

IX-001 – ESTIMATIVAS DE CHUVAS EXTREMAS DE LONGA DURAÇÃO PARA SAUDADES, SC

Álvaro José Back⁽¹⁾

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Doutor em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Professor do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), Pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI).

Bruno de Pelegrin Coan

Engenheiro Ambiental pela Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Mestrando em Ciências pela UNESC

Juliano Possamai Della

Engenheiro Civil pela Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Mestre em Ciências Ambientais pela UNESC.

Morgana Levati Valvassori

Engenheira Ambiental pela Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Mestre em Ciências pela UNESC.

Endereço⁽¹⁾: Rod. SC 446, km 16 – Bairro da Estação - Urussanga - SC - CEP: 88840-000 - Brasil - Tel: (48) 3651209 - e-mail: ajb@epagri.sc.gov.br

RESUMO

Para os projetos de drenagem superficial normalmente são utilizados valores de chuva com duração diária ou inferior. No entanto, as grandes enchentes que ocorrem em Santa Catarina são devido a chuvas de longa duração, que pode chegar a vários dias. Para estas chuvas existem poucos trabalhos sobre as frequências de eventos extremos. Este trabalho tem como objetivo determinar as frequências de chuvas intensas de grande duração, bem como avaliar a distribuição sazonal das chuvas intensas da região de Saudades, SC.

Foram utilizados os dados diários de precipitação do período de 1955 a 2012, da estação pluviométrica da Agência Nacional de Águas (ANA), localizada no município de Saudades, SC. Foram determinadas as séries de precipitações máximas anuais com duração de um a dez dias. Com os valores da média, desvio padrão e número de dados foram estimados os parâmetros da distribuição de Gumbel-Chow. Para avaliar a aderência das séries de máximas anuais a distribuição de probabilidade ajustada foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov. Foram determinadas as precipitações máximas com período de retorno de 2 a 100 anos e duração de um a dez dias. Também foi verificado o mês de ocorrência dos eventos extremos das séries de máximas anuais com duração de um a dez dias. Para avaliar a hipótese de que as ocorrências de eventos extremos se distribuem igualmente ao longo do ano foi aplicado o teste Qui-Quadrado ao nível de significância de 5 %.

Com os resultados obtidos neste estudo pode-se constatar que a distribuição de Gumbel se ajusta bem às séries de máximas anuais com durações de um a dez dias para a estação de Saudades. Também foi constatado os eventos extremos de precipitação de longa duração ocorrem distribuídos ao longo do ano. Com as distribuições de probabilidade ajustadas pode-se estimar a chuva com durações de um a dez dias para dimensionar os projetos de estruturas hidráulicas na região de Saudades, SC.

PALAVRAS-CHAVE: Precipitação, Chuvas máximas, Distribuição de Gumbel, Hidrologia.

INTRODUÇÃO

O clima do estado de Santa Catarina, classificado como mesotérmico úmido, é caracterizado pelo excesso hídrico. As chuvas são o elemento climático que apresenta a maior variação, sendo comum a ocorrência de chuvas intensas trazendo transtornos tanto em áreas urbanas como na zona rural. Para contornar esses problemas são construídas obras de engenharia como bueiros, bocas de lobo, canais de macro drenagem, barragens, terraços e outras, com o objetivo de coletar e conduzir a vazão de escoamento superficial causada

pelas chuvas intensas. No dimensionamento de tais obras necessita-se conhecer a chuva de projeto, caracterizada por sua intensidade, duração, frequência, e sua variação no tempo e no espaço.

O dimensionamento das obras de drenagem superficial é feito adotando como chuva de projeto as chuvas que ocorrem com frequência média relativamente baixas, variando normalmente entre valores de chuvas que ocorrem com frequência de uma vez a cada 5 anos até valores pouco frequentes como uma vez a cada 100 anos.

O procedimento normalmente adotado na estimativa da chuva de projeto consiste em ajustar uma distribuição teórica aos dados observados e, com base nesta distribuição, extrapolar os valores de precipitação extrema, associada a uma dada probabilidade. Existem diversas teorias de probabilidade empregadas para análise de chuvas extremas, sendo as mais utilizadas 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). Neste sentido existem vários trabalhos indicando as distribuições teóricas apropriadas (Kite, 1978; Clarke, 1994).

