

Equação de Chuvas Intensas para a Cidade de Fortaleza

• Clóvis E. de A. Matos Neto
 •• Nise Sanford Fraga

Análise das precipitações máximas na cidade de Fortaleza, utilizando-se o método de CHOW - Gumbel e para durações de 5, 10, 20, 30, 45, 60 e 120 minutos. Os parâmetros da equação foram determinados pelo método dos mínimos quadrados.

INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem o objetivo de proceder a uma análise das máximas intensidades pluviométricas para a cidade de Fortaleza, Estado do Ceará, registradas na estação meteorológica do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará. Os dados analisados referem-se ao período de 1964 a 1980, tendo sido obtidos dos pluviogramas existentes na estação.

Foi objetivo nosso estudar as relações de intensidade, frequência e duração das chuvas intensas ocorridas nesse período, para obtenção de uma equação capaz de representar os dados obtidos e permitir a previsão para períodos maiores de recorrência.

Fortaleza é uma capital em crescimento, onde verifi-

ca-se uma necessidade constante na resolução de problemas de drenagem urbana. Logo, o estabelecimento de uma equação desta natureza é de grande validade para fixar a vazão de projeto esperada para o período de retorno desejado, no que tange ao equacionamento de tais problemas.

DADOS

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos dos pluviogramas diários da estação meteorológica. Para a leitura da fita do pluviógrafo utilizou-se o método do Engo. J. Heuser (6). Foram elaboradas séries anuais para as durações de 5, 10, 20, 30, 45, 60 e 120 minutos, cujas intensidades máximas foram selecionadas da tabela 1 abaixo:

Duração (minutos)	Intensidade (mm/hora)	Duração (minutos)	Intensidade (mm/hora)
5	130,00	45	30,00
10	73,00	60	25,00
20	51,00	120	18,00
30	40,00		

Tabela 1. Intensidade máximas de chuva, a serem consideradas como chuvas intensas no processamento dos dados pluviométricos.

Duração minutos	Intensidade mm/hora	Duração minutos	Intensidade mm/hora
5	120,00	45	30,60
10	72,00	60	25,00
20	51,00	120	15,00
30	40,00		

Fonte: WILKEN, Paulo S. — "ENGENHARIA DE DRENAGEM SUPERFICIAL".

Tabela 2. Intensidades — Durações calculadas pelo método de Chow-Gumbel para 5, 10, 15, 20, 25, 50 anos de período de retorno.

Duração (mm)	Dados Estatísticos			Intensidade Max. Prováveis (Em mm/hora)						Valor Máximo Observado em 17 anos
	\bar{X}	σ	C.V.	Intervalo de Recorrência (Em anos)						
				5	10	15	20	25	50	
5	111,3	33,1	0,3	135,3	154,9	165,9	173,6	179,6	197,9	168,0
10	89,6	27,77	0,31	109,6	125,9	135,0	141,4	146,4	161,6	156,0
20	71,7	26,97	0,38	91,1	106,9	115,8	122,0	126,8	141,6	157,2
30	61,4	22,95	0,37	77,9	91,3	98,8	104,1	108,2	120,8	129,0
45	47,4	16,05	0,34	58,9	68,3	73,6	77,3	80,2	89,0	90,6
60	41,1	14,0	0,34	51,1	59,3	63,9	67,2	69,7	77,3	76,8
120	26,0	9,8	0,38	33,0	38,8	42,0	44,3	46,0	51,4	40,2

Não foi objetivo deste trabalho a discussão de qual seria a distribuição de frequência que melhor se adaptaria às séries anuais. Como trabalhamos com valores máximos, utilizamos o método de Chow-Gumbel.

METODOLOGIA

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os parâmetros estatísticos estimados foram a média, desvio padrão e coeficiente de variação. Para análise de frequência das chuvas intensas utilizamos a equação proposta por Chow, ou seja:

$$X = \bar{X} + S_x K \text{ onde:}$$

$$\bar{X} = \text{média da amostra} \quad (1)$$

$$S_x = \text{desvio padrão}$$

$$K = \text{fator de frequência}$$

O fator de frequência (K) varia com o período de retorno (T) e com o tipo de distribuição estatística usada na análise. Neste trabalho foi utilizada a distribuição de valores extremos do tipo I, mais conhecida como distribuição de Gumbel. (1). Sabemos, também, que inúmeros estudos já foram feitos para a determinação do fator de frequência (K). Mas, até o presente momento, o melhor método para a determinação de K tem sido o método de Gumbel (Chow-1951), que relaciona K com o período de retorno T, apenas. Esta distribuição é dada por:

$$K = -\sqrt{6} \left\{ \delta + \ln [\ln(T) - \ln(T-1)] \right\} / \Pi \quad (2)$$

