



## XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

### MÉTODOS DE PREVISÃO DE PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS PARA O MUNICÍPIO DO CRATO, CEARÁ

*Nosliana Nobre Rabelo<sup>1\*</sup> Ticiano Marinho de Carvalho Studart<sup>2</sup> & Fernando Jose Araújo da Silva<sup>3</sup> Maria Patrícia Sales Castro<sup>4</sup> Manuella Romcy Melo<sup>5</sup> & Renan Vieira Rocha<sup>6</sup> & Rosiel Ferreira Leme<sup>7</sup>*

**Resumo** – O presente trabalho apresenta uma análise dos métodos de precipitações máximas para o posto pluviométrico do município do Crato. Inicialmente foi feita uma breve apresentação contendo tópicos necessários para compreensão das análises feitas. A aproximação a uma distribuição Gumbel foi feita pelo software estatístico Minitab, comprovando a qualidade do ajuste através do teste de Anderson-Darling. Os resultados obtidos pelo método do fator de frequência para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100 e 1000 anos apresentaram um desvio percentual de no máximo 3% aos resultados da Gumbel, além disso, o método se mostrou de fácil aplicação. O método Plotting Positions para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 e 50 anos apresentou bons resultados, desvios menores de 10 %, para uma série longa de dados, >100 anos, para série menores, 30 e 50 anos, apresentou um desempenho inferior, variando com representatividade da série de dados.

**Palavras-Chave** – Anderson-Darling, Gumbel, Precipitações.

### METHODS OF FORECASTING MAXIMUM PRECIPITATIONS FOR THE MUNICIPALITY OF THE CRATO, CEARÁ

**Abstract** – This paper shows a analysis between the methods maximum rainfalls for a gaging station at the city of Crato. Initially, it was done a brief presentation containing necessary topics for the comprehension of the conducted analysis. The approximation to a Gumbel distribution was done using the statistics software Minitab, proving the quality of the adjustment through Anderson-Darling test. The results obtained through the frequency factor method for return periods of 2, 5, 10, 20, 50, 100 and 1000 years showed a percentage deviation of a maximum of 3 % to the Gumbel results, besides that, the method has shown itself easy to apply. The Plotting Postions for the return periods of 2, 5, 10, 20 and 50 years showed good results, with

<sup>1</sup>Doutoranda em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará. E-mail: nosliana\_rabelo@hotmail.com

<sup>2</sup> Professora da Universidade Federal do Ceará – UFC. E-mail: ticiano@ufc.br

<sup>3</sup> Professor da Universidade Federal do Ceará – UFC. E-mail: fjas@deha.ufc.br

<sup>4</sup> Doutoranda em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará. E-mail: patricia.sales@gmail.com

<sup>5</sup> Mestranda em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará. E-mail: manuella90romcy@hotmail.com

<sup>6</sup> Mestrando em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará. E-mail: renanvierocha@gmail.com

<sup>7</sup> Professor adjunto Campus de Russas, Universidade Federal do Ceara – UFC. E-mail: rosieferrreira@gmail.com



## XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

deviations under 10 %, for a long data series, over 100 years, for smaller series, 30 and 50 years, showed a lower performance, deviating with representativity from the data series.

**Keywords** - Anderson-Darling, Gumbel, rainfalls.

### 1. INTRODUÇÃO

A precipitação máxima é definida como um evento extremo, com duração, distribuição temporal e espacial em uma bacia hidrográfica. Esta precipitação pode determinar a produção agrícola, a erosão do solo, as inundações em áreas rurais e urbanas, as obras hidráulicas, entre outros (TUCCI, 2009).

O fenômeno da precipitação máxima não permite uma previsão determinística espaço-temporal. É aleatório, e tentativas de previsão podem ser obtidas com ajuste de modelos probabilísticos. Existe um conjunto de funções de distribuição de probabilidades que podem ser empregadas para a modelagem de eventos máximos anuais de variáveis hidrológicas. Naghetthini e Pinto (2007) destacam as distribuições oriundas da teoria clássica de valores extremos, as quais sejam as distribuições Gumbel, Fréchet, Weibull e a Generalizada de Valores Extremos (GEV). Há ainda aquelas ditas não-extremas, entre as quais as de maior uso são: as distribuições Exponencial e sua forma mais geral que é a Generalizada de Pareto, Pearson III, Log-Pearson III e Log-Normal de 2 parâmetros.

