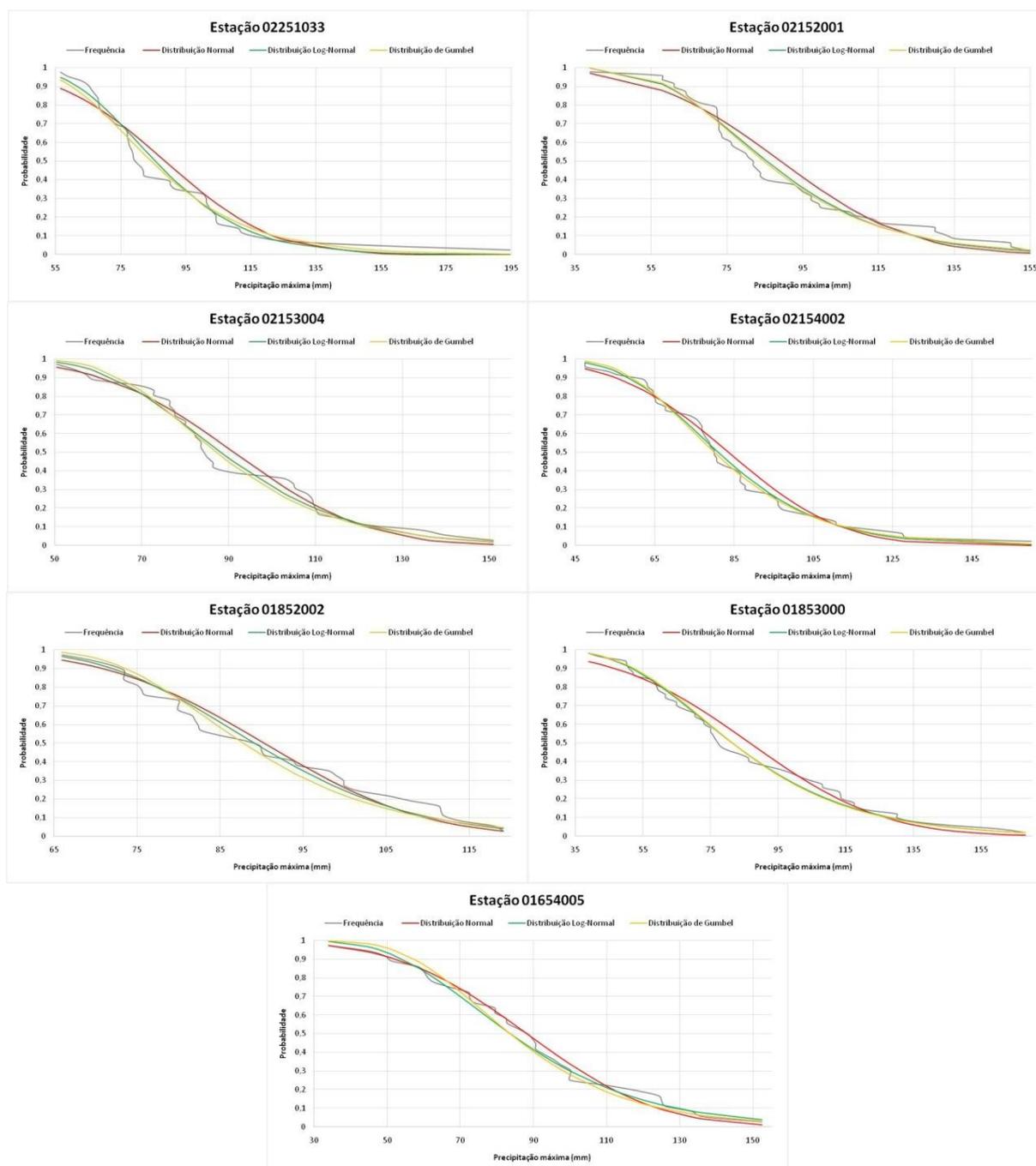


Figura 2 - Distribuições Estatísticas por Estação.

Ainda com o auxílio de planilha eletrônica, foi realizado o teste de aderência Kolmogorov-Smirnov e foi verificado qual das distribuições teóricas melhor se ajustou à distribuição real. Os resultados do teste de aderência estão na Tabela 3, sendo determinada como a distribuição melhor ajustada à série real de dados, aquela que apresentou o menor valor de KS.

Tabela 3 – Resultado do teste de aderência.

Código	KS Distribuição Normal	KS Distribuição Log-Normal	KS Distribuição Gumbel	Distribuição Melhor Ajustada
2251033	0,198591249	0,164210215	0,137746482	Gumbel
2152001	0,181141137	0,129933934	0,117546582	Gumbel
2153004	0,187523499	0,139769448	0,123845874	Gumbel
2154002	0,145430502	0,095340501	0,083516129	Gumbel
1852002	0,152158076	0,132845392	0,118995657	Gumbel
1853000	0,149070621	0,089069144	0,091077983	Log-Normal
1654005	0,114458027	0,077384259	0,090902384	Log-Normal

Com os resultados obtidos no teste de aderência Kolmogorov-Smirnov, foi verificado que as distribuições Gumbel e Log-Normal se ajustaram melhor à maioria das séries de dados; enquanto a distribuição Normal não apresentou nenhuma aderência satisfatória. Observou-se que a distribuição Log-Normal apresentou o melhor ajuste para precipitações máximas na região norte da área de estudo.

CONCLUSÃO

As distribuições Gumbel e Log-Normal apresentam o melhor ajuste para precipitações máximas na região estudo. A falta de generalização da distribuição adequada para o estudo das precipitações máximas é justificada pelas lacunas temporais e espaciais presentes na rede hidrométrica de pluviômetros e pela variação das condições hidrológicas decorrente de fatores como condições climáticas de precipitação, evapotranspiração, radiação solar, relevo, geomorfologia e ações antrópicas sobre o sistema fluvial.

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

- MESQUITA, W. O.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. (2009). “*Precipitações máximas diárias esperadas para as regiões central e sudeste de Goiás*”. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia 39 (2), pp. 73-81.
- LANNA A.E. (2009). “*Elementos de estatística e probabilidades*”. In: Tucci, C.E.M (org.). “*Hidrologia: ciência e aplicação*”. UFRGS, ABRH, Porto Alegre, Brasil. pp. 79-176.
- SILVINO, A. N. de O. *et al.* (2007). “*Determinação de vazões extremas para diversos períodos de retorno para o Rio Paraguai utilizando métodos estatísticos*”. Geociências.
- NAGHETTINI, M., PINTO, E.J.A. (2007). “*Hidrologia Estatística*”. CPRM, Belo Horizonte, Brasil, pp. 552.
- TUCCI, C. E. M. (2002). “*Regionalização de vazões*”. Editora da Universidade. UFRGS. 1a edição. Porto Alegre.
- TUCCI, C. E. M. (Org.). (2009). “*Hidrologia: Ciência e Aplicação*”. 4.ed. Porto Alegre: Universidade ABRH/UFRGS, pp. 943.