Back (2001) usou o teste de Kolmogorov-Smirnov para avaliar a aderência das séries de chuvas máximas diárias de cem estações pluviométricas de Santa Catarina à diferentes distribuições de probabilidade. Com os resultados obtidos concluiu que a distribuição de Gumbel-Chow apresentou o melhor ajuste em 60 % das estações analisadas e em 93% das estações com menos de 20 anos de dados. Para as séries com baixa assimetria e curtose a distribuição Log-Normal com três parâmetros apresentou o melhor ajuste, enquanto que para séries com alta assimetria e curtose, a distribuição Log-Pearson, seguida da distribuição Log-Normal com dois parâmetros, foi as que forneceram o melhor ajuste.

Oliveira et. al (2011), ajustou a distribuição de precipitações diárias de 136 estações pluviométricas do estado de Mato Grosso, por meio da distribuição de Gumbel, com o método dos momentos para estimação dos parâmetros da função. A aderência foi feita usando o teste Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 1%. Para todas as estações a distribuição de Gumbel pelo método dos momentos se mostrou adequada à distribuição empírica.

Freire e Beijo (2010) avaliaram os métodos de estimação quanto ao ajuste da distribuição Gumbel e na estimação da precipitação pluvial diária máxima provável, para diferentes tempos de retorno, para o município de Piracicaba no estado de São Paulo. Usaram o teste de Kolmogorov-Smirnov como teste de aderência e concluíram que o método da máxima verossimilhança forneceu estimativas de parâmetros mais precisos e menos tendenciosos.

Mello e Silva (2005) tendo como objetivo estudar os efeitos que os métodos dos momentos e da máxima verossimilhança na distribuição Gumbel ocasionam na estimativa das equações IDF, e empregando como teste de aderência o teste de Qui-Quadrado, concluíram que a metodologia da máxima verossimilhança produz o melhor ajuste para a distribuição Gumbel, quando comparada ao método dos momentos.

Para os projetos de drenagem superficial normalmente são utilizados valores de chuva com duração diária ou inferior. Assim quando existem dados de pluviógrafos podem-se determinar as séries de máximas anuais para precipitação de curta duração, geralmente de 5 minutos a 120 minutos de duração. No entanto, as grandes enchentes que ocorrem em Santa Catarina são devido a chuvas de longa duração, que pode chegar a vários dias. Para estas chuvas existem poucos trabalhos sobre as frequências de eventos extremos.

Este trabalho tem como objetivo determinar as frequências de chuvas intensas de grande duração, bem como avaliar a distribuição sazonal das chuvas intensas da região de Saudades, SC.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados os dados diários de precipitação do período de 1955 a 2012, da estação pluviométrica da Agência Nacional de Águas (ANA), com código 02653007 e coordenadas latitude 26°55'36"S e longitude 53°00'28"W, altitude 835 metros, localizada no município de Saudades, SC.

Foram determinadas as séries de precipitações máximas anuais com duração de um a dez dias. Com os valores da média, desvio padrão e número de dados foram estimados os parâmetros da distribuição de Gumbel-Chow, como:

$$\alpha = \frac{Sn}{S} \quad \text{equação (1)}$$

$$\beta = \bar{x} - \frac{Yn}{\alpha} \quad \text{equação (2)}$$

Em que: \bar{x} = média dos valores observados de X;

S = desvio padrão dos valores observados de X;

Yn , Sn são, respectivamente, a média e o desvio padrão da variável reduzida Y, tabelados em função do número de valores da série de dados (Back, 2013).

A chuva máxima com período de retorno de T anos foi estimada por:

$$X_T = \beta + \frac{Y}{\alpha} \quad \text{equação (3)}$$

A variável reduzida Y é estimada por:

$$Y = -\ln \left\{ -\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right\} \quad \text{equação (4)}$$

Para avaliar a aderência das séries de máximas anuais a distribuição de probabilidade ajustada foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov (Kite, 1978), que consiste em determinar os valores de diferença máxima (Dmax) observada entre a frequência (F(x)) empírica e a frequência teórica.

