

Análise da precipitação máxima e relação intensidade-duração-freqüência para Mossoró-RN

Herlon Bruno Ferreira Barreto¹, Wesley de Oliveira Santos², Francisco Gilliard Chaves Freire, José Espínola Sobrinho², Flavinícius Pereira Barreto²

¹UFLA - Universidade Federal de Lavras.

²UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

Resumo: A necessidade de informações sobre as precipitações de determinadas durações e freqüências é muito grande em projetos hidráulicos diversos, o trabalho teve por objetivo: ajustar a função cumulativa de probabilidade de Gumbel, obter as precipitações máximas esperadas para diferentes períodos de retorno e obter a equação de intensidade-duração-freqüência, por meio da desagregação da chuva de 24h, para dados de precipitação máxima diária anual da cidade de Mossoró-RN. Foram utilizados dados de precipitação pluviométrica máxima anual de 1964 a 2011, aplicou-se a distribuição de gumbel e os seguintes testes de aderência: Qui-Quadrado; Kolmogov-Smirnov e Anderson-Darling. Foram estimados os valores extremos para os períodos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100 e 500 anos, realizada a desagregação da chuva de um dia em chuvas de menores durações, obtidas pela metodologia proposta pelo DAEE-CETESB (1979), e ajustada a equação que representa a intensidade-duração-freqüência. Observou-se boa adequação do modelo a série, sendo significativo para todos os testes realizados, a equação gerada permitiu o cálculo da intensidade máxima de chuvas com diferentes durações e períodos de retorno, por exemplo: em cada cinco anos ($T = 5$) é esperado que a chuva máxima em 30 minutos ($t = 30$) seja igualada ou superada em 70,47 mm/h.

Palavras-chave: Chuva intensa, intensidade de precipitação, desagregação de chuva.

Analysis of maximum precipitation and relation intensity-duration-frequency for Mossoró-RN

Abstract: The need for information about the precipitation of certain durations and frequencies is very large in many hydraulic projects, the study aimed to: adjust the cumulative probability function of Gumbel, obtain the maximum expected rainfall for different return periods and obtain the equation intensity-duration-frequency, through the breakdown of rain 24h for data of annual maximum daily rainfall town of Mossley-RN. Data of maximum annual rainfall from 1970 to 2007, we applied the distribution gumbel and following compliance tests: Chi-Square; Kolmogov-Smirnov and Anderson-Darling. Extreme values were estimated for return periods of 5, 10, 20, 30, 50, 100 and 500 years, of the disintegration of rain a day in smaller rainfall durations, obtained by the proposed methodology by DAEE-Cetesb (1979), and adjusted the equation that represents the intensity-duration-frequency. We observed good fit of the model series, being significant for all tests, the equation generated allowed calculating the maximum intensity of rainfall with different durations and return periods, eg every five years ($T = 5$) is maximum expected rain at 30 minutes ($t = 30$) is equaled or exceeded by 70.47 mm/h.

Key-words: Intense rainfall, precipitation intensity, rainfall disaggregation.

Introdução

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 tipo de conhecimento é necessário para o planejamento de sistemas de terraceamento agrícola, drenagem em estradas e implantação de barragens para atenuação de cheias, entre outros (Mesquita et al., 2009).

A precipitação máxima é entendida como a ocorrência extrema, com duração, distribuição temporal e espacial crítica para uma área ou bacia hidrográfica. O estudo das precipitações máximas é um dos caminhos para determinar a vazão de enchente de uma bacia (Tucci, 2009).

A necessidade de informações sobre as precipitações de determinadas durações e frequências é muito grande, como por exemplo em projetos hidráulicos diversos, como os relacionados a drenagem urbana e agrícola, tais como galerias de águas pluviais, bueiros, reservatórios de detenção (piscinões), vertedores, de proteção contra as erosões entre outros projetos que consideram a intensidade das precipitações associadas a períodos de retorno. Um dos mais importantes usos das chuvas intensas de certa frequência é a estimativa de vazões máximas para rios com poucas ou nenhuma medição de vazões, geralmente cursos d'águas de pequenas bacias, urbanas ou rurais, e que constituem a macro-drenagem natural dessas bacias (Genovez E Zuffo, 2000).

