

## ANÁLISE DE EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS EXTREMOS NO MUNICÍPIO DE BALSAS-MA

**Mádilo Lages Vieira Passos**

Universidade Federal do Maranhão, Instituto de Ciências Agrárias, Chapadinha, MA, Brasil  
[madilolages@hotmail.com](mailto:madilolages@hotmail.com)

**Telmo José Mendes**

Universidade Federal do Maranhão, Instituto de Ciências Agrárias, Chapadinha, MA, Brasil  
[engtelmo@yahoo.com.br](mailto:engtelmo@yahoo.com.br)

### RESUMO

A avaliação da precipitação pluviométrica máxima diária anual, através de modelos teóricos de probabilidades, é de particular interesse no que se refere ao planejamento de estruturas com exposição constante à ação dos fenômenos extremos dessa variável. Este estudo tem por objetivo estimar a precipitação pluviométrica máxima diária anual esperada em diferentes períodos de retorno e a análise de possíveis tendências na série, para o município de Balsas-MA. Foi utilizada a distribuição Gumbel para máximos para a estimativa dos valores das precipitações máximas diárias anuais esperadas e assim obteve-se a equação que relaciona a intensidade, duração e frequência. Para o diagnóstico de tendências foi empregado o teste de Mann-Kendall e realizada regressão linear simples para a inferência de tendência a partir do coeficiente angular da reta. Observou-se tendência de aumento na intensidade pluviométrica esperada, pelo método Gumbel, em um mesmo período de retorno para baixos valores de duração da chuva. Foi obtido um coeficiente de determinação de 87,3%, para a equação de intensidade, duração e frequência. Os resultados dos testes de Mann-Kendall e t de student para o coeficiente angular, mostraram a não existência de tendência na série.

**Palavras-chave:** Chuva Intensa; Distribuição Gumbel; Hidrologia.

### ANALYSIS OF EXTREME RAINFALL EVENTS IN THE MUNICIPALITY OF BALSAS-MA

### ABSTRACT

The evaluation of the annual maximum daily rainfall, through theoretical probability models, it is of particular interest in the planning of structures with constant exposure to the action of the extreme phenomena of this variable. This study aims to estimate the annual maximum daily rainfall expected in different return periods and the analysis of possible trends in the series, for the municipality of Balsas-MA. The Gumbel distribution for maximums was used for the estimation of the expected annual maximum rainfall values and thus obtained the equation that correlates the intensity, duration and frequency. For the diagnosis of trends it was employed the Mann-Kendall test and performed simple linear regression for trend inference from the angular coefficient of the line. It was observed tendency of increase in the rainfall intensity expected, by the Gumbel method, in a same return period for low duration values of the rain. Was obtained a coefficient of determination de 87.3%, for the equation of intensity, duration and frequency. The results of the Mann-Kendall and student t test for the angular coefficient showed no trend in the series.

**Keywords:** Intense Rain; Gumbel Distribution; Hydrology.

## INTRODUÇÃO

O estudo dos eventos extremos da precipitação pluviométrica, em certo local, é de suma importância para definição da chuva de projeto de obras hidráulicas, dimensionamento de drenos, vertedores de barragens, obras de proteção contra cheias e erosão hídrica, tanto no ambiente urbano, quanto no rural, de modo que a estrutura planejada destas construções possa resistir adequadamente às precipitações (OLIVEIRA et al., 2011; ALVES et al., 2013).

A precipitação pluviométrica máxima ou extrema pode ser entendida como a ocorrência extrema, com duração, distribuição temporal e espacial crítica para uma determinada área ou bacia hidrográfica (BARRETO et al., 2014). Pelo fato de a precipitação pluviométrica máxima diária anual ser uma variável aleatória quantitativa contínua, pode se ajustar à um modelo teórico de probabilidade.

As distribuições teóricas de probabilidade possibilitam a estimativa de eventos de precipitação máxima diária anual associados às suas frequências de ocorrência (FRANCO, et al., 2014). A distribuição de probabilidade geralmente empregada para a determinação da precipitação máxima diária anual provável é a Gumbel para máximos. A literatura é rica em estudos de eventos pluviométricos extremos, através da distribuição Gumbel, como se verifica nos trabalhos de Moruzzi e Oliveira (2009), Cecílio et al. (2009), Castro et al. (2011), Garcia et al. (2011), Oliveira et al. (2011), Souza et al. (2011), Brito et al. (2012), Santos et al. (2014), Barreto et al. (2015), Silva Neto et al. (2016) e Borges e Thebaldi (2016).

Para o ajustamento de uma série temporal de determinada variável meteorológica, como a precipitação pluviométrica, a uma distribuição teórica de probabilidade, é necessário assumir a hipótese de que a série não permite tendência, nesse sentido, a identificação de alterações nos registros meteorológicos, é importante na validação do estudo (BACK, 2001).