onde T é o período de retorno e $\delta = 0,5772157$ é a chamada constante de Euler (1). Para os períodos de retorno escolhidos obtivemos os seguintes valores para o fator de frequência:

$$K_5 = 0,719$$

$$K_{10} = 1,305$$

$$K_{15} = 1,635$$

$$K_{20} = 1,866$$

$$K_{25} = 2,044$$

$$K_{50} = 2,592$$

De posse dos parâmetros estatísticos calculados para cada intervalo de duração e, dos fatores de frequência acima indicados e relacionados através da equação de Chow, obtivemos as intensidades máximas prováveis para os períodos de retorno pré-selecionados. Os resultados obtidos constam da tabela 2.

DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DA EQUAÇÃO INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQÜÊNCIA

Os principais tipos das equações de chuva que melhor se adaptariam ao fenômeno meteorológico, são as seguintes:

$$\text{a) tipo recíproco: } i = \frac{C}{t + a} \quad (3)$$

$$\text{b) tipo exponencial: } i = \frac{D}{t^b} \quad (4)$$

$$\text{c) tipo exponencial modificado: } i = \frac{A}{(t + c)^b} \quad (5)$$

Nestas equações típicas, as constantes C, D, A, a, b, c são função da frequência e t é a duração da chuva, em minutos ou horas, quando ela exceder a 120 minutos.

"(. . .) Cada região hidrológica poderá obter as constantes destas expressões que lhe são peculiares" (6).

No presente trabalho, utilizamos a equação mais geralmente aceita, derivada do tipo c), seguinte:

$$i = \frac{A}{(t + c)^b} \quad \text{onde:}$$

i = intensidade máxima

t = duração

A, c, b = parâmetros a determinar.

O parâmetro A é relacionado com o período de retorno (T) por meio da seguinte expressão:

$$A = BT^d \quad \text{onde:} \quad (6)$$

T = período de retorno

B e D = parâmetros a determinar, originando desta maneira, a seguinte equação geral:

$$i = \frac{BT^d}{(t + c)^b} \quad (7)$$

Quando da determinação dos parâmetros da equação acima, a determinação do valor da constante c , foi iniciante e para isto foi traçado em papel bi-logarítmico (ver fig. 1)

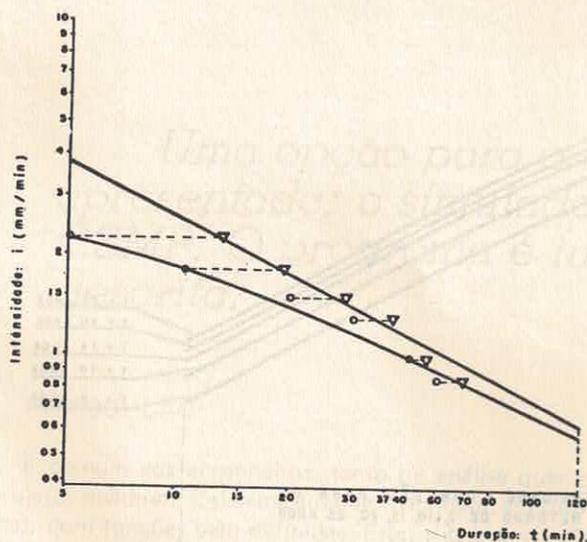


Figura 1

a curva intensidade-duração para os valores observados, correspondentes ao $T = 5$ anos. Escolheu-se, nesta curva, dois pontos próximos às suas extremidades, cujas coordenadas eram respectivamente: (i_1, t_1) e (i_2, t_2) . Note que estes pontos são:

$$i_1 = \frac{A}{(t_1 + c)^b} \quad \text{e} \quad i_2 = \frac{A}{(t_2 + c)^b}$$

Em seguida, foi considerado um terceiro ponto, (i_3, t_3) , da mesma curva, a partir da consideração:

$$i_3 = \sqrt{i_1 \cdot i_2} \quad (8)$$

sendo o t_3 correspondente a i_3 , lido na curva traçada. Note que:

$$\frac{A}{(t_3 + c)^b} = \sqrt{\frac{A}{(t_1 + c)^b} \cdot \frac{A}{(t_2 + c)^b}}$$

Resolvendo a equação para c , temos:

$$c = \frac{t_3^2 - t_1 \cdot t_2}{t_1 + t_2 - 2t_3} \quad (9)$$

O passo seguinte foi verificar se o valor de c , adotado, era satisfatório. Isto foi verificado graficamente, deslocando-se para a direita todos os pontos da curva traçada, isto é, acrescentando a t , em cada ponto, a constante c e, verificando-se se estes novos pontos se ajustavam segundo uma reta, para que realmente fosse dado como satisfatório o valor da constante.