Back (2008) e Oliveira et al. (2008) relatam que, para a utilização prática e adequada dos dados de chuva, na elaboração de projetos de drenagem, barragens e obras de proteção contra cheias e erosão hídrica, faz-se necessário conhecer a relação intensidade-duração-frequência (IDF) das chuvas intensas. No Brasil, algumas metodologias foram desenvolvidas com vista à obtenção de chuvas de menor duração a partir de registros pluviométricos, devido à existência, no território nacional, de uma vasta rede pluviométrica. Essas metodologias empregam coeficientes para transformar chuva máxima diária em chuvas de menor duração, dentre as quais estão a das isozonas proposta por Torrico (1975) e a da desagregação da chuva de 24 h, do DAEE-CETESB (1979). O estudo de probabilidades fornece informações úteis sobre a chance de um determinado evento extremo ocorrer novamente em determinado espaço de tempo, ou seja, o período de retorno. Para a agricultura, o conhecimento dos valores normais dos elementos meteorológicos é a utilização e o conhecimento de estudos de probabilidades baseadas em eventos de chuvas intensas (Freire et al., 2012).

A utilização de funções de distribuição de probabilidade requer o uso de testes para provar a adaptação dos dados ou da série de dados às funções. Esses testes são conhecidos como testes de aderência e sua real função é verificar a forma de uma distribuição, através da análise da adequação dos dados à curva de um modelo de distribuição hipotética (Araujo et al., 2010).

Com base na necessidade e importância dos dados de precipitação e da relação intensidade-duração-freqüência (IDF), o presente trabalho teve por objetivo: ajustar a função cumulativa de probabilidade de Gumbel, obter as precipitações máximas esperadas para diferentes períodos de retorno e obter a equação de intensidade-duração-freqüência, por meio da desagregação da chuva de 24h, para dados de precipitação máxima diária anual da cidade de Mossoró-RN.

Material e Métodos

Os dados foram coletados no município de Mossoró que está situado na região semiárida do Nordeste brasileiro, no Estado do Rio Grande do Norte, localizado pelas coordenadas geográficas 5°11' de latitude sul, 37°20' de longitude oeste e 18 m de altitude, com uma temperatura média anual em torno de 27,5 °C, umidade relativa de 68,9%, nebulosidade média anual de 4,4 décimos e precipitação média anual de 673,9 mm. Segundo classificação climática de Köppen, o clima de Mossoró-RN é do tipo BSwh', ou seja, quente e seco, tipo estepe, com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono (Carmo Filho et al., 1987).

Foram utilizados dados de precipitação pluviométrica máxima anual de 1964 a 2011 (48 anos), fornecidos por meio das informações qualificadas presentes na Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte – EMPARN.

As freqüências observadas dos eventos hidrológicos foram obtidas pela Equação 1:

$$f_{obs} = \frac{i}{N+1} \quad (1)$$

Em que:

i - posição em que os dados ocupam dentro da série histórica;

N - tamanho da série histórica.

Foi ajustada a Função Cumulativa de Probabilidade seguindo o modelo de Gumbel para Máximos. A distribuição Gumbel para máximos tem sua Função Densidade de Probabilidade (FDP) representada pela Equação 2.

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \cdot \exp\left(-\frac{(x-\mu)}{\alpha} - \exp\left(\frac{(x-\mu)}{\alpha}\right)\right) \quad (2)$$

em que α e μ são os parâmetros da distribuição.

A função cumulativa de probabilidade da distribuição Gumbel para máximos é dada pela Equação 3.

$$P(x \leq x_i) = 1 - \exp(-\exp(-\alpha \cdot (x - \mu))) \quad (3)$$

Os parâmetros α e μ dados pelo método da Máxima verossimilhança são apresentados nas Equações 4 e 5.

$$\frac{1}{\alpha} = \bar{X} - \frac{\sum_{i=1}^n X_i \cdot \exp(-\alpha \cdot X_i)}{\sum_{i=1}^n \exp(-\alpha \cdot X_i)} \quad (4)$$

$$\exp(-\alpha \cdot \mu) = \frac{\sum_{i=1}^n \exp(-\alpha \cdot X_i)}{N} \quad (5)$$

A Equação 4 não tem solução explícita para α . Para tanto, foi utilizado interação numérica, para solução desta equação. A partir da determinação de α , aplica-se este valor à Equação 5, calculando-se então o parâmetro de forma μ .