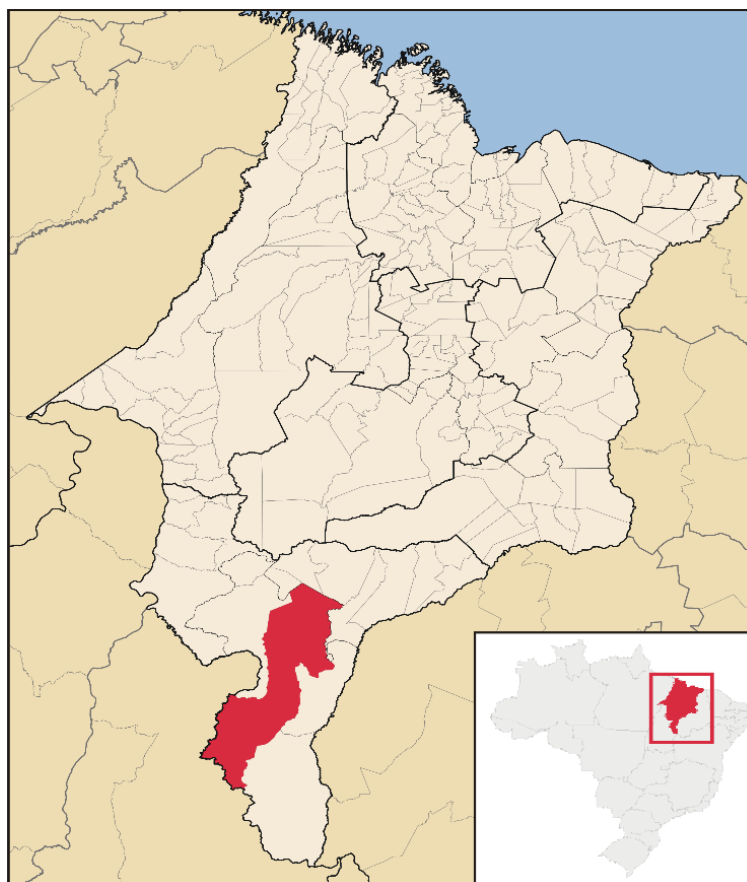
A tendência, em uma série temporal, é uma mudança sistemática e contínua em qualquer parâmetro de uma dada amostra, excluindo-se mudanças periódicas ou quase periódicas (YEVJEVICH, 1972). Existem diferentes métodos para diagnosticar tendências hidrometeorológicas e o interesse pelas técnicas estatísticas cresce consideravelmente, entre elas destaca-se o teste estatístico de Mann-Kendall para análise de tendências (LOPES; SILVA, 2013).

O teste de tendência de Mann-Kendall (MK) é um teste não-paramétrico desenvolvido por Mann (1945) e Kendall (1975). Consiste na comparação de cada valor da série temporal com os valores restantes, sempre em ordem sequencial, contando o número de vezes em que os termos restantes são maiores que o valor analisado (SANTOS et al., 2010). Segundo Goossens e Berger (1986), o teste de MK é apropriado para detectar alterações de ordem climática em séries meteorológicas, possibilitando a localização aproximada do ponto inicial dessa alteração. O teste de Mann-Kendall é bastante robusto e é recomendado pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM) para estudos de tendências climáticas em séries temporais (SANCHES, et al., 2013; SILVA; SOUZA, 2013; ÁVILA, et al., 2014; SANTOS et al., 2014).

Diante do contexto, dada a relevância da temática, objetivou-se estimar a precipitação pluviométrica máxima diária anual esperada em diferentes períodos de retorno pela distribuição Gumbel para máximos e a análise de possíveis tendências na série, para o município de Balsas-MA.

## MATERIAL E MÉTODOS

A análise da precipitação pluviométrica máxima diária anual foi realizada para o município de Balsas-MA (Figura 1). As coordenadas geográficas do local são 7° 31' S, 46° 2' O e 243 m de altitude média. O município de Balsas possui área de unidade territorial de 13.141,733, população estimada de 93.511 habitantes e uma densidade demográfica de 6,36 habitantes km<sup>-2</sup> (IBGE, 2017). O clima, segundo Thornthwaite, é do tipo C<sub>1</sub>dA'a', ou seja, clima subúmido seco, Megatérmico, com excedente hídrico pequeno ou nulo, cerca de 27% da evapotranspiração anual concentrada no trimestre mais quente do ano, com temperatura média anual estimada de 27,1 °C; a precipitação pluviométrica atinge valores médios anuais de 1175 mm sendo a lâmina precipitada mais elevada nos meses de novembro a abril, concentrando cerca de 85 % do total acumulado nesse período e nos meses de maio a outubro concentra-se aproximadamente 15 % da precipitação anual. (PASSOS et al., 2017).

