



## IX-002 – AJUSTE DAS EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS PARA SAUDADES, SC

**Álvaro José Back<sup>(1)</sup>**

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).

**Ana Paula Nola Denski**

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

**Sérgio Luciano Galatto**

Engenheiro Ambiental pela Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Mestre em Ciências Ambientais pela UNESC. Professor de Climatologia do Curso de Engenharia Ambiental da UNESC

**Bruno de Pelegrin Coan**

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

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

### RESUMO

No dimensionamento de obras de drenagem superficial é necessário conhecer as relações envolvendo a Intensidade-Duração-Frequência (IDF) da chuva a ser utilizada no projeto. As relações IDF são obtidas por meio de análises de estatística de longas séries de dados observados em pluviógrafos. No Brasil existe relativa facilidade de obter dados de chuva de duração diária. Porém dados de chuvas de menor duração, devido à escassez de equipamentos registradores, dificilmente estão disponíveis, e, quando existem, são de séries relativamente curtas e apresentam muitas falhas nos registros de dados.

As relações IDF podem ser obtidas por meio da análise das séries históricas e posterior ajuste das equações conhecidas como equação IDF. Nos locais onde não se dispõem de pluviógrafos, 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 estima-se a chuva para uma duração inferior.

Este trabalho teve como objetivo ajustar as equações IDF e as equações de modelo Bell (1969) para estimativa de chuvas intensas para a 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 máximas anuais de chuva diária. Com base na distribuição de probabilidades de Gumbel-Chow (Back, 2013) foi estimada a chuva máxima diária para diferentes períodos de retorno. A aderência da série de máximas anuais à distribuição de Gumbel-Chow foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 5 % (Kite, 1998). A partir da chuva máxima diária foram estimadas as chuvas com duração de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 120, 180, 240, 360, 480, 720 e 1440 minutos utilizando as relações entre precipitações de diferentes durações estabelecidas pela Cetesb (2006).

Com os resultados obtidos neste estudo pode-se constatar que a distribuição de Gumbel se ajusta bem às séries de máximas anuais com duração de um dia para Saudades. Foram estimadas duas equações IDF e as equações do modelo de Bell que permitem obter as estimativas de chuvas intensas com duração de 5 minutos a 1440 minutos e período de retorno de 2 a 100 ano

**PALAVRAS-CHAVE:** Precipitação, Chuvas intensas, Relações IDF, Drenagem, Hidrologia.

## INTRODUÇÃO

A precipitação pluviométrica é um dos elementos do clima que apresenta alta variabilidade temporal e espacial, e sua ocorrência em excesso ou em déficit geralmente causa prejuízos à produção agrícola bem como transtornos à população em geral. O conhecimento das características da precipitação e sua relação no ciclo hidrológico são de suma importância para estudos estratégicos associados ao planejamento do meio ambiente, geração de energia e manejo da agricultura, especialmente em condições tropicais.

Em hidrologia interessa não só o conhecimento das máximas precipitações nas séries históricas, mas principalmente, prever com base nos dados observados, quais as máximas precipitações que possam a vir ocorrer com uma determinada frequência. Para o dimensionamento de obras de drenagem superficial é necessário conhecer as relações envolvendo a Intensidade-Duração-Frequência (IDF) da chuva a ser utilizada no projeto. As relações IDF são obtidas por meio de análises de estatística de longas séries de dados observados em pluviógrafos.

No Brasil existe relativa facilidade de obter dados de chuva de duração diária. Porém dados de chuvas de menor duração, devido à escassez de equipamentos registradores, dificilmente estão disponíveis, e, quando existem, são de séries relativamente curtas e apresentam muitas falhas nos registros de dados. Vários autores como Assad et al. (1992), Wadt (2003), Ferreira (2005), Lima et al. (2005), Oliveira et al. (2008) e Back (2009) relatam a dificuldade em obter longas séries de dados de precipitação, principalmente de registros pluviográficos. Cecílio e Pruski (2003) destacam ainda que a metodologia para determinar as relações IDF de chuvas exige exaustivo trabalho para tabulação, análise e interpretação de uma grande quantidade de pluviogramas.