Para estimativa de uma variável hidrológica (X) em função do tempo de retorno (TR), aplica-se a Equação 6.

$$X_{TR} = \frac{-Ln\left[-Ln\left(1 - \frac{1}{TR}\right)\right]}{\alpha} + \mu \quad (6)$$

Para verificar o ajuste da distribuição teórica fora aplicado, os seguintes testes de aderência: Qui-Quadrado, que compara o efetivo observado e o teórico esperado em intervalos discretos; Kolmogov-Smirnov, que compara as distribuições empíricas acumuladas com as teóricas, complementarmente, já que os testes são somente adequados para a parte central das distribuições, também foi utilizado o teste Anderson-Darling e gráficos para avaliar o comportamento das distribuições nos seus limites, todos os testes foram aplicados a um nível de 5% de significância.

Verificada a aderência dos dados à distribuição, foram estimados os valores extremos para os períodos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100 e 500 anos, realizada a desagregação da

chuva de um dia em chuvas de menores durações, obtidas pela metodologia proposta pelo DAEE-CETESB (1979). Obtiveram-se, então, séries anuais para as chuvas com durações de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos, e de 1, 6, 8, 10, 12 e 24 horas.

Para obtenção da equação de chuvas intensas, foi utilizada a expressão dada pela Equação 7 que é freqüentemente utilizada para exprimir a relação entre intensidade-duração-freqüência (IDF) de chuvas intensas, sendo a freqüência representada indiretamente pelo tempo de retorno TR:

$$i = \frac{k \cdot TR^m}{(t + t_0)^n} \quad (7)$$

onde, i é a intensidade máxima (mm/h) para a duração t em minutos; TR é o tempo de retorno em anos; t_0 , k e n são parâmetros a determinar.

Os parâmetros da Equação 7 foram determinados, por método de regressão não linear, usando o método dos mínimos quadrados, a partir dos dados pluviométricos desagregados.

Resultados e Discussão

A Figura 1 apresenta as distribuições de freqüência da série das precipitações máximas anuais observadas e estimadas pelo modelo de Gumbel para máximos, para o município de Mossoró-RN. Pode-se observar, nesta figura, boa aderência entre a distribuição observada e a teórica obtida pelo modelo de Gumbel, a figura traz a confirmação visual dos resultados obtidos com os testes de aderência, já que há uma boa conformidade dos modelos com os dados da série.

O maior valor de precipitação máxima diária anual registrada na série é 141 mm, enquanto o menor 19,4 mm, respectivamente para os anos de 1964 e 1993. O ano de 1993 que apresentou menor precipitação máxima diária anual, também foi um ano de baixa pluviosidade total anual de 144,2 mm/ano, resultando em seca catastrófica para a região, prejudicando principalmente as atividades agropecuárias, além da falta de água para abastecer as atividades produtivas e a população da cidade de Mossoró e cidades menores daquela região, o oposto do ano de 1985, que ocorreu precipitação total anual de 2.065,7 mm/ano, com chuvas de grande intensidade, e registradas no município, principalmente na cidade, inundações que desabrigaram parte da população, principalmente aquela localizada às margens do rio Apodi-Mossoró, que cruza a cidade.

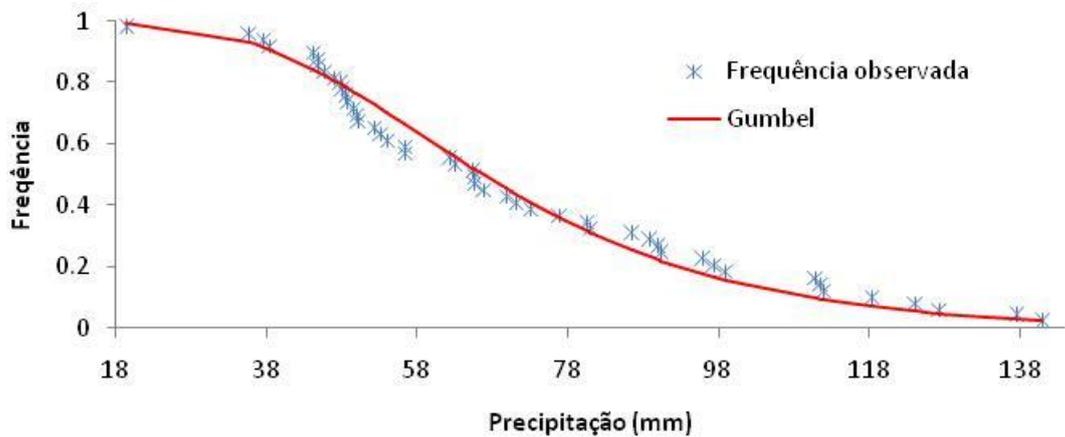


Figura 1. Frequências observadas e ajustadas pelo modelo de Gumbel para máximos, da série histórica de precipitação máxima diária anual da cidade de Mossoró-RN.