**Figura 1:** Mapa de localização da área de estudo, município de Balsas-MA

Os dados de precipitação pluviométrica foram obtidos a partir da estação meteorológica convencional do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) de código da Organização Mundial de Meteorologia (OMM) de 82768. A estação localiza-se nas coordenadas 7° 31' 48" de latitude sul, 46° 1' 48" de longitude oeste e altitude de 259,38 m. A série histórica de dados compreendeu o período entre os anos de 1977 a 2016, constituindo-se uma série de 40 valores.

Ajustou-se o modelo de distribuição de probabilidades Gumbel para o cálculo das precipitações máximas diárias anuais esperadas. A função densidade de probabilidade Gumbel  $f(x)$  é dada pela equação 1 (ASSIS et al., 1996).

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} e^{-y} e^{-e^{-y}} \quad (1)$$

em que,

$y$  - variável reduzida de Gumbel.

A variável reduzida Gumbel ( $y$ ) foi calculada a partir da equação 2.

$$y = \frac{x - \alpha}{\beta} \quad (2)$$

em que:

$\alpha$  - parâmetro de posição;

$\beta$  - parâmetro de escala.

A função cumulativa de probabilidade Gumbel foi determinada conforme equação 3.

$$F(x) = P(X \leq x) = e^{-e^{-y}} \quad (3)$$

Os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  da distribuição Gumbel foram obtidos pelas equações 4 e 5, utilizando-se o método dos momentos.

$$E(X) = \alpha + 0,5772\beta \quad (4)$$

$$VAR(X) = 1,645\beta^2 \quad (5)$$

em que:

$E(X)$  - valor esperado pela média dos valores máximos anuais;

$VAR(X)$  - variância.

Explicitando-se a variável reduzida ( $y$ ) na equação 3, obteve-se a equação 6.

$$y(F(x)) = -\ln(-\ln F(x)) \quad (6)$$

A relação entre a probabilidade  $P(X \geq x)$  da precipitação pluviométrica ser igualada ou superada e o período de retorno ( $Tr$ ), é expressa através da equação 7 (TUCCI, 1993).

$$Tr = \frac{1}{P(X \geq x)} \quad (7)$$

Da combinação das equações 2, 6 e 7 obteve-se a altura pluviométrica  $x(Tr)$  associada a um período de retorno, equação 8.

$$x(Tr) = \alpha - \beta \ln \left[ -\ln \left( \frac{Tr - 1}{Tr} \right) \right] \quad (8)$$

A aderência dos dados ajustados de precipitação máxima diária anual à distribuição de probabilidade Gumbel para máximos foi avaliada com os testes de Kolmogorov-Smirnov (KS), Qui-Quadrado ( $X^2$ ) e Anderson-Darling (AD). Todos os testes foram aplicados ao nível de 5% de significância.

A desagregação da chuva de um dia em chuvas de menor duração, foi realizada através do emprego dos coeficientes multiplicativos médios, obtidos para o Brasil, os quais estão exibidos na Tabela 1 (CETESB, 1979).

**Tabela 1:** Coeficientes de desagregação da chuva de 24 h de duração.

Duração	Coefficientes
24h / 24h	1,14
12h / 24h	0,85
10h / 24h	0,82
8h / 24h	0,78
6h / 24h	0,72
1h / 24h	0,42
30min / 1h	0,74
25min / 30min	0,91
20min / 30min	0,81
15min / 30min	0,70
10min / 30min	0,54
5min / 30min	0,34

Fonte: CETESB (1979).

Foram determinadas as chuvas máximas para duração de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutos. As precipitações máximas diárias anuais foram estimadas para cada duração com os períodos de retorno ( $Tr$ ) de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50 e 100 anos. A forma geral da equação que relaciona a intensidade, duração e frequência (IDF) é dada pela equação 9.

$$i = \frac{kTr^m}{(t + b)^n} \quad (9)$$

em que,

$i$  - intensidade da chuva em  $\text{mm h}^{-1}$ ;

$t$  – tempo em minutos;

$k, m, b$  e  $n$  - parâmetros empíricos.

Os parâmetros da equação 9 foram calculados através de regressão não linear, usando o método dos mínimos quadrados, a partir dos dados pluviométricos desagregados. O desempenho da equação de intensidade, duração e frequência foi avaliado por meio do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

Para o diagnóstico de tendências foi empregado o teste de Mann-Kendall (MK) e também realizada regressão linear simples, sendo a inferência de tendência, pelo modelo linear, obtida mediante aplicação do teste  $t$  de Student para o coeficiente angular da reta.