Também foi verificado o mês de ocorrência dos eventos extremos das séries de máximas anuais com duração de um a dez dias. Para avaliar a hipótese de que as ocorrências de eventos extremos se distribuem igualmente ao longo do ano foi aplicado o teste Qui-Quadrado (Kite, 1978) ao nível de significância de 5 %.

RESULTADOS

Para a série de máximas com duração de um dia (Tabela 1), obteve-se a média de 100,1 mm, com desvio padrão de 29,27 mm. O maior valor observado na série de um dia de duração foi de 196,2 mm, e para o período de dez dias de duração o maior valor observado foi de 434,1 mm. O coeficiente de assimetria variou de 1,16 para a série com 3 dias até 1,84 para a série com duração de seis dias. Segundo Kite (1978), o coeficiente de assimetria para a distribuição de Gumbel é de 1,1396 e dessa forma é esperado um melhor ajuste da distribuição para as séries anuais que apresentem coeficiente de assimetria próximo desse valor. Back (2001) encontrou séries de máximas anuais de precipitação diária com coeficiente de assimetria superior a 3,0, e ainda assim a distribuição de Gumbel se mostrou adequada. Analisando dados de precipitação máxima do município de Garuva, localizado no Litoral Norte de Santa Catarina, Back et al. (2013) observaram valores bem superiores de precipitação. Para a série de máximas com duração de 10 dias a média observada foi de 354,9 mm com desvio padrão de 105,2 mm e maior valor de 648,1 mm.

Na Tabela 2 constam os parâmetros da distribuição de Gumbel ajustada para cada duração e o respectivo valor de Dmax do teste de Kolmogorov-Smirnov. Observa-se que a maior diferença entre as frequências observadas e frequências teóricas foi observado na série com duração de um dia, com Dmax de 0,1214, no entanto, esse valor é inferior ao valor crítico de 0,1783 para o nível de significância de 5%. Esses dados mostram que a distribuição de Gumbel se ajusta muito bem às séries de chuvas máximas anuais. Nas Figuras 1 a 3 podem ser visualizadas as aderências das distribuições ajustadas aos dados observados.

Os resultados obtidos concordam com trabalhos de Back (2001), Mello e Silva (2005), Freire e Beijo (2010) e Oliveira et al. (2011) que também concluíram que a distribuição de Gumbel se mostrou adequada para estimativas de chuvas máximas diárias. 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.

Tabela 1: Estatísticas descritivas as séries de máximas anuais de 1955 a 2012, com duração de um a dez dias da estação Saudades, SC.

Duração (dias)	Estatísticas observadas				
	Maior valor (mm)	Menor valor (mm)	Média (mm)	Desvio padrão (mm)	Coefficiente de assimetria
1	196,2	55,8	100,1	29,27	1,75
2	286,5	55,8	130,5	42,15	1,51
3	310,2	78,3	149,2	46,45	1,16
4	322,8	85,8	162,4	49,94	1,39
5	348,1	87,4	174,6	56,86	1,35
6	426,1	110,4	187,7	63,38	1,84
7	434,1	110,4	196,2	63,66	1,78
8	434,1	120,7	204,6	63,09	1,69
9	434,1	127,8	216,5	65,66	1,54
10	434,1	127,8	225,2	67,37	1,38

Tabela 3: Parâmetros da distribuição de Gumbel ajustada às séries de máximas anuais com duração de um a dez dias da estação Saudades, SC.

Duração (dias)	Parâmetros da distribuição de Gumbel		Teste de Kolmogorov-Smirnov
	α	β	Dmax
1	0,0400	86,33	0,1214
2	0,0278	110,66	0,0965
3	0,0252	127,30	0,0782
4	0,0235	138,90	0,1019
5	0,0206	147,82	0,0652
6	0,0185	157,91	0,1003
7	0,0184	166,23	0,1023
8	0,0186	174,95	0,1094
9	0,0179	185,56	0,0802
10	0,0174	193,54	0,0828