A variação da intensidade da chuva com a frequência está relacionada com a probabilidade de ocorrência ou superação do evento chuva, obtida, portanto, por meio de uma função de distribuição de probabilidade que permite a extrapolação para um número maior em anos relativamente ao número de anos de observação (Araújo et al., 2008 e Oliveira et al., 2005).

Os valores de $|\Delta F|$ calculado máximo pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, Qui-Quadrado (λ^2) e Anderson-Darling (AD^2) obtidos na avaliação da aderência dos modelos ajustados à distribuição de probabilidades da série histórica de precipitação máxima diária anual da cidade de Mossoró-RN são apresentados na Tabela 1. Observa-se boa adequação do modelo a série, sendo significativo para todos os testes realizados, estes resultados confirmam a observação de Nerilo et al. (2002) de que a distribuição Gumbel apresenta resultados eficazes e é a mais utilizada no Brasil e no mundo no ajuste de eventos meteorológicos extremos.

Tabela 1. Valores obtidos dos parâmetros de ajuste e estatísticas dos testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov (KS), Qui-Quadrado (λ^2) e Anderson-Darling (AD^2) na avaliação do ajuste do modelo de Gumbel para máximos, à série histórica de precipitação máxima diária anual da cidade de Mossoró-RN

Modelo	Teste Aderência		
	$ \Delta F $	λ^2	AD^2
Gumbel para máximos	0,093*	3,335*	0,58*
	Parâmetros		
	α	μ	
	0,044	58,418	

* Significativo a 5% de probabilidade

Através da distribuição ajustada, foram calculados os valores de precipitações máximas diárias anuais esperadas para os períodos de retorno 5, 10, 20, 30, 50, 100 e 500 anos assim como por meio da desagregação a intensidade máxima diária anual, com duração 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutos conforme Tabela 2. Analisando os dados, observa-se que ocorreu decréscimo nos valores de intensidade máxima diária anual com o aumento da duração das precipitações. Esse comportamento é característico das chuvas, pois a intensidade das precipitações pluviais tende a decrescer com o aumento da duração (Villela e Mattos, 1975). A chuva máxima diária esperada para os períodos de retorno estudados diferem dos encontrados por Freire et al., (2012), devido a diferentes metodologias utilizadas.

Tabela 2. Valores de chuva máxima diária anual (mm) gerada com o Método de Gumbel para diferentes períodos de retorno (TR) e intensidade máxima de chuva esperada (mm/h), para diferentes durações (minutos) e períodos de retorno (TR em anos), para a cidade de Mossoró-RN

Tempo de duração em minutos	Tempo de retorno em anos						
	5	10	20	30	50	100	500
	Intensidade de precipitação (mm/h)						
5	144,256	160,613	178,825	190,421	206,106	229,477	294,476
10	116,820	130,066	144,814	154,205	166,907	185,833	238,469
15	99,232	110,484	123,012	130,989	141,779	157,855	202,567
20	86,867	96,717	107,683	114,666	124,111	138,184	177,325
25	77,633	86,435	96,236	102,477	110,918	123,495	158,475
30	70,437	78,424	87,317	92,979	100,637	112,049	143,786
60	46,887	52,203	58,123	61,891	66,989	74,585	95,712
360	14,013	15,601	17,370	18,497	20,020	22,291	28,604
480	11,432	12,728	14,171	15,090	16,333	18,185	23,336
600	9,754	10,860	12,091	12,875	13,936	15,516	19,911
720	8,564	9,535	10,616	11,304	12,235	13,623	17,482
1440	5,209	5,799	6,457	6,876	7,442	8,286	10,633
	Precipitação máxima diária anual (mm)						
	92,686	109,830	126,275	135,736	147,562	163,513	200,375