Segundo Bazzano et al. (2010) eficientes dimensionamentos de obras hidráulicas urbanas e terraços agrícolas podem se realizar quando são considerados aspectos de risco e frequência de chuva, que podem ser expressas por meio das relações de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) de chuvas. Nesse sentido se procura ajustar, para os locais com registros pluviográficos, as equações de chuvas intensas, também chamadas equações IDF, destacando-se os trabalhos de Fendrich (1998), Costa e Brito (1999), Oliveira et al. (2000), Silva et al. (2002) e Soprani e Reis (2007).

As relações IDF podem ser obtidas por meio da análise das séries históricas e posterior ajuste das equações conhecidas como equação IDF. Nos locais onde não se dispõem de pluviógrafos, 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 estima-se a chuva para uma duração inferior.

Bell (1969) estabeleceu relações empíricas entre precipitações com diferentes durações baseadas em dados de séries parciais de chuva observada nos EUA, Austrália, URSS, Porto Rico, Alasca, África do Sul e Havai apresentou a equação:

$$P_T^I = (0,21Ln(T) + 0,52)(0,54t^{0,25} - 0,5)P_{10}^{60} \quad \text{equação (1)}$$

O trabalho de Bell é bastante clássico dentro deste tema, mas apresenta limitações, entre elas o fato de que suas equações foram obtidas a partir de dados de chuva de diversas partes do mundo sendo, portanto, seus resultados, são em função de valores médios e não específicos para um local.

Alguns trabalhos foram realizados visando ajustar os coeficientes da equação de Bell para diferentes locais da Brasil. Uehara et al. (1980), com base em dados de 26 estações pluviográficas, apresentou a equação ajustada para o Brasil como:

$$P_T^I = (0,1824Ln(T) + 0,58)(0,497t^{0,27} - 0,5)P_{10}^{60} \quad \text{equação (2)}$$

E também a equação válida para o Estado de São Paulo como:

$$P_T^I = (0,22Ln(T) + 0,50)(0,38t^{0,31} - 0,39)P_{10}^{60} \quad \text{equação (3)}$$

Essas equações têm como limitação o fato de serem baseadas em dados antigos. Segundo Genovez e Zuffo (2000), os métodos que se baseiam nas relações entre chuvas intensas de diferentes durações tem validade regional, embora os valores médios destas relações sejam muito próximos para várias partes do mundo. Para estimativas locais são convenientes que sejam estabelecidos novos coeficientes relacionados às características locais do clima.

Este trabalho teve como objetivo ajustar as equações IDF e as equações de modelo Bell (1969) para estimativa de chuvas intensas empregando-se a metodologia da desagregação da chuva de um dia para a 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:

$$\alpha = \frac{S_n}{S} \quad \text{equação (4)}$$

$$\beta = \bar{x} - \frac{Y_n}{\alpha} \quad \text{equação (5)}$$

Em que:  $\bar{x}$  é a média dos valores observados de X;

S é o desvio padrão dos valores observados de X;

$Y_n$ ,  $S_n$  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:

$$X_T = \beta + \frac{Y}{\alpha} \quad \text{equação (6)}$$

A variável reduzida Y é estimada por:

$$Y = -\ln\left\{-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right\} \quad \text{equação (7)}$$

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 (Kite, 1978).

A partir da chuva máxima diária foram estimadas as chuvas com duração de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 120, 180, 240, 360, 480, 720 e 1440 minutos utilizando as relações entre precipitações de diferentes durações estabelecidas pela Cetesb (2006).

Com base nas intensidades obtidas da desagregação de chuvas intensas foram ajustadas as equações IDF do tipo:

$$i = \frac{KT^m}{(t+b)^n} \quad \text{equação (8)}$$

em que: i é a intensidade média máxima da chuva (mm/h);

T é o período de retorno (anos);

t é a duração da chuva (minutos);

K, m, b, n parâmetros da equação determinados para cada local.

Ajustaram-se, com as alturas das chuvas estimadas, os coeficientes da equação de Bell em função da chuva máxima com período de retorno de 10 anos e duração de 1 h (60 min) ( $P_{10}^{60}$ ), com a seguinte apresentação:

$$P_T^t = (a \ln(T) + b)(ct^d - e)P_{10}^{60} \quad \text{equação (9)}$$

em que: a, b, c, d, e - coeficientes a serem ajustados;

$P_T^t$  - precipitação estimada com período de retorno T anos e duração t min;

$P_{10}^{60}$  - precipitação observada com período de retorno de 10 anos e duração de 60 min.