De posse desta reta obtivemos a primeira aproximação de b que é dada pela inclinação da mesma. Para a determinação da constante A , e do valor definitivo de b , o qual será estabelecido como constante para os demais períodos de retorno, foi empregado o método dos mínimos quadrados, pelas equações:

$$\log A = \frac{\sum \log i \cdot \sum [\log(t + c)]^2 - \sum \log(t + c) \cdot \sum [\log i \cdot \log(t + c)]}{n \cdot \sum [\log(t + c)]^2 - [\sum \log(t + c)]^2} \quad (10)$$

$$b = \frac{\sum \log(t + c) \cdot \sum \log i - n \cdot \sum [\log i \cdot \log(t + c)]}{n \cdot \sum [\log(t + c)]^2 - [\sum \log(t + c)]^2} \quad (11)$$

Os valores de A para serem empregados na determinação do valor da constante B , e da constante d , foram obtidos através da média dos valores para as pesquisas referentes a cada período de retorno, ou seja, para cada período de recorrência foi obtido um valor médio de A . Finalmente, os valores de B e d , tomando-se o logaritmo da equação $A = BT^d$, foram encontrados empregando-se novamente o método dos mínimos quadrados, cujas equações apresentamos abaixo:

$$\log B = \frac{\sum (\log T)^2 \cdot \sum \log A - \sum (\log A \cdot \log T) \sum \log T}{n \cdot \sum (\log T)^2 - (\sum \log T)^2} \quad (12)$$

$$d = \frac{n \cdot \sum (\log A \cdot \log T) - \sum \log T \cdot \sum \log A}{n \cdot \sum (\log T)^2 - (\sum \log T)^2} \quad (13)$$

Com os valores de $c = 8$ min; $b = 0,61$; $B = 506,99$ e $d = 0,181$, podemos, então, esboçar a curva intensidade-duração-freqüência para Fortaleza, que é a seguinte:

$$i = \frac{506,99 T^{0,181}}{(t + 8)^{0,61}} \quad (\text{mm/hora}) \quad (14)$$

Validade para $t \leq 120$ minutos, utilizando na equação as seguintes unidades:

T = período de retorno em anos

t = intervalo de duração em minutos.

A curva encontrada deve ter sua precisão verificada, o que é feito no quadro (1). Verifica-se a boa precisão da mesma, pois os desvios observados são pequenos. Uma vez efetuadas as etapas até agora descritas e verificadas as precisões, podemos desenhar, então, em um papel big-log, as curvas intensidade-duração-freqüência. Ver figura (2).

Quadro (1)

t	T _r = 5			T _r = 10			T _r = 15			T _r = 20			T _r = 25			T _r = 50																										
	i	i'	x ²	i	i'	x ²	i	i'	x ²	i	i'	x ²	i	i'	x ²	i	i'	x ²																								
5	135,3	141,9	43,56	154,9	160,9	36,0	165,9	173,1	51,84	173,6	182,4	77,44	179,6	189,9	106,09	197,9	215,3	302,76																								
10	109,6	116,4	46,24	125,9	131,9	36,0	135,0	142,0	49,0	141,4	149,5	65,61	146,4	155,7	86,49	161,6	176,5	222,01																								
20	91,1	88,9	4,84	106,9	100,7	38,44	115,8	108,4	54,76	122,0	114,2	60,84	126,8	118,9	62,41	141,6	134,8	46,24																								
30	77,9	73,8	16,81	91,3	83,6	59,29	98,8	90,0	77,44	104,1	94,8	86,49	108,2	98,7	90,25	120,8	111,9	79,21																								
45	58,9	60,2	1,69	68,3	68,3	0,00	73,6	73,5	0,01	77,3	77,4	0,01	80,2	80,6	0,16	89,0	91,3	5,29																								
60	51,1	51,7	0,36	59,3	58,6	0,49	63,9	63,1	0,64	67,2	66,5	0,49	69,7	69,2	0,25	77,3	78,5	1,44																								
120	33,0	35,2	4,84	38,8	39,9	1,21	42,0	42,9	0,81	44,3	45,2	0,81	46,0	47,1	1,21	51,4	53,3	3,61																								
	Σ x ² σ			118,34			Σ x ² σ			171,43			Σ x ² σ			234,5			Σ x ² σ			291,69			Σ x ² σ			346,86			Σ x ² σ			660,56			Σ x ² σ			9,71		