Apesar da utilização da distribuição Gumbel ser um dos métodos mais recomendados para a obtenção dos valores extremos, a aproximação a uma distribuição de probabilidade pode demandar tempo e requerer estudos estatísticos mais específicos. Para contornar essa dificuldade um método antigo, porém ainda utilizado, é o Plotting Position. O método consiste em ordenar uma série de observações de precipitação máxima e relacionar a sua probabilidade de excedência a um tempo de retorno, obtendo assim a máxima desejada, onde essa probabilidade pode ser calculada através de equações presentes na literatura, formuladas para diferentes distribuições de probabilidade (CHOW; MAIDMENT; LARRY, 1988).

Outro método bastante utilizado é o Frequency Factor, que permite obter as máximas através da utilização de parâmetros estatísticos da série de observações, como média, desvio padrão e coeficiente de assimetria, e do tempo de retorno desejado, em equações definidas para cada distribuição (Ibidem).

Em razão da relevância do conhecimento das possíveis precipitações diárias máximas, este trabalho tem como objetivo verificar se os métodos Fator de Frequência (FF) e Posição de Plotagem (PP) apresentam resultados satisfatórios na estimativa dessa variável. Para tanto, serão considerados os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100 e 1000 anos. Para isso foi analisado a série de dados do posto pluviométrico localizado no município do Crato, localizado na porção sul do estado do Ceará.



## XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

### 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### Fator de frequência

A equação do fator de frequência, equação (1), foi proposta por Chow (1951), em que, para uma dada distribuição, pode-se determinar uma relação entre o fator de frequência e o período de retorno correspondente. Na equação (1),  $X_T$  corresponde à magnitude do evento,  $\bar{x}$  a média,  $K_T$  o fator de frequência e  $\sigma$  o desvio-padrão.

$$x_T = \bar{x} + K_T \sigma \quad (1)$$

Para uma distribuição normal, o fator de frequência pode ser encontrado de duas formas, a primeira através da equação (2), onde  $\mu$  corresponde à média:

$$K_T = (X_T - \mu) / \sigma \quad (2)$$

Já a segunda forma necessita de uma variável acessória  $w$ , conforme equação (3), para em seguida ser calculado o fator de frequência, nessa equação, chamado de  $z$ , de acordo com a equação (4), que corresponde à probabilidade de  $p$  ( $p = 1/T$ ) ser excedido. As equações (4) e (5) são válidas para  $p$  sendo o inverso do tempo de retorno e menor que 0,5. Quando  $p$  for maior que 0,5, deve ser substituído por  $1-p$ , e a fórmula de  $z$  ganha um sinal negativo.

$$w = \left[ \ln \left( \frac{1}{p^2} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$z = w - \frac{2,515517 + 0,802853w + 0,010328w^2}{1 + 1,432788w + 0,189269w^2 + 0,001308w^3} \quad (4)$$

Para uma distribuição Gumbel o fator de frequência é calculado de acordo com a equação (5). Quando  $T$  (tempo de retorno) for igual à 2,33, o fator de frequência será zero, pois esse é o valor da média de distribuições de valores extremos do Tipo I.

$$K_T = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0,5772 + \ln \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right] \right\} \quad (5)$$

Para uma distribuição Log-Pearson tipo III, deve-se usar o logaritmo do dado de precipitação, ou seja,  $y = \log x$ . A partir daí pode-se calcular a média, o desvio padrão e o coeficiente de assimetria para o logaritmo dos dados. O fator de frequência é dependente do período de retorno  $T$  e do coeficiente de assimetria  $CS$ . Quando  $CS$  for zero, o fator de frequência será o mesmo da variável  $z$ , quando for diferente de zero, pode ser calculado pela equação (6), onde  $k = CS/6$ .

$$K_T = z + (z^2 - 1)k + \frac{1}{3}(z^3 - 6z)k^2 - (z^2 - 1)k^3 + zk^4 + \frac{1}{3}k^5 \quad (6)$$

#### Plotting Positions

A probabilidade do evento ser excedido, que é dada pela equação (7), conhecida como fórmula Califórnia, onde  $n$  é a quantidade total de dados e  $m$  é a posição do dado após ser ordenado.

$$P(X \geq x_m) = \frac{m}{n} \quad (7)$$



**XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**  
**26 de novembro a 01 de dezembro de 2017**  
**Florianópolis- SC**

Entretanto, a fórmula Califórnia apresenta problemas para  $m = 1$  e  $m = n$ , não sendo tão fácil de serem plotadas. Surgiram então, outras fórmulas, apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Equações para Plotting Positions.

