



Acta Scientiarum. Agronomy

ISSN: 1679-9275

eduem@uem.br

Universidade Estadual de Maringá

Brasil

Back, Álvaro José

Relações Intensidade-Duração-Freqüência de chuvas intensas de Chapecó, Estado de Santa Catarina

Acta Scientiarum. Agronomy, vol. 28, núm. 4, octubre-diciembre, 2006, pp. 575-581

Universidade Estadual de Maringá
Maringá, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303026571020>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe , Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Relações Intensidade-Duração-Freqüência de chuvas intensas de Chapecó, Estado de Santa Catarina

Álvaro José Back

Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Estação Experimental de Urussanga, Cx. Postal 049, 88840-000. E-mail para correspondência: ajb@epagri.rct-sc.br

RESUMO. Este artigo apresenta as relações Intensidade-Duração-Freqüência de chuvas para a cidade de Chapecó, Estado de Santa Catarina. Foram estudadas as chuvas com duração de 5 até 1440 minutos e ajustadas três equações para a estimativa das intensidades das chuvas, uma para durações de até 120 minutos, outra para durações entre 120 e 480 minutos e a terceira para durações entre 480 a 1440 minutos. Foram determinadas também as relações entre chuvas de diferentes durações, observando-se uma variação na relação entre a chuva de 24 horas sobre a chuva de um dia de duração conforme a hora da coleta da chuva diária.

Palavras-chave: equação de chuvas intensas, distribuição de probabilidade.

ABSTRACT. Intensity-duration-frequency rainfall relationship of rainfall for Chapecó, Santa Catarina State. This paper studies the Intensity-Duration-Frequency relationship of rainfall for the city of Chapecó, Santa Catarina State, Southern Brazil. High rainfall, with duration from 5 to 1440 minutes was studied and three equations to predict the rainfall intensity were adjusted: one for rainfall with duration below 120 minutes, another for durations between 120 and 480 minutes and the third for durations from 480 to 1440 minutes. It was also defined the relationship between several rainfall durations. Variation was observed between 24-hour rainfall and one-day rainfall, depending on the hour in which the samples were collected.

Key words: intense rainfall equation, probability distribution.

Introdução

O estudo das relações intensidade-duração-freqüência (IDF) das precipitações extremas é de grande interesse para os trabalhos de hidrologia devido à freqüente aplicação na estimativa das vazões de projeto para dimensionamento de obras de engenharia tais como: vertedores de barragens, bueiros, bocas de lobo, terraços, canais de drenagem.

Essas relações podem ser expressas de forma gráfica nas curvas IDF ou por meio das equações de chuvas intensas. O conhecimento da equação de chuvas intensas possibilita a aplicação de modelos matemáticos para estimativa de parâmetros como o tempo de concentração e a distribuição temporal da precipitação. A dificuldade que se apresenta na obtenção das equações de chuvas intensas está na baixa densidade de pluviôgrafos bem como no tamanho das séries desses dados.

Nos locais onde não se dispõe de pluviôgrafos, o procedimento adotado, normalmente, consiste em estabelecer a chuva máxima esperada com duração de um dia e, a partir de relações estabelecidas em outras regiões, estimar-se a chuva para uma duração inferior

(Bertoni e Tucci, 1993; Tomaz, 2002).

Eltz *et al.* (1992) afirmam que a análise de freqüência é uma técnica estatística importante no estudo de chuvas, devido a grande variabilidade temporal e espacial da precipitação pluvial, que não pode ser prevista com bases puramente determinísticas.

Existem diversos modelos de probabilidade empregadas para análise de chuvas extremas, utilizando-se mais: a distribuição Log-Normal com dois parâmetros, distribuição Log-Normal com três parâmetros, distribuição Pearson tipo III, distribuição Log-Pearson tipo III, distribuição de extremos tipo I, também conhecida como distribuição de Gumbel (Kite, 1978). Chow (1964) apresentou um método de estimativa dos parâmetros da distribuição de Gumbel em função do tamanho da amostra e a distribuição, assim ajustada, é chamada de Gumbel-Chow.