Figura 2

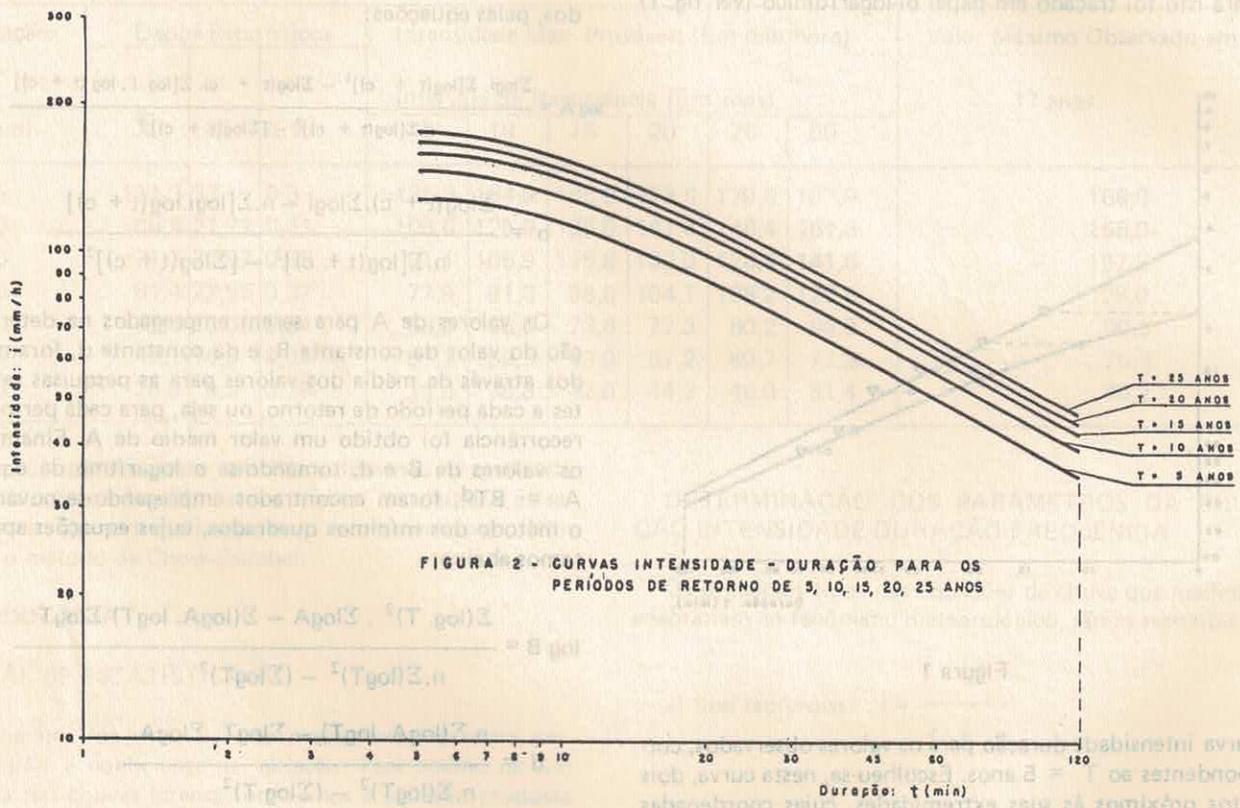


FIGURA 2 - CURVAS INTENSIDADE - DURAÇÃO PARA OS PERÍODOS DE RETORNO DE 5, 10, 15, 20, 25 ANOS

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à colega Maria das Graças Silva de Araújo, valiosa colaboração na fase de coleta dos dados. Ao professor Walter Martins Ferreira Filho, valiosa colaboração recebida através de sugestões e troca de idéias. Ao Engo. Ernesto da Silva Pitombeira, sua dedicada orientação na fase de revisão.

DADOS BIBLIOGRÁFICOS

1. CHOW, V. T. — *Handbook of Applied Hydrology*. Ed. Mac-Graw-Hill, pp 8.1 — 8.42, 1964.
2. REGITANO, A. C. — *"Equação das Chuvas"*. Rev. Engenharia Sanitária V. 19:1, pp 77-81, 1980.

3. SUDO, H. et alii — *"Análise Intensidade-Duração-Freqüência para Presidente Prudente — SP"*. in Anais do IV Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, V.1 pp 387-402, 1981.
4. VIEIRA, D. B. — *"Análise das Máximas Intensidade de Chuvas na Cidade de Campinas"*. in Anais do IV Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos. V.1, pp 375-386. 1981.
5. VILLELA, S. M e MATTOS, A. — *Hidrologia Aplicada*, Ed. Mac-Graw-Hill do Brasil. 1977.
6. WILKEN, P. S. — *"Engenharia de Drenagem Superficial"*. CETESB São Paulo, 1978.
7. ——— — *"Análise de Freqüência dos Eventos Hidrológicos"*. IV Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, 1981.