## RESULTADOS

Para a série de máximas com duração de um dia obteve-se a média de 100,1 mm, com desvio padrão de 29,27 mm. O valor da estatística Dmax do teste Kolmogorov-Smirnov foi de 0,1214, inferior ao valor crítico de 0,1783 para o nível de significância de 5% evidenciando a aderência à distribuição ajustada.

Na Tabela 1 constam as alturas de chuva máxima estimada a partir das séries de máximas anuais com duração de um dia, obtidas por desagregação para as durações entre 5 min e 1440 min.

**Tabela 1: Altura de chuva (mm) obtida pela desagregação da chuva máxima diária.**

t- Duração (min)	T -Período de Retorno (anos)							
	100	50	25	20	15	10	5	2
1440	229,4	209,5	189,5	183,0	174,5	162,5	141,1	108,9
720	195,0	178,1	161,1	155,5	148,4	138,1	120,0	92,5
600	188,1	171,8	155,4	150,0	143,1	133,2	115,7	89,3
480	178,9	163,4	147,8	142,7	136,1	126,7	110,1	84,9
360	165,2	150,8	136,4	131,7	125,7	117,0	101,6	78,4
300	157,1	143,5	129,8	125,3	119,6	111,3	96,7	74,6
240	147,7	134,9	122,0	117,8	112,4	104,6	90,9	70,1
180	135,3	123,6	111,8	108,0	103,0	95,9	83,3	64,2
120	120,4	110,0	99,5	96,1	91,6	85,3	74,1	57,1
60	96,3	88,0	79,6	76,8	73,3	68,2	59,3	45,7
30	71,3	65,1	58,9	56,9	54,2	50,5	43,9	33,8
25	64,9	59,3	53,6	51,8	49,4	46,0	39,9	30,8
20	57,7	52,7	47,7	46,1	43,9	40,9	35,5	27,4
15	49,9	45,6	41,2	39,8	38,0	35,3	30,7	23,7
10	38,5	35,2	31,8	30,7	29,3	27,3	23,7	18,3
5	24,2	22,1	20,0	19,3	18,4	17,2	14,9	11,5

A equação relacionando as relações IDF (Figura 1) ajustada para período de retorno de 2 a 100 anos, para duração de 5 a 120 minutos ( $5 \text{ minutos} \leq t \leq 120 \text{ minutos}$ )

$$i = \frac{851,4T^{0,173}}{(t + 8,95)^{0,700}} \quad \text{equação (10)}$$

Em que: i = intensidade da chuva ( $\text{mm.h}^{-1}$ );

T = Período de retorno (anos);

T = duração da chuva (minutos).

Para a duração de 120 a 1440 minutos ( $5 \text{ minutos} \leq t \leq 1440 \text{ minutos}$ ) foi ajustada a equação:

$$i = \frac{1420,3T^{0,173}}{(t+17,6)^{0,795}} \quad \text{equação (11)}$$

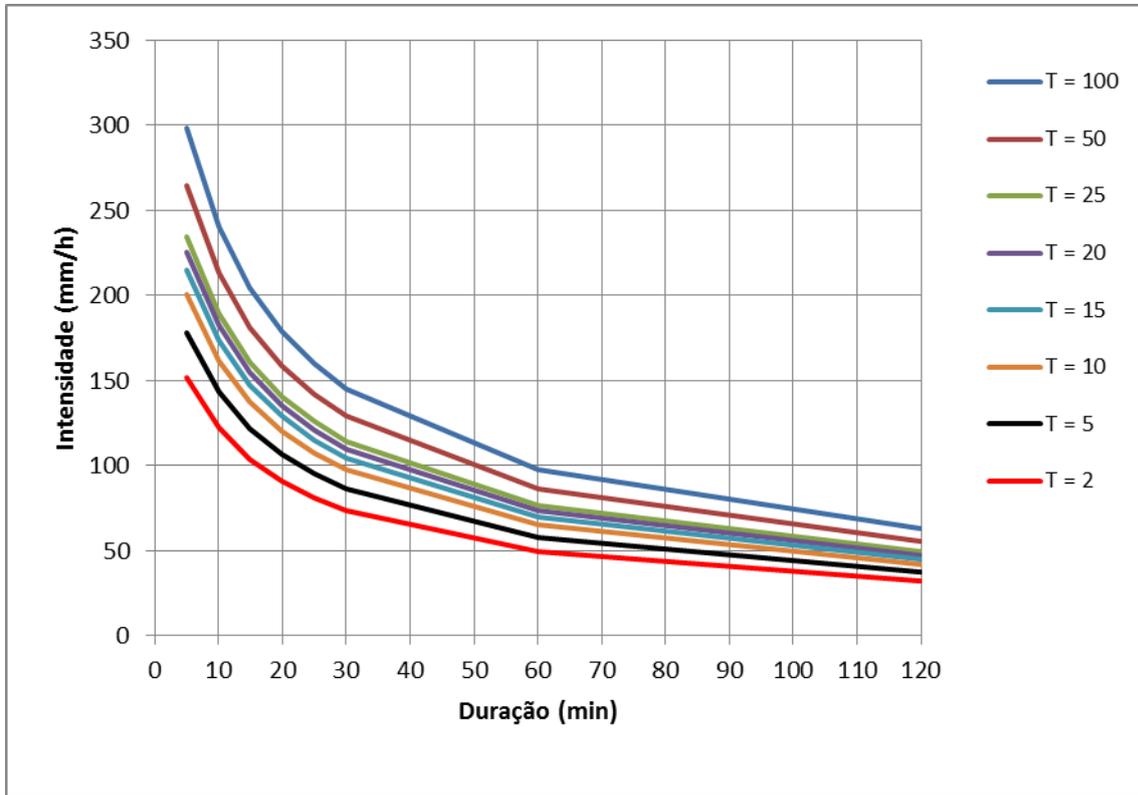


Figura 1: Relação IDF de Saudades, SC, para chuvas com duração e 5 minutos a 120 minutos.