A distribuição de Gumbel tem tido grande aplicação para o estudo de eventos extremos e é utilizada de forma generalizada nos trabalhos de chuvas intensas. Cruciani (1980) afirma que a distribuição de Gumbel é a mais apropriada para essas análises, segundo a opinião unânime da literatura especializada. Eltz *et al.* (1992)

analisaram séries de chuvas máximas diárias de Santa Maria, com duração variando de dez minutos a 48 horas, por meio das distribuições Log-Normal com 2 parâmetros, Log-Normal com três parâmetros, extremos tipo I e II, Pearson tipo III e Log-Pearson tipo III. Os autores concluíram que a distribuição de Gumbel foi a única capaz de apresentar resultados satisfatórios. Pinto (1995) ajustou as distribuições Gumbel, Log-Normal com dois e três parâmetros, Pearson e Log-Pearson III para dados de vinte e nove estações pluviográficas do estado de Minas Gerais, com duração entre 5 minutos a 1440 minutos. Utilizando o teste Kolmogorov-Smirnov concluiu que as distribuições de Gumbel e Log-Normal a dois parâmetros foram as que melhor se ajustaram aos dados observados. Aron *et al.* (1987) estimaram alturas de chuva com duração de 1 a 24 horas e período de retorno de 1 a 100 anos em regiões da Pennsylvania (EUA), a partir de séries parciais por meio da distribuição Log-Pearson tipo III. Osborn *et al.* (1980) submeteram séries de valores máximos anuais de chuva às distribuições de Gumbel, Log-Normal, Pearson tipo III e Log-Pearson tipo III e observaram que a distribuição que melhor se ajustou aos dados de cada série disponível foi a distribuição de Gumbel. Com base nesses trabalhos muitos autores utilizam a distribuição de Gumbel em seus estudos assumindo a hipótese que os dados amostrais seguem a distribuição de Gumbel, sem testar essa hipótese ou procurar outra distribuição que poderia proporcionar um ajuste melhor.

Segundo Sevruk e Geiger (1981) a definição da melhor distribuição de probabilidade pode ser feita com base empírica, usando técnicas visuais subjetivas ou testes estatísticos mais objetivos. O resultado dos testes depende, em parte, dos parâmetros do modelo e da posição de plotagem usada, observando-se que há controvérsias na utilização desses dados. Além disso, o teste pode mostrar que mais de uma distribuição é adequada.

A estimativa dos parâmetros a partir dos dados observados pode ser feita numericamente, indicando-se o método dos momentos e o método da máxima verossimilhança. A estimativa dos parâmetros pelo método da máxima verossimilhança é aceita como mais eficiente, embora numericamente difícil, comparada ao método dos momentos. Para amostra pequena, esse método conduz, geralmente, a estimativas mais pobres sendo esse método menos variável que o dos momentos (Kite, 1978; Sevruk e Geiger, 1981; Clarke, 1994).

Segundo Koberg e Eggers (1973), para a distribuição de Gumbel, o método dos momentos é suficientemente preciso e virtualmente invariável e mais simples de calcular. Para distribuição com alta assimetria, entretanto, o método dos momentos fornece estimativa mais pobre dos parâmetros.

Back (2001), estudando dados de chuvas máximas diárias de cem estações pluviométricas de Santa Catarina, verificou que a distribuição de Gumbel-

Chow apresentou o melhor ajuste aos dados observados em 60 % das estações, e em 93 % das estações com menos de vinte anos de dados. Segundo Sevruk e Geiger (1981) não há uma teoria suficientemente firme para justificar o uso de uma ou outra distribuição. Existem, no entanto, algumas justificativas teóricas para a aplicação da distribuição de Gumbel, distribuição Pearson e Log-Normal para a análise dos valores extremos.

Em Santa Catarina, existem poucos pluviógrafos em funcionamentos e, na maioria deles, não houve um estudo das relações IDF. Back (2002) apresenta ajuste de equações de chuvas intensas para oito estações com dados de pluviógrafos e 156 estações pluviométricas, baseadas nas relações entre chuvas de diferentes durações recomendadas pela Cetesb. Este trabalho tem como objetivo: analisar as relações IDF e as chuvas intensas, ajustar equações de chuvas intensas para a cidade de Chapecó-SC, bem como estabelecer as relações entre chuvas de diferentes durações.

Material e métodos

Analisaram-se os pluviogramas da Estação Meteorológica de Chapecó, Estado de Santa Catarina (latitude 27°07' S, longitude 52°37' W.Gr) pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), relativos ao período de 1976 a 2003. Os pluviogramas foram digitalizados e armazenados em meio magnético. Elaborou-se um programa para discretizar os arquivos digitalizados em intervalos de um minuto e, posteriormente, determinar as séries de máximas anuais por totais móveis para as durações de 5 minutos até 1440 minutos.

Testaram-se as distribuições Log-Normal com dois parâmetros, Log-Normal com três parâmetros, distribuição Pearson tipo III, Log-Pearson III e a distribuição de Gumbel-Chow, com os parâmetros estimados pelo método dos momentos. Para testar a adequabilidade das distribuições empregou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov com nível de significância de 10 %. Para escolher a distribuição que mais bem se ajustou aos dados observados, adotou-se o critério do menor erro padrão de estimativa, conforme sugerido por Kite (1978), calculado como:

$$Ep = \sqrt{\frac{\sum (Xo_i - Xe_i)^2}{n - m}} \quad (1)$$

observando que Ep é o erro padrão de estimativa de uma dada distribuição de probabilidade; Xoi é a precipitação observada no ano i, Xei é a precipitação esperada no ano i; n é o número de elementos na série de máxima anual e m é o número de parâmetros da distribuição de probabilidade estudada.