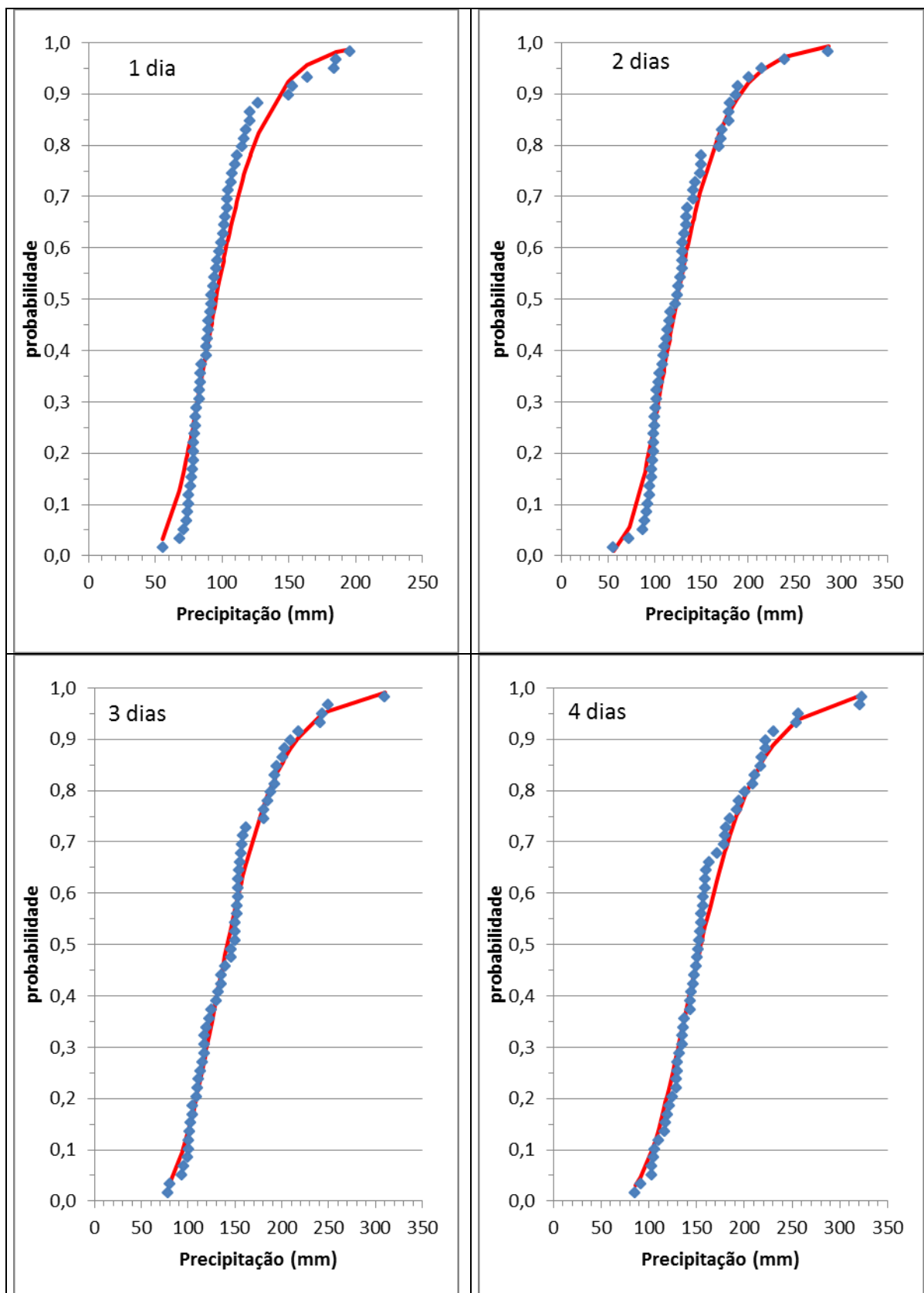


Figura 1: Aderência da distribuição de Gumbel aos dados de chuva máxima com duração de 1 a 4 dias. Os diamantes de cor azul (♦) representam as frequências observadas e a linha de cor vermelha representa a frequência estimada pela distribuição de Gumbel.