No teste de Mann-Kendall, deseja-se verificar a hipótese nula,  $H_0$ , de não existência de tendência, ou seja, as observações  $x_1, x_2, \dots, x_n$  de uma série temporal são aleatoriamente ordenadas no tempo, contra a hipótese alternativa,  $H_1$ , em que há uma tendência monotônica de aumento ou redução (SANTOS et al., 2015). O teste estatístico de MK é baseado na estatística  $S$ , conforme equação 10.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{ sinal}(x_j - x_k) \quad (10)$$

em que,

$x_j$  e  $x_k$  - valores sequenciais;

$n$  - é o número de observações.

O sinal  $(x_j - x_k)$  é dado pela equação 11.

$$\text{ sinal}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1, & \text{se } (x_j - x_k) > 0 \\ 0, & \text{se } (x_j - x_k) = 0 \\ -1, & \text{se } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (11)$$

Kendall (1975) demonstra que  $S$  é normalmente distribuída com média  $E(S)$  e variância  $\text{Var}(S)$ , dadas pelas equações 12 e 13, respectivamente.

$$E(S) = 0 \quad (12)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^p t_j(t_j-1)(2t_j+5)}{18} \quad (13)$$

em que,

$p$  - é o número de grupos com observações iguais na série temporal;

$t_j$  - é o número de observações iguais no grupo  $j$ .

O teste estatístico parametrizado ( $Z_{MK}$ ) é computado através da equação 14.

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (14)$$

O teste de Mann Kendall foi calculado para o nível de 5% de significância. A hipótese  $H_0$ , é de que não há tendência nem positiva nem negativa na série. O sinal da estatística de  $Z_{MK}$  indica se a tendência é crescente ( $Z_{MK}>0$ ) ou decrescente ( $Z_{MK}<0$ ).

A análise de regressão linear foi realizada entre a precipitação pluviométrica máxima diária anual (variável dependente) e o período entre os anos de 1977 a 2016 (variável independente). A forma geral do modelo de regressão linear simples é descrita pela equação 15.

$$y_i = a + bx_i + e_i \quad (15)$$

em que,

$y_i$  – representa o valor variável resposta ou dependente na  $i$ -ésima observação (precipitação);

$x_i$  – representa o valor da variável independente na  $i$ -ésima observação (tempo);

$a$  e  $b$  - coeficientes da regressão, estimados pelo método dos mínimos quadrados.

$e_i$  - variável aleatória que corresponde ao resíduo (erro experimental) na  $i$ -ésima observação e permite explicar a variabilidade existente em  $Y$  e que não é explicada por  $X$ .

Após a estimação dos parâmetros o modelo de regressão linear ajustado assume a forma  $y = a + bx$ .

Para inferência por meio do modelo de regressão, deve-se considerar que os resíduos são independentes entre si, possuem média nula, variância constante e igual a  $\sigma^2$  (homocedasticidade) e distribuição normal.

A verificação de independência dos resíduos foi feita através do teste de Durbin-Watson, a homocedasticidade por meio do teste de Breusch-Pagan e a normalidade verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Todos os testes foram empregados ao nível de 5% de significância.

O coeficiente angular da reta de regressão ( $b$ ) representa a tendência anual da precipitação máxima diária anual. Assim sendo, a verificação de tendência por meio do modelo de regressão linear se deu mediante a utilização do teste  $t$  de Student de significância para o coeficiente  $b$  (GOSSET, 1939). Esse teste avalia se  $b$  é significativamente diferente de zero, indicando a presença de tendência na série temporal (WANDERLEY et al., 2016). A estatística do teste  $t$  de Student é dada pela equação 16.

$$t = \frac{b}{\frac{s}{\sqrt{SSx}}} \quad (16)$$

em que,

$b$  - coeficiente angular da reta;

$s$  - desvio padrão dos resíduos;

$SSx$  - soma dos quadrados da variável independente.

A hipótese nula ( $H_0$ ) de que não existe tendência, isto é,  $b$  não difere estatisticamente de zero, é rejeitada quando o valor de  $t$  calculado é maior, em valor absoluto, que o valor crítico ( $t_0$ ) tabelado, para  $n-2$  graus de liberdade e determinado nível de significância, sendo adotado neste estudo o nível de 5% de significância.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise da série climatológica de precipitação pluviométrica máxima diária anual ao longo do período de 1977 a 2016 para o município de Balsas, verificou-se que o ano de 1983 apresentou a maior precipitação diária anual registrada com uma lâmina precipitada de 168,5 mm. Sendo a sua frequência de retorno de excedência estimada, pela distribuição de Gumbel, de 91 anos.