A precipitação máxima esperada foi estimada pela

distribuição de Gumbel-Chow segundo a equação:

$$X = \mu + (Y - \mu_y) \frac{\sigma}{S_y} \quad (2)$$

observando que μ é a média dos valores observados de X; σ é o desvio padrão dos valores observados de X; μ_y é média da variável reduzida e S_y é o desvio padrão da variável reduzida y.

sendo $y = -\ln\left\{-\ln\left[1 - \left(\frac{1}{T}\right)\right]\right\}$ (3)

em que T é período de retorno.

Pela distribuição Pearson tipo III os valores foram estimados conforme:

$$X = \mu + K\sigma \quad (4)$$

em que μ e σ são os parâmetros da distribuição e K é o fator de freqüência

As relações intensidade-duração-freqüência de chuvas foram representadas por equações do tipo:

$$i = \frac{KT^m}{(t+b)^n} \quad (5)$$

em que i é a intensidade de chuva; T é período de retorno; t é a duração de chuva; K, m, b, n são parâmetros da equação que devem ser ajustados aos dados observados.

O ajuste destes parâmetros foi realizado, minimizando a soma dos quadrados dos desvios para todas as durações e períodos de retorno considerado, segundo a expressão:

$$S = \sum_{d=1}^{n_d} \sum_{T=1}^{n_T} (f_{id,T} - f_{od,T})^2 \quad (6)$$

em que: $f_{id,T}$ é a intensidade estimada para a duração d, e período de retorno T; $f_{od,T}$ é a intensidade observada para a duração d, e período de retorno T, n_d é o número de durações utilizadas e n_T é o número de períodos de retorno utilizados.

Tabela 2. Desvio máximo (Dmax) e erro padrão de estimativa (ST) para as diferentes distribuições de probabilidades ajustadas para cada duração.

Duração (min)	Distribuição de probabilidades											
	Lognormal 2 parâmetros		Log Normal 3 parâmetros		Pearson tipo III		Log Pearson tipo III		Gumbel		Gumbel-Chow	
	Dmax	ST	Dmax	ST	Dmax	ST	Dmax	ST	Dmax	ST	Dmax	ST
5	0,153	0,78	0,156	0,74	0,166	0,71	0,151	0,72	0,152	0,71	0,181	0,70
10	0,079	0,72	0,085	0,75	0,075	0,71	0,073	0,74	0,074	0,74	0,094	0,60
15	0,079	1,03	0,080	1,03	0,081	0,96	0,087	0,99	0,086	0,97	0,072	0,77
20	0,073	1,07	0,076	1,13	0,065	1,04	0,065	1,07	0,066	1,05	0,080	0,79
25	0,110	1,31	0,138	1,44	0,132	1,40	0,100	1,37	0,084	1,40	0,109	1,22
30	0,135	1,64	0,172	1,74	0,170	1,73	0,131	1,69	0,109	1,79	0,131	1,67
35	0,082	1,48	0,114	1,59	0,109	1,55	0,081	1,53	0,099	1,63	0,095	1,41
40	0,090	1,38	0,109	1,55	0,101	1,46	0,077	1,42	0,070	1,41	0,095	1,05

Resultado e discussão

Na Tabela 1 são apresentadas estatísticas dos valores observados para cada duração estudada. O coeficiente de variação alterou-se entre 20 a 30 %, observando-se os maiores valores para as maiores durações de chuva. Em relação ao coeficiente de assimetria, constata-se que os valores variaram entre 1,130 a 0,127, notando-se os menores valores de coeficiente de assimetria observado para as chuvas de duração acima de 20 horas.

Tabela 1. Estatísticas descritivas precipitações máximas anuais de Chapecó, Estado de Santa Catarina.