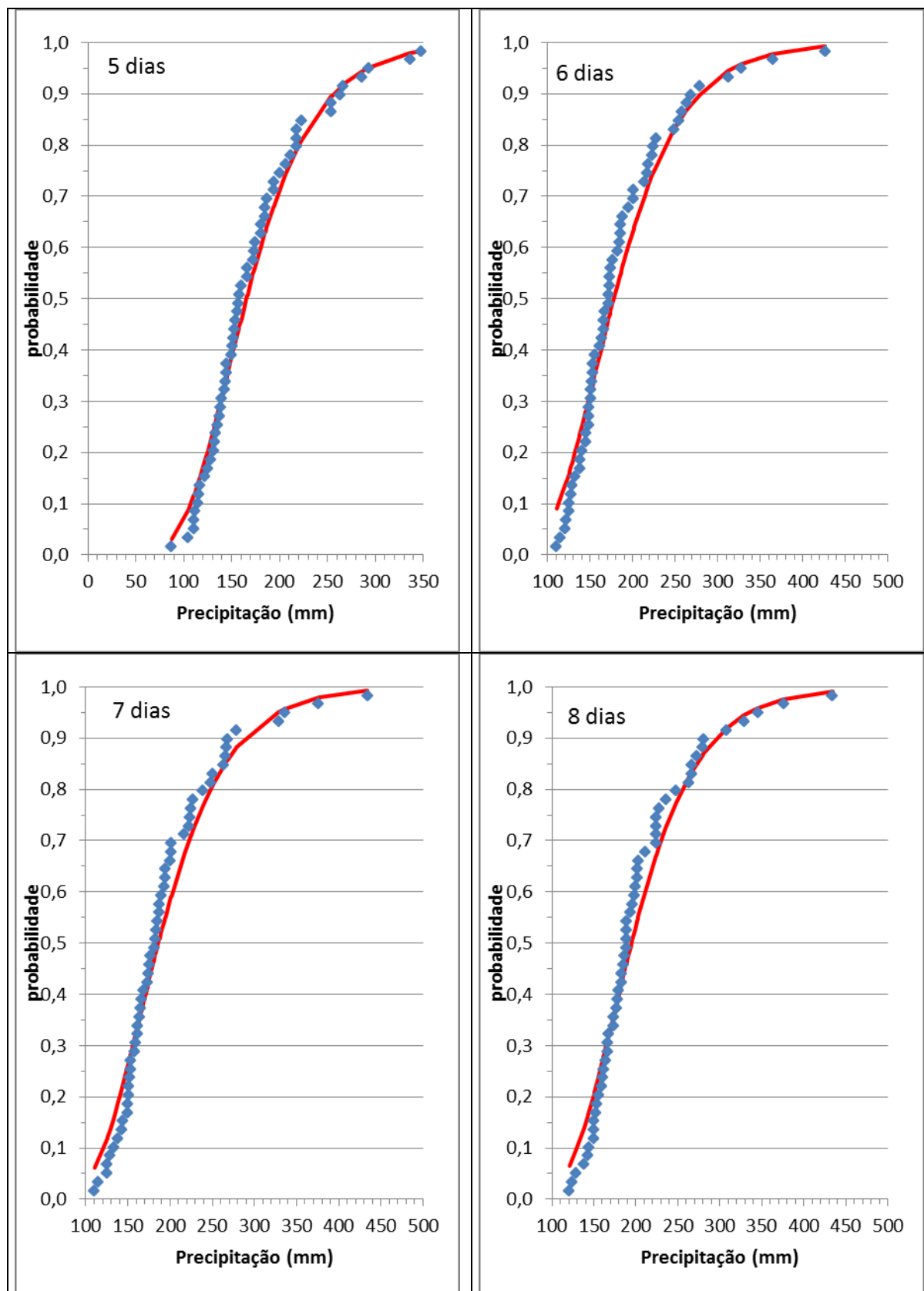


Figura 2: Aderência da distribuição de Gumbel aos dados de chuva máxima com duração de 5 a 8 dias. Os diamantes de cor azul (♦) representam as frequências observadas e a linha de cor vermelha representa a frequência estimada pela distribuição de Gumbel.