Os valores de precipitações máximas diárias anuais esperadas para os períodos de retorno 5, 10, 20, 25, 30, 50 e 100 anos, assim como a desagregação da intensidade máxima diária anual, com duração 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutos, são apresentados na Tabela 2.

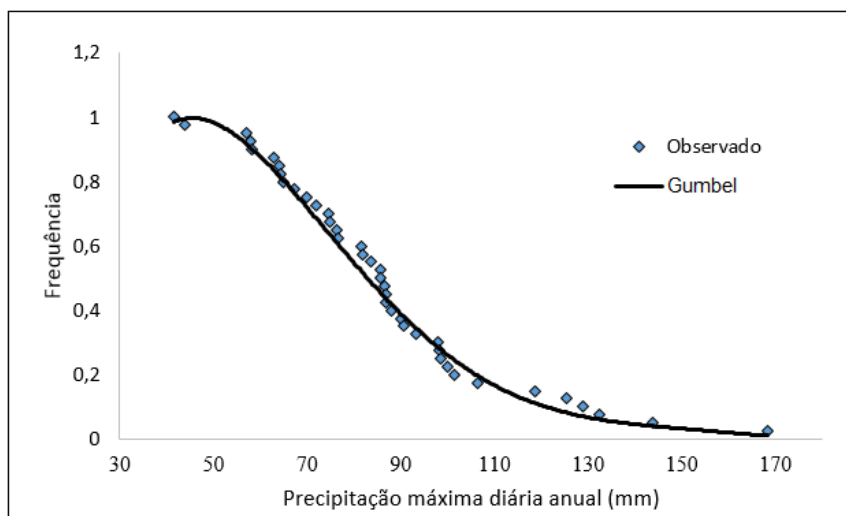
**Tabela 2:** Valores de chuva máxima diária anual (mm) gerados com o método de Gumbel para diferentes períodos de retorno ( $T_r$ ) e intensidade máxima esperada ( $\text{mm h}^{-1}$ ) para diferentes durações (minutos) e períodos de retorno ( $T_r$  em anos), município de Balsas-MA

Duração em minutos	Tempo de retorno (anos)							
	5	10	15	20	25	30	50	100
	<b>Intensidade da precipitação (<math>\text{mm h}^{-1}</math>)</b>							
<b>5</b>	16,8	19,2	20,6	21,6	22,3	22,9	24,6	26,9
<b>10</b>	24,7	28,3	30,3	31,7	32,8	33,7	36,2	39,5
<b>15</b>	30,4	34,9	37,4	39,2	40,5	41,6	44,7	48,8
<b>20</b>	32,6	37,4	40,1	42,0	43,4	44,6	47,9	52,3
<b>25</b>	32,2	36,9	39,6	41,4	42,9	44,0	47,3	51,7
<b>30</b>	29,5	33,8	36,2	37,9	39,3	40,3	43,3	47,3
<b>60</b>	19,9	22,8	24,5	25,6	26,5	27,2	29,3	32,0
<b>360</b>	7,9	9,1	9,7	10,2	10,5	10,8	11,6	12,7
<b>480</b>	8,2	9,4	10,1	10,6	11,0	11,3	12,1	13,2
<b>600</b>	8,5	9,7	10,4	10,9	11,2	11,6	12,4	13,5
<b>720</b>	8,6	9,8	10,6	11,0	11,4	11,7	12,6	13,8
<b>1440</b>	5,1	5,8	6,2	6,5	6,7	6,9	7,4	8,1
<b>Precipitação provável (mm)</b>	106,4	121,9	130,7	136,8	141,5	145,4	156,1	170,5

Constatou-se que com o aumento da duração da chuva há uma tendência na diminuição dos valores da lâmina precipitada máxima diária anual total esperada. Esse comportamento é característico das chuvas, pois a intensidade das precipitações pluviais tende a decrescer com o aumento da duração (VILLELA; MATTOS, 1975; PEREIRA et al., 2007).

Esta tendência também foi verificada pelos autores Castro et al. (2011) para o município de Cuiabá-MT, Souza et al. (2011) na caracterização das chuvas intensas para o município Ji-Paraná-RO, Garcia et al. (2011) na determinação da equação intensidade-duração-frequência no Estado de Mato Grosso, Barreto et al. (2014) para precipitação extrema de Mossoró-RN, Barreto et al. (2015) na análise da precipitação extrema em Nepomuceno – MG e Silva Neto (2016) na análise da relação intensidade-duração-frequência da precipitação extrema em Guaraí-TO.

A Figura 2 mostra as distribuições de frequência das intensidades das precipitações máximas anuais observadas e estimadas através da distribuição Gumbel para máximos, para o município de Balsas-MA. Nota-se, a partir da Figura 3, um bom ajuste entre a distribuição observada e a teórica obtida pelo modelo Gumbel para máximos.