Duração (min)	Estatísticas (mm)					Variação (%)	Coeficiente de assimetria
	média	mediana	Maior valor	Menor valor	Desvio padrão		
5	10,9	10,3	16,5	7,1	2,4	21,6	1,126
10	16,8	15,8	24,8	11,2	3,8	22,8	0,674
15	21,9	20,6	34,5	14,7	5,1	23,2	0,907
20	25,5	25,0	38,9	16,9	5,8	22,8	0,838
25	28,3	27,7	40,9	18,6	6,4	22,6	0,595
30	30,5	30,1	44,0	19,5	7,0	22,8	0,424
35	31,9	31,2	47,2	20,2	7,5	23,5	0,469
40	33,4	32,3	52,1	21,7	7,9	23,5	0,682
45	34,7	33,4	57,0	23,3	8,3	23,8	0,867
50	35,8	35,0	60,2	23,6	8,6	24,1	0,949
55	36,9	35,7	63,1	24,2	8,8	23,9	1,050
60	37,7	36,2	65,1	24,8	9,1	24,1	1,130
75	40,4	39,6	69,6	24,8	10,2	25,2	1,068
90	43,5	42,9	72,6	24,8	11,4	26,3	0,669
105	47,1	44,4	74,0	24,8	13,4	28,5	0,414
120	49,4	45,8	78,3	24,9	14,7	29,7	0,423
150	53,0	47,4	84,5	26,3	16,0	30,1	0,531
180	56,3	52,0	93,1	27,0	16,6	29,5	0,582
240	60,5	54,9	100,6	28,8	16,8	27,7	0,550
300	64,4	60,4	113,0	29,8	18,3	28,4	0,673
360	67,6	65,7	120,2	30,9	19,2	28,4	0,727
420	70,3	68,9	123,6	32,9	19,8	28,1	0,681
480	72,7	74,2	126,8	33,2	20,4	28,1	0,558
600	78,6	78,2	130,1	42,2	22,4	28,5	0,475
720	81,6	79,5	136,0	42,2	24,4	29,9	0,556
840	84,2	81,7	148,9	43,3	25,4	30,2	0,718
960	87,8	87,5	149,0	49,2	24,6	28,0	0,582
1080	91,2	94,0	149,0	49,2	24,3	26,7	0,339
1200	93,9	94,8	149,1	49,2	25,2	26,9	0,224
1320	96,4	95,0	149,1	49,2	25,4	26,4	0,171
1440	98,7	97,8	149,1	50,4	26,1	26,4	0,127

Na Tabela 2 são apresentados os valores do erro padrão de estimativa (ST) e do valor do teste de Kolmogorov-Smirnov (Dmax) para as diferentes distribuições estatísticas estudadas.

45	0,096	1,57	0,104	1,67	0,091	1,54	0,081	1,54	0,082	1,49	0,098	1,13
50	0,067	1,65	0,070	1,70	0,056	1,57	0,061	1,60	0,058	1,55	0,073	1,16
55	0,061	1,86	0,057	1,85	0,073	1,75	0,069	1,78	0,064	1,73	0,072	1,40
60	0,072	2,04	0,062	1,99	0,086	1,88	0,080	1,91	0,068	1,88	0,073	1,58
75	0,074	2,24	0,069	2,22	0,093	2,15	0,088	2,18	0,083	2,11	0,086	1,78
90	0,107	2,23	0,093	2,31	0,104	2,26	0,108	2,33	0,126	2,36	0,098	1,98
105	0,089	2,31	0,088	2,14	0,083	2,08	0,095	2,18	0,104	2,69	0,075	2,19
120	0,111	3,11	0,105	2,88	0,105	2,84	0,106	2,96	0,115	3,44	0,082	3,05
150	0,106	3,46	0,125	3,44	0,118	3,34	0,100	3,45	0,105	3,72	0,087	3,30
180	0,102	3,21	0,115	3,33	0,108	3,19	0,092	3,26	0,100	3,45	0,084	2,86
240	0,102	3,07	0,120	3,14	0,110	3,05	0,110	3,29	0,116	3,34	0,084	2,72
300	0,072	3,52	0,076	3,59	0,066	3,57	0,090	3,97	0,087	3,71	0,080	3,07
360	0,103	3,85	0,108	3,98	0,099	3,93	0,083	4,49	0,104	3,94	0,079	3,30
420	0,084	4,04	0,085	4,17	0,086	4,12	0,104	4,64	0,101	4,15	0,109	3,53
480	0,121	4,15	0,100	4,21	0,112	4,19	0,153	4,83	0,139	4,35	0,116	3,74
600	0,097	3,74	0,082	3,80	0,083	3,68	0,113	3,90	0,112	4,10	0,102	3,13
720	0,099	4,07	0,079	4,22	0,091	4,04	0,109	4,26	0,110	4,33	0,105	3,19
840	0,068	3,78	0,066	4,02	0,068	3,77	0,071	4,03	0,075	3,89	0,071	2,25
960	0,082	3,68	0,063	3,83	0,078	3,68	0,086	3,88	0,098	4,01	0,089	2,64
1080	0,112	4,11	0,078	3,79	0,084	3,75	0,136	4,04	0,132	4,80	0,110	3,92
1200	0,092	4,11	0,068	3,40	0,069	3,37	0,122	3,64	0,111	5,02	0,092	4,12
1320	0,074	3,86	0,047	2,93	0,047	2,92	0,099	3,20	0,092	4,95	0,066	4,00
1440	0,081	4,29	*	*	0,060	3,24	0,110	3,34	0,092	5,44	0,079	4,61