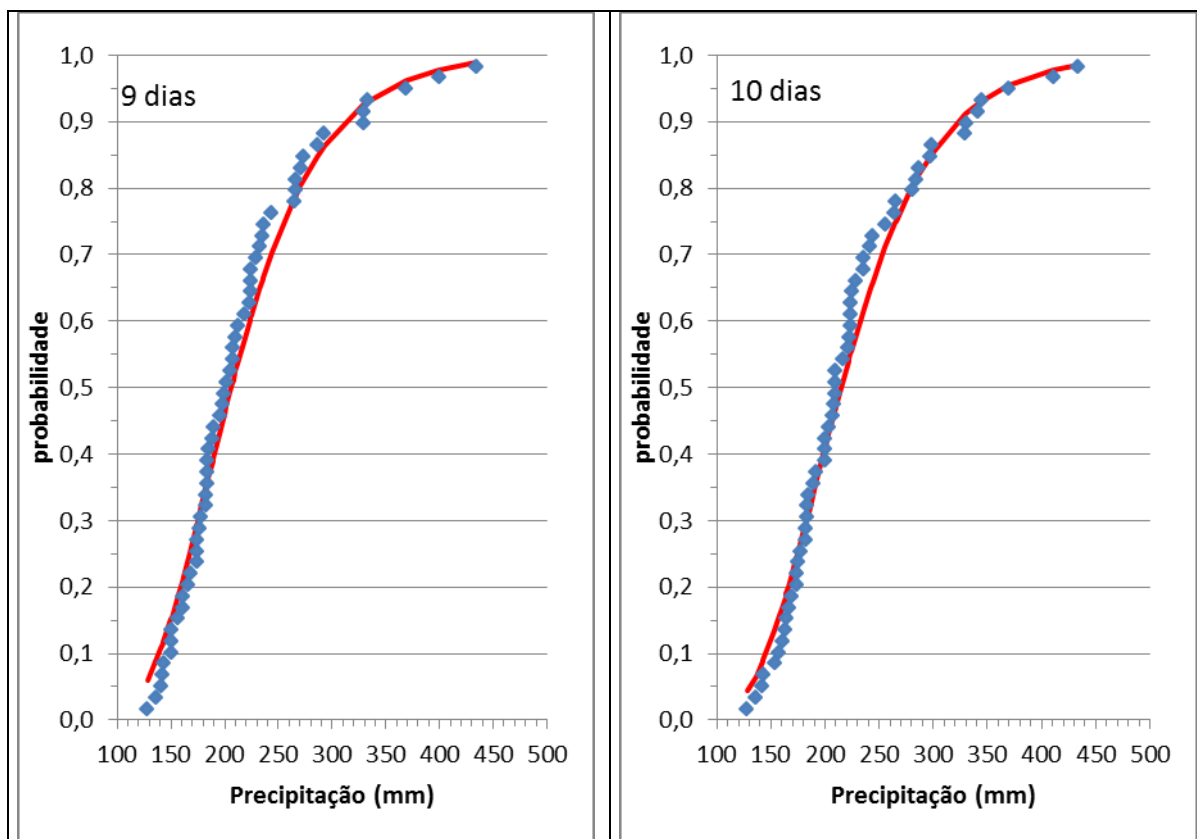


Figura 3: Aderência da distribuição de Gumbel aos dados de chuva máxima com duração de 9e 10 dias. Os diamantes de cor azul (♦) representam as frequências observadas e a linha de cor vermelha representa a frequência estimada pela distribuição de Gumbel.

Com os parâmetros da distribuição de Gumbel (Tabela 1) pode-se estimar a precipitação máxima para valores de período de retorno diferentes dos que constam na Tabela 2. Esses valores podem ser usados no dimensionamento de estruturas de drenagem. Por exemplo, para o dimensionamento de bueiros em rodovias recomenda-se a chuva máxima de duração de um dia e período de retorno de 50 anos, que no caso de Saudades é de 183,8 mm.

Tabela 2: Precipitação máxima estimada (mm) para a estação Saudades.

Duração (dias)	Período de retorno (anos)							
	2	5	10	15	20	25	50	100
1	95,5	123,8	142,5	153,1	160,5	166,2	183,8	201,2
2	123,8	164,6	191,6	206,8	217,5	225,7	251,0	276,1
3	141,8	186,7	216,5	233,3	245,0	254,1	281,9	309,6
4	154,5	202,8	234,8	252,8	265,4	275,2	305,1	334,9
5	165,6	220,6	257,0	277,5	291,9	303,0	337,1	371,0
6	177,7	239,0	279,6	302,5	318,5	330,9	368,9	406,6
7	186,1	247,7	288,4	311,4	327,5	339,9	378,1	416,1
8	194,7	255,7	296,1	318,9	334,8	347,1	385,0	422,5
9	206,1	269,6	311,6	335,3	351,9	364,7	404,1	443,2
10	214,6	279,7	322,9	347,2	364,2	377,4	417,8	457,9