**Figura 2:** Distribuição de frequência das intensidades máximas diárias observadas e estimadas pelo modelo de Gumbel para o município de Balsas-MA

A Tabela 3, exibe os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  do modelo Gumbel e as estatísticas dos testes de Kolmogorov-Smirnov  $|\Delta F|$ , Qui-Quadrado ( $X^2$ ) e Anderson-Darling (AD), calculados para avaliação da aderência da distribuição Gumbel para máximos à distribuição de probabilidades da série climatológica de precipitação máxima diária anual do município de Balsas-MA.

**Tabela 3:** Valores dos parâmetros de ajuste ( $\alpha$  e  $\beta$ ) e o  $|\Delta F|$  calculado máximo pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, a estatística de Qui-Quadrado ( $X^2$ ) e Anderson-Darling (AD) para as chuvas intensas de Balsas-MA, no período de 1977 a 2016

Modelo	Teste de Aderência		
	$ \Delta F $	$X^2$	AD
Gumbel para máximos	0,0765*	2,1885*	0,2531*
	Parâmetros		
	$\alpha$	$\beta$	
	75,3013	20,7012	

\* Significativo ao nível de 5% de significância.

Assim, verifica-se que a distribuição Gumbel para máximos é adequada para representar a precipitação máxima diária anual do município de Balsas, sendo significativa em todos os testes de aderência realizados.

A relação de intensidade, duração e frequência é apresentada pela equação 17, confeccionada com base nas durações de 15, 20, 30, 60, 120, 480, 600, 720 e 1440 minutos e os períodos de retorno de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50 e 100 anos. Observou-se que a equação obtida possui desvios muito elevados para as durações de 5 a 10 min, assim sendo recomenda-se o emprego da equação 17 apenas para o intervalo de  $15 \leq t \leq 1440$  min.

$$i = \frac{87,2770T_r^{0,1564}}{(t + 5,0000)^{0,4130}} \quad (17)$$

Para  $15 \leq t \leq 1440$  min



O ajuste apresentou um coeficiente de determinação de 87,3%. Indicando dessa forma que 87,3% da variação dos dados da intensidade são explicados pela variação da duração e período de retorno.

Com relação a análise de tendência da precipitação máxima diária anual, são apresentadas as estatísticas dos testes de Mann-Kendall e t de Student para o coeficiente angular (b), na Tabela 4.

**Tabela 4:** Teste estatístico de Mann-Kendall, teste t de Student e coeficiente angular da reta (b), para a precipitação máxima diária anual do município de Balsas-MA, período de 1977 a 2016

Estação	Teste de Mann-Kendall ( $Z_{MK}$ calculado)	Teste t de Student	b (Tendência em mm/ano)
82768	-0,050 <sup>NS</sup>	-0,672 <sup>NS</sup>	-0,246

<sup>NS</sup> - Não significativo ao nível de 5% de significância.

O sinal negativo da estatística do teste de Mann-Kendall ( $Z_{MK}$ ), indica que a tendência obtida é de redução na lâmina máxima diária anual precipitada, no entanto foi não significativa. A tendência anual observada pelo modelo de regressão linear simples, segundo o coeficiente b, também evidenciou decréscimo, sendo a magnitude da redução de -0,246 mm ao ano, porém também não foi significativa, segundo o teste t de Student.

Moreira e Naghettini (2016) para séries de precipitações diárias máximas anuais do Estado do Acre, averiguaram pelo teste de Mann-Kendall tendência significativa crescente para a série de observações localizada em Tarauacá.

As estatísticas dos testes de Durbin-Watson, Breusch-Pagan e Kolmogorov-Smirnov, na verificação das premissas de independência, homogeneidade de variância (homocedasticidade) e normalidade dos resíduos, respectivamente, e assim validar a inferência realizada por meio do modelo de regressão linear simples, são exibidas na Tabela 5.

**Tabela 5:** Estatística dos testes de Durbin-Watson, Breusch-Pagan e Kolmogorov-Smirnov, para análise dos resíduos do modelo de regressão linear simples

Teste	Estatística
Durbin-Watson	2,456*
Breusch-Pagan	0,311*
Kolmogorov-Smirnov	0,110*

\* Significativo ao nível de 5% de significância.

Nota-se, a partir da Tabela 5, que os pressupostos da regressão linear simples foram atendidos, evidenciado pelos resultados dos testes empregados para análise dos resíduos, sendo que todos foram significativos. Assim, verifica-se que o diagnóstico de tendência pelo coeficiente angular do modelo de regressão é válido.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A distribuição de probabilidade Gumbel para máximos foi adequada para representar as precipitações máximas diárias anuais do município de Balsas-MA, sendo significativa em todos os testes de aderência realizados. O modelo permitiu a estimativa das intensidades das precipitações máximas diárias anuais esperadas. A equação que relaciona a intensidade, duração e frequência apresentou um coeficiente de determinação de 87,3%. Os resultados dos

testes de Mann-Kendall e t de student para o coeficiente angular mostraram a não existência de tendência na série de precipitação pluviométrica máxima diária anual.