Todos os valores de Dmax calculados foram inferiores ao valor crítico ($D_{\text{crítico}} = 0,23$) para o nível de significância de 10 %, e, dessa forma, o teste de Kolmogorov-Smirnov não rejeitou nenhuma das distribuições testadas, apesar de se verificarem diferenças acima de 15 % na precipitação estimada com períodos de retorno de 100 anos. O critério de adotar a distribuição com menor erro padrão tem a vantagem de considerar todos os valores no cálculo e não somente um único valor como o teste de Kolmogorov-Smirnov (Kite, 1978). A distribuição de Gumbel-Chow apresentou menor erro padrão de estimativa para as durações inferiores a 18 horas (1080 minutos) ao passo que, para durações maiores, os menores valores do erro padrão foram obtidos pela distribuição Pearson tipo III. O coeficiente de assimetria da distribuição de Gumbel é igual a 1,1396 (Kite, 1978). Espera-se, portanto, um melhor ajuste para amostra com coeficiente de assimetria próximo desse valor.

Dessa forma, utilizou-se a distribuição de Gumbel-Chow para estimar as chuvas com duração de até 1080 minutos e a distribuição Pearson III com dois parâmetros para estimar a precipitação com durações superiores (Tabela 3).

Tabela 3. Intensidade de chuva esperada (mm/h) para Chapecó, Estado de Santa Catarina.

Duração (min.)	Período de Retorno (anos)						
	2	5	10	20	25	50	
5	126,2	155,4	174,7	193,3	199,1	217,2	235,2
10	97,4	121,2	137,0	152,1	156,9	171,7	186,4
15	84,6	105,6	119,5	132,8	137,0	150,0	163,0
20	73,8	91,8	103,8	115,2	118,8	130,0	141,1
25	65,6	81,4	91,9	102,0	105,2	115,0	124,8
30	58,8	73,2	82,7	91,8	94,7	103,6	112,5
35	52,8	66,1	74,9	83,3	86,0	94,2	102,4
40	48,4	60,6	68,6	76,4	78,8	86,4	93,9
45	44,6	56,0	63,5	70,8	73,1	80,1	87,2
50	41,4	52,1	59,2	66,0	68,1	74,8	81,4
55	38,8	48,7	55,3	61,7	63,7	69,9	76,0
60	36,3	45,7	51,9	57,9	59,8	65,6	71,4

75	31,1	39,5	45,1	50,5	52,2	57,4	62,6
90	27,8	35,7	40,9	45,9	47,5	52,4	57,2
105	25,7	33,7	38,9	43,9	45,5	50,5	55,3
120	23,6	31,2	36,2	41,0	42,6	47,3	51,9
150	20,2	26,8	31,2	35,4	36,7	40,8	44,9
180	17,9	23,7	27,5	31,1	32,3	35,8	39,3
240	14,5	18,8	21,7	24,5	25,3	28,0	30,7
300	12,3	16,1	18,6	21,0	21,8	24,1	26,4
360	10,8	14,1	16,3	18,4	19,0	21,1	23,1
420	9,6	12,5	14,5	16,3	16,9	18,7	20,5
480	8,7	11,3	13,1	14,8	15,3	16,9	18,6
600	7,5	9,8	11,4	12,9	13,3	14,8	16,2
720	6,5	8,6	10,0	11,3	11,8	13,1	14,4
840	5,7	7,6	8,9	10,0	10,4	11,6	12,7
960	5,3	6,8	7,9	8,9	9,2	10,2	11,2
1080	5,0	6,2	6,8	7,6	7,4	8,0	8,5
1200	4,7	5,7	6,3	6,9	6,8	7,4	7,7
1320	4,4	5,3	5,8	6,4	6,3	6,7	7,1
1440	4,1	5,0	5,5	6,0	5,9	6,3	6,5

Para estimar a intensidade das chuvas com duração de até 120 minutos obteve-se a equação:

$$i = \frac{846,1T^{0,155}}{(t + 9,2)^{0,739}} \quad (7)$$

observando que: i é a intensidade da chuva em mm/h; T é o período de retorno em anos; t é a duração da chuva em minutos.