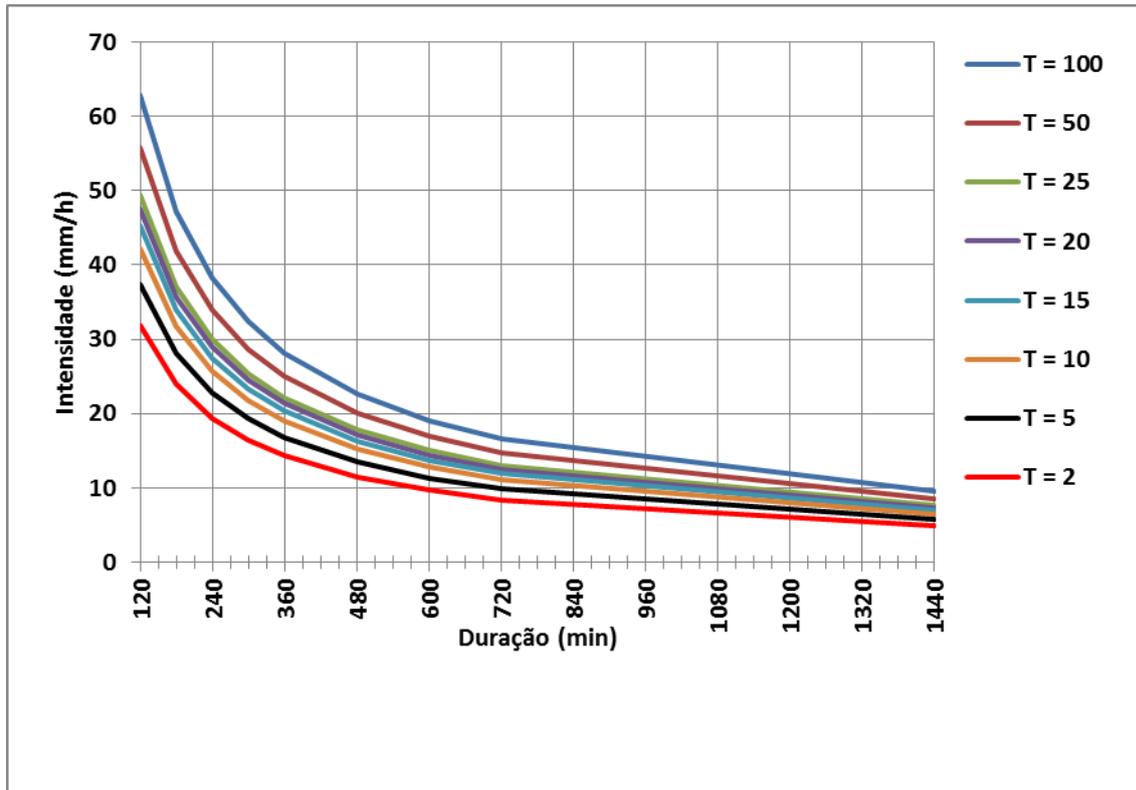


Figura 2: Relação IDF de Saudades, SC, para chuvas com duração e 120 minutos a 1440 minutos.

Na Tabela 2 constam as intensidades estimadas com as equações de chuvas intensas estimadas para Saudades, SC.

**Tabela 2: Intensidade (mm/h) da chuva estimada com as equações de chuvas intensas.**

t - Duração (min)	T - Período de retorno (anos)							
	100	50	25	20	15	10	5	2
1440	9,6	8,5	7,6	7,3	6,9	6,5	5,7	4,9
720	16,6	14,7	13,0	12,5	11,9	11,1	9,9	8,4
600	19,1	16,9	15,0	14,4	13,7	12,8	11,4	9,7
480	22,6	20,1	17,8	17,1	16,3	15,2	13,5	11,5
360	28,2	25,0	22,2	21,3	20,3	18,9	16,8	14,3
300	32,3	28,7	25,5	24,5	23,3	21,7	19,3	16,5
240	38,2	33,9	30,1	28,9	27,5	25,7	22,8	19,4
180	47,2	41,8	37,1	35,7	34,0	31,7	28,1	24,0
120	62,9	55,8	49,5	47,6	45,3	42,2	37,5	32,0
60	97,4	86,4	76,7	73,8	70,2	65,5	58,1	49,6
30	145,3	128,9	114,4	110,0	104,7	97,6	86,6	73,9
25	160,0	141,9	125,9	121,2	115,3	107,5	95,4	81,4
20	178,9	158,7	140,8	135,5	128,9	120,2	106,6	91,0
15	204,3	181,2	160,8	154,7	147,2	137,2	121,7	103,9
10	240,7	213,5	189,4	182,2	173,4	161,7	143,4	122,4
5	298,3	264,6	234,7	225,8	214,9	200,3	177,7	151,7

A equação de Bell ajustada para estimar a altura da chuva (Figura 2) com período de retorno de 2 a 100 anos e duração de 5 a 120 minutos foi:

$$P_T^t = (0,3937 \ln(T) + 1,1685)(0,4077t^{0,1962} - 0,4441)P_{10}^{60} \quad \text{equação (12)}$$

Em que:  $P_T^t$  - precipitação estimada com período de retorno T anos e duração t min;

$P_{10}^{60}$  - precipitação observada com período de retorno de 10 anos e duração de 60 min.

T - Período de retorno (2 a 100 anos)

t - duração da chuva (5 a 120 minutos);

Para duração de 120 a 1440 minutos foi ajustada a equação:

$$P_T^t = (0,3300 \ln(T) + 0,9795)(0,8883t^{0,1314} - 0,9523)P_{10}^{60} \quad \text{equação (13)}$$