A partir dos valores das intensidades das precipitações máximas, foram ajustados os coeficientes das relações IDF pelo método dos mínimos quadrados. Considerando os parâmetros obtidos na regressão não linear, a equação de chuvas intensas para o município de Mossoró-RN pode ser escrita sob a forma da Equação 8.

$$i = \frac{791,116 \cdot TR^{0,155}}{(t + 9,789)^{0,724}}, R^2 = 0,997 \quad (8)$$

onde: i = intensidade de chuva (mm/h); TR = período de retorno (anos); t = duração da chuva (minutos); R^2 = Coeficiente de determinação.

A equação gerada permite o cálculo da intensidade máxima de chuvas com diferentes durações e períodos de retorno. Por exemplo: em cada cinco anos ($T = 5$) é esperado que a chuva máxima em 30 minutos ($t = 30$) seja igualada ou superada em 70,47 mm/h. Também é esperado que somente a cada 100 anos ($T = 100$) a precipitação máxima em 30 minutos ($t = 30$) seja igualada ou superada em 112,05 mm/h.

Conclusões

A análise mostrou que a distribuição Gumbel, freqüentemente usada no cálculo de precipitações extremas representou bem os dados, sendo significativo para todos os testes de aderência utilizados.

Foi obtida uma equação empírica que pode ser usada para representar a intensidade-duração-freqüência, para precipitação máxima da cidade de Mossoró-RN, podendo ser usada em projetos hidráulicos.

A análise indicou que o clima assume importante papel na produção do espaço, assim conhecendo-se a dinâmica climática, podem-se planejar medidas mitigadoras e direcionar este conhecimento aproveitando a variabilidade temporal para o desenvolvimento socioeconômico da região.

Referências

ARAÚJO, E. M.; SILVA I. N.; OLIVEIRA, J. B.; CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; ALMEIDA, B. M. Aplicação de seis distribuições de probabilidade a séries de temperatura máxima em Iguatu – CE. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 1, p. 36-45, jan-mar, 2010.

ARAÚJO, L. E.; SOUSA, F. A. S.; RIBEIRO, M. A. F. M.; SANTOS, A. S.; MEDEIROS, P. C. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do Rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 23, n. 2, p. 162-169, 2008.

BACK, A. J. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações ocorridas no município de Urussanga, SC. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 170-175, 2008.

CARMO FILHO, F.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; AMORIM, A. P. **Dados meteorológicos de Mossoró (janeiro de 1898 a dezembro de 1986)**. Mossoró: ESAM/FGD, 1987. v. 341, 325p.

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

FREIRE, F. G. C.; OLIVEIRA, A. M. DE P.; SOBRINHO, J. E.; BATISTA, R. O.; SANTOS, W. DE O.; BARRETO, H. B. F. Estudo das precipitações máximas para o município de Mossoró-rn, Brasil. **Rev. Bras. Agric. Irrigada** v. 6, nº. 1, p. 3-7, 2012.

GENOVEZ, A. M.; ZUFFO, A. C. Chuvas intensas no estado de São Paulo: estudos existentes e análise comparativa. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Volume 5 n.3 Jul/Set 2000, 45-58.

MESQUITA, W. O.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Precipitações máximas diárias esperadas para as regiões central e sudeste de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 2, p. 73-81, 2009.

NERILO, N.; MEDEIROS, P.A.; CORDEIRO, A. **Chuvas intensas no Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Editora da UFSC; Blumenau: Editora da FURB, 2002. 156p.

OLIVEIRA, L. F. C.; ANTONINI, J. C. A.; GRIEBELER, N. P. Estimativas de chuvas intensas para o Estado de Goiás. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 22-33, 2008.

OLIVEIRA, L. F. C.; CORTÊS, F. C.; WEHR, T. R.; BORGES, L. B.; SARMENTO, P. H. L.; GRIEBELER, N. P. Intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para localidades no estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 1, p. 13-18, 2005.

TORRICO, J. J. T. **Práticas hidrológicas**. Rio de Janeiro: Transcom, 1975. 120 p.

TUCCI, C. E. M (Org). **Hidrologia – Ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009.

VILLELA, S., MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil. 1975. 245p.

Recebido para publicação em: 19/09/2013

Aceito para publicação em: 03/12/2013