Autor	Fórmula	Equação
Hazen (1930)	$P(X \geq x_m) = \frac{(2m - 1)}{2n}$	(8)
Weibull (1939)	$P(X \geq x_m) = \frac{m}{(n + 1)}$	(9)
Blom (1958)	$P(X \geq x_m) = \frac{\left(m - \frac{3}{8}\right)}{(n + 0,25)}$	(10)
Gringorten (1963)	$P(X \geq x_m) = \frac{m - 0,44}{n + 0,12}$	(11)
Cunnane (1978)	$P(X \geq x_m) = \frac{(m - c)}{(n - 2c + 1)}$	(12)

### 3 METODOLOGIA

O posto pluviométrico adotado localiza-se no município de Crato, no estado do Ceará. O posto é operado pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), identificado pelo código 739006. O posto era o que apresentava maior série histórica contínua, compreendendo 104 anos, de 1912 a 2016, sem interrupções em seu registro, sendo composta pelos dados de precipitações diários. Desses dados, foi selecionada para análise a máxima diária de cada ano, ou seja, um total de 104 dados. Inicialmente os dados de precipitação foram analisados, assim, foi retirado da série um outlier, associado ao ano de 1957, resultando em uma série com um total de 103 observações.

#### Distribuição de probabilidade

Fez-se uso do software Minitab para identificar qual distribuição era mais adequada a esses dados. A distribuição Gumbel ajustou-se melhor aos dados, de acordo com o teste de aderência de Anderson-Darling e o teste P-value, mostrados no próprio software. A partir da distribuição Gumbel foi possível obter as precipitações máximas anuais para os tempos de retorno desejados.

#### Fator de frequência

Para utilização do método de fator de frequência foi necessário realizar o cálculo da média e do desvio padrão do conjunto de dados. Em seguida aplicou-se a equação (6) para encontrar o valor do fator de frequência  $KT$ , para cada tempo de retorno desejado. Então foi



## XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

possível aplicar a equação (2) para obter os valores de precipitação associados aos tempos de retorno.

### Plotting Positions

O método Plotting Positions requer que inicialmente os dados observados sejam colocados em ordem decrescente, assim, obtém-se um valor  $m$  para cada dado, referente à posição em que foi colocado e um valor  $n$ , igual à 103, referente ao total de dados utilizados. Então, as equações (9), (10), (11), (12) e (13) foram aplicadas para todos os valores de  $m$  e obtidas as probabilidades dos eventos serem excedidos. Nesse trabalho, para este método, utilizou-se a observação imediatamente posterior nos casos em que o tempo de retorno associado a uma observação fosse inferior ao desejado e o tempo de retorno associado a observação imediatamente posterior fosse maior que o desejado.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Aproximação à distribuição Gumbel

A figura 1 mostra os resultados da aproximação dos dados a distribuição analisada. A qualidade do ajuste da série foi avaliada pelo teste do Anderson-Darling, que resultou em um valor de 0,439, o menor obtido quando comparado a outras distribuições, indicando a distribuição utilizada como a mais adequada. Além disso, o software Minitab utiliza o "P-Value" para avaliar a qualidade do ajuste, de forma que quanto maior o valor o seu valor, mais representativa é a distribuição, devendo ser no mínimo superior ao intervalo de confiança, no caso, foi utilizado 5% (0,05). O valor obtido foi de  $> 0,250$  o que reforça a utilização da distribuição Gumbel.