Para chuva de duração entre 120 e 480 minutos, obteve-se a seguinte equação:

$$i = \frac{1542,1T^{0,181}}{(t + 28)^{0,840}} \quad (8)$$

Para chuvas de duração entre 8 horas até 24 horas obteve-se a seguinte equação:

$$i = \frac{1100T^{0,166}}{t^{0,782}} \quad (9)$$

Essas relações IDF podem ser visualizadas nas

Figuras 1 a 3.

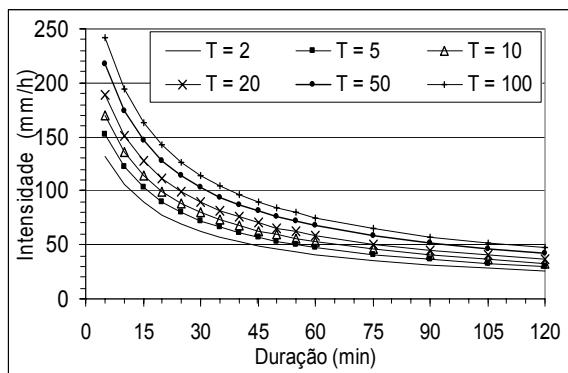


Figura 1. Relação IDF de Chapecó, Estado de Santa Catarina, para chuvas de duração inferior a 120 minutos.

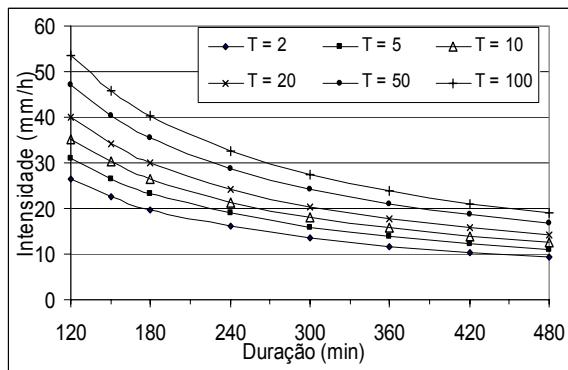


Figura 2. Relação IDF de Chapecó, Estado de Santa Catarina, para chuvas de duração entre 120 e 480 minutos.

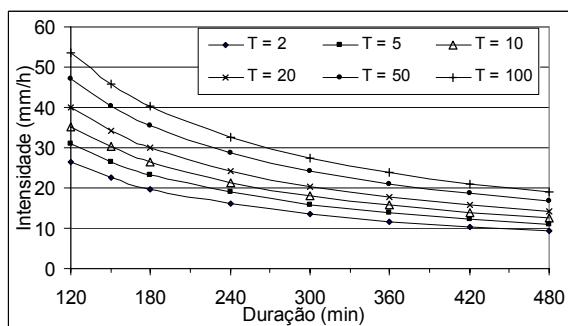


Figura 3. Relação IDF de Chapecó, Estado de Santa Catarina, para chuvas de duração entre 480 e 1440 minutos.

Na Tabela 4, estão indicados os quadrados dos desvios entre os valores de intensidade pluviométrica estimados pela distribuição de probabilidade adotada, os valores estimados pelas equações ajustadas, bem como o erro padrão de estimativa para cada período de retorno e o coeficiente R^2 . Eles demonstram a boa qualidade obtida no ajuste das equações.

Tabela 4. Quadrados dos desvios entre a precipitação estimada pela distribuição de probabilidade e a precipitação estimada pela

equação ajustada.

Duração (min)	Período de Retorno (anos)						
	2	5	10	20	25	50	100
37,1	8,7	25,2	18,9	12,9	0,2	50,1	37,1
71,7	0,6	1,4	0,9	0,2	6,3	57,2	71,7
21,7	7,4	24,7	28,5	25,9	10,1	0,3	21,7
15,0	5,3	16,7	18,0	15,8	4,7	1,5	15,0
12,7	3,0	10,4	10,5	8,8	1,5	3,5	12,7
13,8	1,3	6,3	6,5	5,4	0,6	4,0	13,8
19,6	0,0	2,2	2,6	2,0	0,0	5,7	19,6
20,0	0,1	0,7	0,8	0,5	0,3	8,4	20,0
21,6	0,5	0,2	0,2	0,1	0,7	8,8	21,6
22,3	1,1	0,0	0,0	0,0	1,2	9,5	22,3
21,7	1,7	0,1	0,1	0,3	2,5	12,4	21,7
22,9	2,7	0,6	0,6	0,8	3,8	14,5	22,9
19,6	2,0	0,2	0,1	0,1	1,1	6,1	19,6
13,3	0,3	0,3	0,9	0,9	0,3	0,2	13,3
6,9	0,9	6,4	11,8	13,0	14,3	11,4	6,9
5,3	1,8	8,9	16,4	18,3	21,7	20,3	5,3
4,6	1,5	2,6	2,7	2,6	2,1	3,7	4,6
R^2	0,9987	0,9986	0,9985	0,9984	0,9983	0,9982	0,9980
150	5,3	0,1	1,1	1,4	1,3	0,2	0,8
180	3,4	0,1	1,0	1,2	1,0	0,1	0,7
240	2,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,4	3,1
300	1,4	0,0	0,3	0,3	0,2	0,0	0,9
360	0,9	0,1	0,3	0,4	0,3	0,0	0,4
420	0,6	0,1	0,3	0,3	0,3	0,0	0,3
480	0,4	0,1	0,3	0,3	0,3	0,0	0,2
Ep	1,42	0,25	0,70	0,75	0,69	0,34	0,96
R^2	1,0000	0,9997	0,9995	0,9994	0,9993	0,9992	0,9990
600	0,6	0,0	0,3	0,5	0,5	0,3	0,1
720	0,5	0,0	0,3	0,6	0,6	0,6	0,3
840	0,4	0,0	0,3	0,5	0,5	0,5	0,3
960	0,2	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,0
1080	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,8	2,4
1200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,8	2,3
1320	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,8	2,3
1440	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,8	2,2
Ep	0,5	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	1,1
R^2	0,9948	0,9996	0,9961	0,9932	0,9851	0,9819	0,9757