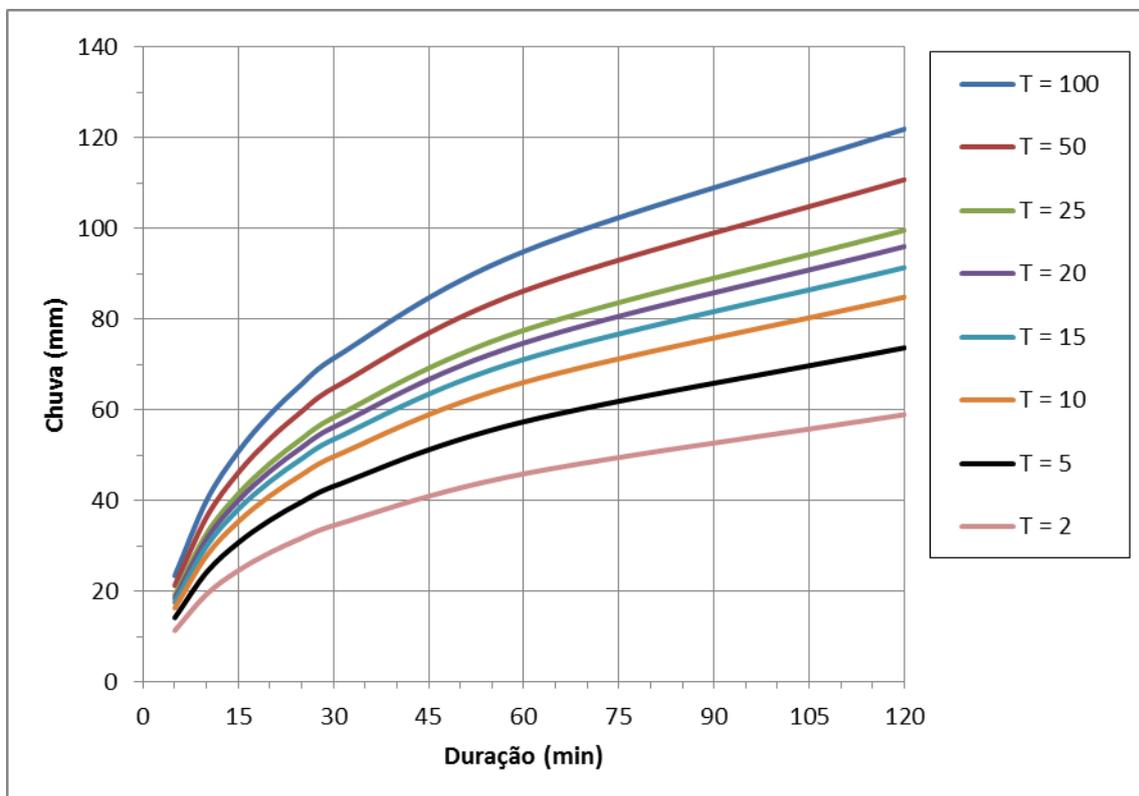


Figura 3: Relação Altura- Duração-Frequência de chuvas intensas com duração de 5 minutos a 1440 minutos de Saudades, SC.