## REFERÊNCIAS

ALVES, A.V.P.; SANTOS, G.B.S.; MENEZES FILHO, F. C. M.; SANCHES, L. ANÁLISE DOS MÉTODOS DE ESTIMATIVA PARA OS PARÂMETROS DAS DISTRIBUIÇÕES DE GUMBEL E GEV EM EVENTOS DE PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS NA CIDADE DE CUIABÁ-MT. *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, v.6, n.1, p.32-43, 2013.

ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R. **Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática**. Pelotas: UFPel, 1996. 161p.

ÁVILA, L.F.; MELLO, C.R.; YANAGI, S.N.M.; SACRAMENTO NETO, O.B. Tendências de temperaturas mínimas e máximas do ar no Estado de Minas Gerais. **Pesq. agropec. bras.**, v.49, n.4, p.247-256, 2014.

BACK, A.J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p.717-726, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000500001>

BARRETO, H.B.F.; PEREIRA, G.M.; BARRETO, F.P.; FREIRE, F.G.C.; MAIA, P.M.E. RELAÇÃO INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA PARA PRECIPITAÇÃO EXTREMA EM MOSSORÓ – RN. **Global Science and Technology, Rio Verde**, v.7, n.3, p.103–109, 2014.

BARRETO, H.B.F.; PEREIRA, G.M.; SANTOS, W.O.; FREIRE, F.G.C.; MAIA, P.M.E. AVALIAÇÃO DE FUNÇÕES DE PROBABILIDADE E RELAÇÃO-INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA PARA PRECIPITAÇÃO EXTREMA EM NEPOMUCENO – MG. **Global Science and Technology, Rio Verde**, v.8, n.2, p.118–127, 2015.

BORGES, G.M.R.; THEBALDI, M.S. Estimativa da precipitação máxima diária anual e equação de chuvas intensas para o município de Formiga, MG, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v.11, n.4, p.892-902, 2016.

BRITO, A.C.C.; SOUZA, V.A.S.; BEZERRA, R.R.; RUDKE, A.P; ROSA, A.L.D. ANÁLISE DE EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS EXTREMOS DO MUNICÍPIO DE CHUPINGUAIA-RO. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**, v.1, n.1, p.26-30, 2012.

CASTRO, A.L.P.; SILVA, C.N.P.; SILVEIRA, A. Curvas Intensidade-Duração-Frequência das precipitações extremas para o município de Cuiabá (MT). **Ambiência Guarapuava (PR)**, v.7, n.2, p.305-315, 2011. <https://doi.org/10.5777/ambiencia.2011.02.08>

CECÍLIO, R.A.; XAVIER, A.C.; PRUSKI, F.F.; HOLLANDA, M.P.; PEZZOPANE, J.E.M. Avaliação de interpoladores para os parâmetros das equações de chuvas intensas no Espírito Santo. **Ambi-Água, Taubaté**, v. 4, n. 3, p.82-92, 2009.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - DAEE-CETESB. **Drenagem urbana: manual de projeto**. São Paulo: DAEE-CETESB, 1979. 476 p.

FRANCO, C.S.; MARQUES, R.F.P.V.; OLIVEIRA, A.S.; OLIVEIRA, L.F.C. Distribuição de probabilidades para precipitação máxima diária na Bacia Hidrográfica do Rio Verde, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.18, n.7, p.735-741, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000700010>

GARCIA, S.S.; AMORIM, R.S.S.; COUTO, E.G.; STOPA, W.H. Determinação da equação intensidade-duração-frequência para três estações meteorológicas do Estado de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande**, v.15, n.6, p.575–581, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000600006>

GOOSSENS, C.; BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. **Annales Geophysicae**, v.4, p.385-400, 1986.

GOSSET, W.S. Student as Statistician. **Biometrika**, v. 30, p. 210-250, 1939. <https://doi.org/10.2307/2332648>

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: < <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=210140> >. Acesso em: 11 de maio de 2017.