Na Tabela 3 constam as frequências de ocorrências das chuvas máximas anuais em cada mês do ano. Para a série chuvas máximas com duração de um dia, observou-se que nos 58 anos de observação, três vezes a chuva máxima ocorreu em Janeiro, seis vezes em Fevereiro. O mês com maior frequência foi outubro, com nove ocorrências. Os valores de p do teste Qui-quadrado mostram que não há diferenças significativas de ocorrências de eventos extremos ao longo do ano para todas as séries estudadas ($p > 0,05$). Assim constata-se que a ocorrência de eventos extremos de precipitação de longa duração pode se dar em qualquer época do ano. Resultados diferentes foram obtidos por Back et al. (2013) para os dados de precipitação de Garuva, SC, onde os autores observaram diferenças significativas nas frequências dos eventos extremos, com predomínio de ocorrência de eventos extremos nos meses de janeiro a março.

Tabela 3. Frequência de ocorrência de eventos extremos nos diferentes meses do ano para estação Saudades, SC observados no do período de 1955 a 2012.

Mês	Duração da série (dias)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Janeiro	3	4	7	5	4	4	5	4	4	3
Fevereiro	6	4	6	4	4	5	5	6	6	5
Março	4	4	3	4	4	3	2	1	1	0
Abril	7	9	9	9	8	10	7	7	6	5
Maio	2	5	2	1	2	3	2	4	5	6
Junho	7	5	4	6	6	6	7	6	6	6
Julho	4	5	6	5	4	3	3	3	3	2
Agosto	3	6	6	6	4	7	6	6	5	5
Setembro	4	4	5	6	8	5	6	8	8	9
Outubro	9	5	2	4	6	4	8	6	7	9
Novembro	5	4	5	5	5	5	4	3	4	5
Dezembro	4	3	3	3	3	3	3	4	3	3
total	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
χ^2	9,45	5,31	10,28	8,62	7,79	9,86	9,45	9,03	8,62	15,66
p	0,5806	0,9152	0,5058	0,6569	0,7317	0,5428	0,5806	0,6187	0,6569	0,1544

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A distribuição de Gumbel se ajusta bem às séries de máximas anuais com durações de um a dez dias para a estação de Saudades, SC.

Os eventos extremos de precipitação de longa duração ocorrem distribuídos ao longo do ano.

Com as distribuições de probabilidade ajustadas pode-se estimar a chuva com durações de um a dez dias para dimensionar os projetos de estruturas hidráulicas na região de Saudades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BACK, A.J. Chuvas intensas e chuva para dimensionamento de estruturas de drenagem superficial para o Estado de Santa Catarina. Florianópolis. Epagri. 2013. 197p.
2. BACK, A.J. Seleção de distribuição de probabilidades para chuvas diárias extremas do Estado de Santa Catarina. Revista Brasileira de Meteorologia, v.16, n.2, 211-222, 2001.



3. BACK, A.J.; OLIVEIRA, J.L.R.; HENN, A.; COAN, B.P.; DELLA, J.P. Estimativas de chuvas intensas de longa duração para Garuva-SC. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental., 26, Goiânia. ABES, 2013.
4. CLARKE, R.T. Fitting distributions In: CLARKE, R. T. Statistical modelling in Hydrology. Chichester: John Wiley & Sons. 1994. p.39-84.
5. CRUCIANI, D.E.A drenagem na agricultura. São Paulo, Nobel, 1980. 333p.
6. FREIRE, F.R; BEIJO, L.A; Análise dos métodos de estimação para os parâmetros da distribuição Gumbel na precipitação de chuvas máximas para a cidade de Piracicaba-SP. XIX Congresso de pós-graduação da UFLA, 2010.
7. KITE, G.W. Frequency and risk analyses in Hydrology. Water Resources publications. Colorado. 1978. 224 p.
8. MELLO, C.R; SILVA, A.M. Métodos estimadores dos parâmetros da distribuição de Gumbel e sua influência em estudos hidrológicos de projeto. Irriga, Botucatu, v. 10, n. 4, p. 318-334, novembro-dezembro, 2005.
9. 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.