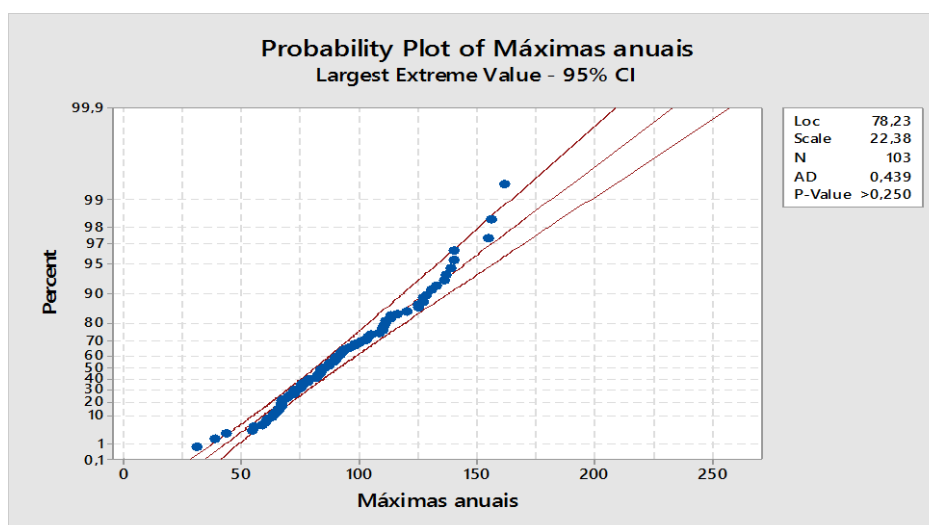


Figura 1 – Probability plot acumulado da distribuição Gumbel dos dados do estudo.



**XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**  
**26 de novembro a 01 de dezembro de 2017**  
**Florianópolis- SC**

Após verificado a qualidade do ajuste foi obtido as precipitações máximas anuais para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100 e 1000 anos.

**Fator de Frequência**

A média e o desvio padrão das precipitações máximas anuais observadas resultaram, respectivamente, em 90,27 e 27,50. Desse modo, podemos calcular as precipitações máximas associadas ao período de retorno desejado, os resultados estão apresentados na tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Precipitações obtidas pelo Fator de Frequência

Tempo de Retorno (Anos)	2	5	10	20	50	100	1000
Precipitação (mm)	86,43	111,8	128,6	144,7	165,6	181,2	232,8

**Plotting Position**

Utilizando as equações para posição de plotagem de Hazen, Weibull, Blom, Gringorten e Cunnane, seguindo a metodologia explicitada anteriormente, obtemos os mesmos valores para séries de dados de 30, 50 e 103 anos, exceto para a equação de Hazen, para um tempo de retorno de 20 anos e as série de dados de 50 e 30 anos, que resultou no mesmo valor que a equação Califórnia. Os resultados através da equação Califórnia foram sempre menores, o que era esperado devido a sua forma.

Dessa maneira, serão apresentados somente os resultados pelas equações de Weibull e Califórnia, através da tabela 3.

Tabela 3 – Precipitações obtidas pelo Plotting Position

Precipitação (mm)		Tempo de retorno					
		2	5	10	20	50	100
103	Weibull	85,1	111,5	131	140	156	162
	Califórnia	85,1	111,2	128,5	139	155	156
50	Weibull	76	103	113,5	131	132,6	-
	Califórnia	75,3	95,5	111,5	128,5	131	-
30	Weibull	78,4	104,2	128,5	132,6	-	-
	Califórnia	76	95,5	113,5	131	-	-



## **XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**

**26 de novembro a 01 de dezembro de 2017**

**Florianópolis- SC**

### **3. CONCLUSÃO**

Considerando a distribuição Gumbel como referência, percebeu-se que o método do fator de frequência obtém valores próximos, com menos de 3 % de diferença, mesmo para um tempo de retorno de mil anos. Além disso, como necessita apenas da aplicação de fórmulas e da média e desvio padrão das observações, pode ser facilmente empregado através da utilização de softwares como o Excel. Porém é necessário atentar para que a série de dados seja representativa da região estudada, uma média e um desvio padrão de um período anômalo resultará em valores diferentes da realidade, e que a fórmula utilizada seja correspondente a distribuição das precipitações máximas da região analisada.

O método Plotting Position, obteve bons resultados para períodos de retorno de até 50 anos quando analisado uma série de observações longa, mais de 100 anos. Para séries menores, o resultado depende da representatividade que os anos analisados tem em relação ao comportamento da região, visto que para uma série de 30 anos, obtemos valores melhores que a série de 50 anos. Ressaltando que a metodologia adotada, de considerar o valor de precipitação máxima imediatamente posterior nos casos de inexistência de um tempo de retorno exatamente igual ao desejado, resulta em valores maiores dependendo da equação utilizada, caso fosse realizado uma interpolação, os valores obtidos por esse método seriam ainda menores em alguns casos, resultando em uma diferença percentual maior.

### **REFERÊNCIAS**

- CHOW, V.T. A general formula for hydrologic frequency analysis. *Trans. AGU*. V. 32, n. 2, p. 231-237, April, 1951.
- CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.R.; LARRY, W.M. *Applied Hydrology*. New York: McGrawHill International Editions, 1988. 537 p.
- TUCCI, C. E. M. *Hidrologia, Ciência e Aplicação*. Quarta edição. Porto Alegre, UFRGS. EDUSP/ABRH, 2009. 943 p.