- KENDALL, M. G. **Rank correlation methods**. London: Charles Griffin, 1975. 120p.
- LOPES, J.R.F.; SILVA, D.F. da; APLICAÇÃO DO TESTE DE MANN-KENDALL PARA ANÁLISE DE TENDÊNCIA PLUVIOMÉTRICA NO ESTADO DO CEARÁ. **Revista de Geografia (UFPE)**, v.30, n.3, p.192-208, 2013.
- MANN, H.B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica**, v.13, n.3, p.245-259, 1945. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- MORUZZI, R.B.; OLIVEIRA, S.C. Relação entre intensidade, duração e frequência de chuvas em Rio Claro, SP: métodos e aplicação. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n.13, p.59-68, 2009.
- MOREIRA, J.G.V.; NAGHETTINI, M. Detecção de Tendências Monotônicas Temporais e Relação com Erros dos Tipos I e II: Estudo de Caso em Séries de Precipitações Diárias Máximas Anuais do Estado do Acre. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.31, n.4, p.394-402, 2016. <https://doi.org/10.1590/0102-778631231420140155>
- OLIVEIRA, L. F. C.; VIOLA, M. R.; PEREIRA, S., MORAIS, N. R. Modelos de predição de chuvas intensas para o estado do Mato Grosso, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 6, n. 3, p.274-290, 2011.
- PASSOS, M.L.V.; ZAMBRZYCKI, G.C.; PEREIRA, R.S. BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO E CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA PARA O MUNICÍPIO DE BALSAS-MA. **Revista Scientia Agraria**, v.18, n.1, p.83-89, 2017. <https://doi.org/10.5380/rsa.v18i1.48584>
- PEREIRA, C.E.; SILVEIRA A.; SILVINO, A.N.O. Estudo de chuvas intensas e estimativa da equação IDF para a cidade de Barra do bugres – MT. I Simpósio de Recursos Hídricos do Centro Oeste, **Anais ...**, Cuiabá, 2007.
- SANCHES, F.O.; VERDUM, R.; FISCH, G. Estudo de tendência de chuvas de longo prazo. **Rev. Ambient. Água**, v. 8, n. 3, p.215-228, 2013.
- SANTOS, D.N.; SILVA, V.P.R.; SOUSA, F.A.S.; SILVA, R.A. Estudo de alguns cenários climáticos para o Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.5, p.492–500, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000500006>
- SANTOS, E.B.; LUCIO, P.S.; SILVA, C.M.S. Análise de tendência da precipitação diária na Amazônia Brasileira. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.08, n.04, p.1041-1052, 2015. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20150052>
- SANTOS, W. O.; FEITOSA, A. P.; VALE, H. S. M.; COSTA, D. O.; BRITO, R. F.; QUEIROZ, R. F.; SOBRINHO, J. E.; LEMOS FILHO, L. C. A. Chuvas Intensas para a Microrregião de Pau dos Ferros-RN. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.7, n.6, p.1093-1099, 2014.
- SANTOS, M.A.C.M.; COSTA, I.M.; COSTA, J.A.; MATEUS, A.E.; SOUSA, R.F.; SALES, W.S.; LOBO, J.T.; SILVA, G.; MIRANDA, V.G.; MORENO, N.B.C.; CALDAS, A.C.A.; MONTEIRO, B.L.; DA SILVA, D.F. TENDÊNCIAS NO NÍVEL DO RIO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DO CEARÁ E SUAS CAUSAS CLIMÁTICAS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.07, n.05, p.927-938, 2014.
- SILVA NETO, V.L.; VIOLA, M.R.; RÊGO, P.L.; OLIVEIRA, A.L.; SILVA, L.L. RELAÇÃO INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA (IDF) PARA PRECIPITAÇÃO EXTREMA EM GUARAÍTO. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA-Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v.13 n.23, p.1146-1154, 2016. [https://doi.org/10.18677/Enciclopedia\\_Biosfera\\_2016\\_099](https://doi.org/10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2016_099)
- SILVA, D.F.; SOUZA, A.B. Detecção de Tendências Climáticas no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.06, n. 03, p.442-455, 2013.
- SILVA, R. A.; SILVA, V. P. R.; CAVALCANTI, E. P.; SANTOS, D. N. Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n.5, p. 501-509, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000500007>
- SOUZA, V.A.S.; NASCIMENTO, R.K.; FURTADO, R.S.; ROSA, A.L.D. ANÁLISE DE EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS EXTREMOS NO MUNICÍPIO DE JIPARANÁ, RONDÔNIA. **Revista Pesquisa & Criação**, v.10, n.2, p.139-151, 2011.
- VILLELA S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hkill, 1975. 245p.

WANDERLEY, H.S.; JUSTINO, F.B.; SEDIYAMA, G.C. Tendência da Temperatura e Precipitação na Península Antártica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 2, p.114-121, 2016. <https://doi.org/10.1590/0102-778631220140146>

YEVJEVICH, V. **Probability and statistics in hydrology**. Fort Collins: Water Resources Publication, 1972. 276 p.

---

Recebido em: 26/05/2017  
Aceito para publicação em: 14/02/2018