A relação entre a precipitação máxima em 24 horas e a precipitação máxima em um dia, normalmente utilizada, varia entre 1,10 e 1,14 (Bertoni e Tucci, 1993; Tomaz, 2002). Nas estações meteorológicas, a chuva de um dia é sempre medida em um horário fixo, normalmente às 9:00 horas (12:00 horas de Greenwich).

Nesta pesquisa, foram estudadas as relações entre a chuva máxima em 24 horas e a chuva de um dia contabilizada nos diferentes horas do dia (Figura 4).

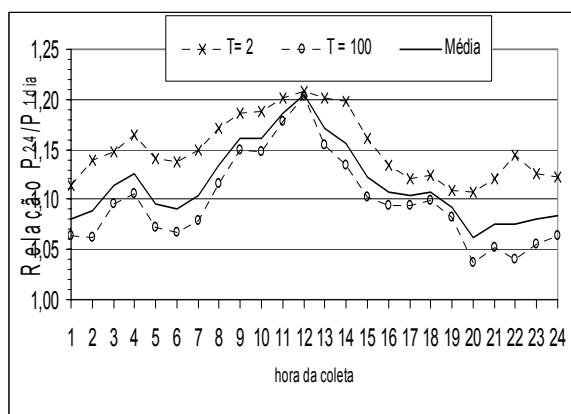


Figura 4. Variação diária da relação entre a precipitação máxima em 24 horas e a precipitação máxima de um dia.

Ocorre uma variação dessa relação conforme a hora da coleta da precipitação, observando-se que os menores valores (inferiores a 1,10) estavam nos horários de 18 às 07 horas e o valor mais alto no horário de 12 horas, sendo a relação de aproximadamente 1,21. Essa variação pode ser explicada por serem as precipitações extremas decorrentes de processos convectivos que, por sua natureza, tendem a ocorrer mais no período da tarde. Para a chuva coletada às 9 horas a relação variou entre 1,16; para período de retorno de 100 anos até 1,19; para período de retorno de dois anos, com a média de 1,16.

As relações obtidas entre precipitações de diferentes durações (Tabela 5) apresentam-se muito próximas àquelas recomendadas pela Cetesb (1986), indicando que a utilização dessas relações para a região oeste catarinense pode ser adequada na ausência de dados locais de pluviógrafos, diferente das observações feitas para Florianópolis, Estado de Santa Catarina, (Back, 2000).

Tabela 5. Relações entre precipitações de diferentes durações.

relações entre durações	T – Período de retorno (anos)						Cetesb Méd.
	2	5	10	20	25	50	
5min/30min	0,36	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
10min/30min	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,54
15min/30min	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,70
20min/30min	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,81
25min/30min	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,92	0,92
30min/1 h	0,81	0,80	0,80	0,79	0,79	0,79	0,80
35min/1 h	0,85	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
40min/1 h	0,89	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
45min/1 h	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
50min/1 h	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
55min/1 h	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
1 h/24 h	0,37	0,38	0,40	0,40	0,43	0,44	0,45
1,5 h/24 h	0,39	0,41	0,43	0,44	0,46	0,48	0,50
2 h/24 h	0,42	0,44	0,47	0,48	0,51	0,52	0,55
							0,48

2,5h/24 h	0,45	0,49	0,52	0,54	0,57	0,59	0,62	0,54
3 h/24 h	0,48	0,52	0,55	0,57	0,61	0,63	0,66	0,57
4 h/24 h	0,51	0,56	0,59	0,62	0,65	0,68	0,71	0,62
5 h/24 h	0,54	0,59	0,63	0,65	0,69	0,71	0,75	0,65
6 h/24 h	0,58	0,63	0,66	0,68	0,72	0,74	0,78	0,69
7 h/24 h	0,62	0,67	0,71	0,73	0,77	0,80	0,84	0,74
8 h/24 h	0,65	0,70	0,74	0,77	0,81	0,84	0,88	0,77
10 h/24 h	0,68	0,73	0,77	0,80	0,84	0,87	0,91	0,80
12 h/24 h	0,70	0,75	0,80	0,83	0,87	0,90	0,94	0,83
14 h/24 h	0,76	0,82	0,87	0,90	0,95	0,98	1,03	0,90
16 h/24 h	0,79	0,86	0,91	0,95	1,00	1,04	1,10	0,95
18 h/24 h	0,81	0,89	0,94	0,98	1,04	1,08	1,14	0,98
20 h/24 h	0,85	0,91	0,96	1,00	1,05	1,09	1,14	1,00
22 h/24 h	0,91	0,92	0,93	0,95	0,95	0,96	0,97	0,94
24 h/1 dia	1,19	1,17	1,16	1,16	1,15	1,15	1,16	1,14

Conclusão

Este trabalho permitiu chegar às seguintes conclusões para os dados de precipitação intensa de Chapecó:

- A distribuição de Gumbel forneceu melhor estimativa dos valores de chuvas intensas para durações inferiores a 18 horas;

- As equações de chuvas intensas ajustadas fornecem estimativas de valores muito próximos dos valores observados;

- A relação entre a chuva máxima em 24 horas e a chuva de um dia depende do horário da coleta da chuva diária, observando-se os maiores valores para as 12 horas;

- Para a chuva coletada às nove horas, a relação entre a chuva máxima em 24 horas e a chuva máxima de um dia é de 1,16.

- As relações entre chuvas de diferentes durações para Chapecó estão muito próximas daquelas estimativas recomendadas na literatura.

Referências

- ARON, G. et al. Regional rainfall intensity duration-frequency curves for Pennsylvania. *Water. Resour. Bull.*, Urbana, v. 23, p. 479-85, 1987.
- BACK, A.J. Relações Intensidade-Duração-Freqüência de chuvas intensas de Florianópolis, SC. *Eng. San. Amb.*, Rio de Janeiro, v. 5, n. 3, p. 126-133, 2000.
- BACK, A.J. Seleção de distribuição de probabilidades para chuvas diárias extremas do Estado de Santa Catarina. *Rev. Bras. Meteorol.*, Rio de Janeiro, v. 16, n. 2, p. 211-222, 2001.
- BACK, A.J. *Chuvas intensas e chuva de projeto de drenagem superficial de no Estado de Santa Catarina*. Florianópolis: Epagri, 2002.
- BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E. Precipitação. In: TUCCI, C.E. (Ed.). *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1993. cap. 5, p. 177-241.
- CETESB. *Drenagem urbana – manual de projeto*. 3. ed. São Paulo, 1986.
- CHOW, V. *Handbook of applied hydrology*. New York: McGraw-Hill, 1964.

- CLARKE, R.T. Fitting distributions In: CLARKE, R.T. (Ed.). *Statistical modelling in hydrology*. Chichester: John Wiley & Sons. 1994. p. 39-84.
- CRUCIANI, D.E. *A drenagem na agricultura*. São Paulo: Nobel, 1980.
- ELTZ, F.L. *et al.* Período de retorno de chuvas em Santa Maria, RS. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 16, p. 265-269, 1992.
- KITE, G.W. *Frequency and risk analyses in hydrology*. Colorado: Water Resources publications, 1978.
- KOBERG, D.; EGGLERS, H. Some aspect for the selections of an adequate probability distribution for flood analysis. International Symp. *River Mech. Proc. IAHR*. Bangkok, v. 2, p. 229-239, 1973.
- OSBORN, H.B. *et al.* Rainfall watershed relationships for southwestern thunderstorms. *Trans. ASAE*, St Joseph, v. 23, p. 82-87, 1980.
- PINTO, F.A. *Chuvas intensas no Estado de Minas Gerais: análises e modelos..* 1995. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.
- SEVRUK, B.; GEIGER, H. *Selection of distribution types for extremes of precipitation*. Geneva: World Meteorological Organization Report, n. 15, 1981. 65p.
- TOMAZ, P. *Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais*. São Paulo: Navegar Editora. 2002.

Received on November 29, 2004.

Accepted on August 11, 2006.