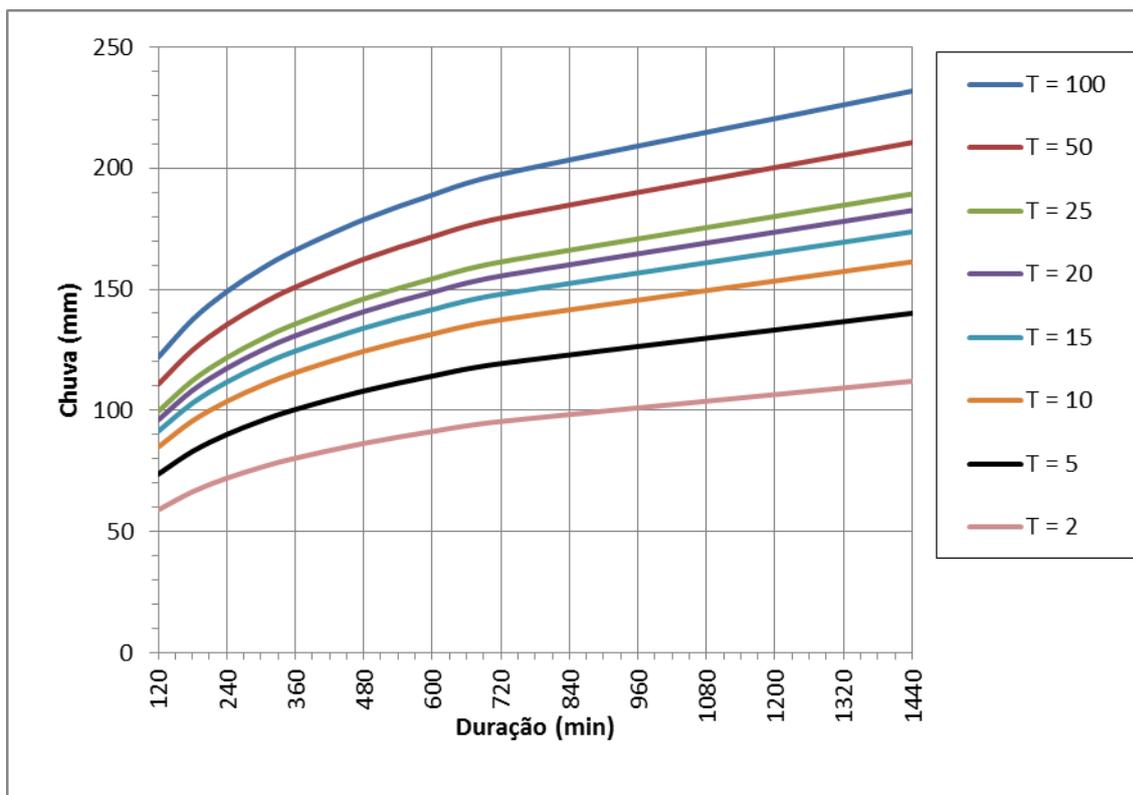


Figura 4: Relação Altura- Duração-Frequência de chuvas intensas com duração de 5 minutos a 1440 minutos de Saudades, SC.

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A distribuição de Gumbel-Chow se ajusta bem às séries de máximas anuais com duração de um dia para Saudades.

As equações IDF e as equações do modelo de Bell que permitem obter as estimativas de chuvas intensas com duração de 5 minutos a 1440 minutos e período de retorno de 2 a 100 anos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSAD, E.D.; MASUTOMO, R.; ASSAD, M.L.L. Estimativa das precipitações máximas prováveis com duração de 24 horas e de 30 minutos. *Pesq. Agrop. Bras.* 27(5):677-686, 1992.
2. BACK, A.J. Chuvas intensas e chuva para dimensionamento de estruturas de drenagem superficial para o Estado de Santa Catarina. Epagri, Florianópolis. 2013. 197p
3. BACK, A.J. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações ocorridas no município de Urussanga, SC. *R. Bras. Eng. Agríc. Amb.*, 13(2):170-175, 2009.
4. BACK, A.J. Seleção de distribuição de probabilidade para chuvas diárias extremas do Estado de Santa Catarina. *R. Bras. Met.*, 16(2):211-222, 2001.
5. BAZZANO, M.G.P.; ELTZ, F.L.F.; CASSOL, E.A. Erosividade, coeficiente de chuvas, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí, RS. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1.205-1.217, 2007.
6. BELL, F.G. "Generalized rainfall-duration-frequency relationships". *Journal of Hydraulics Division – ASCE*, v.95, p311-327, 1969.
7. CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Drenagem urbana – manual de projeto. São Paulo, Cetesb, 1986. 464p.



8. COSTA, A.R.; BRITO, V.F. Equações de chuva intensa para Goiás e Sul de Tocantins. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 13, 1999, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: ABRH, 1999. CD Rom.
9. GENOVEZ, A.M.; ZUFFO, A.C. Chuvas intensas no Estado de São Paulo: Estudos existentes e análise comparativa. Revista Brasileira de Recursos Hídricos., 5(3):45-58, 2000.
10. KITE, G. W. Frequency and risk analyses in Hydrology. Water Resources publications. Colorado. 1978. 224 p.
11. FENDRICH, R. Chuvas intensas para obras de drenagem no Estado do Paraná. Curitiba: Champagnat, 1998. 99p.
12. FERREIRA, J.C.; DANIEL, L.A.; TOMAZELA, M. Parâmetros para equações mensais de estimativas de precipitação de intensidade máxima para o Estado de São Paulo – Fase I. Ciência Agrotécnica, 29(6):1175-1187, 2005.
13. OLIVEIRA, L.F.C.; ANTONINI, J.C.; GRIEBELER, N.; FIOREZE, A.P.; SILVA, M.A.S. da. Métodos de estimativa de precipitação máxima para o Estado de Goiás. R. Bras. Eng. Agríc. Amb., 12(6):620-625, 2008.
14. OLIVEIRA, L.F.; CORTES, F.C.; BARBOSA, F.O.A.; ROMÃO, P.A.; CARVALHO, D.F. Estimativa das equações de chuvas intensas para algumas localidades de Goiás pelo método da desagregação de chuvas. Pesq. Agrop. Trop., 30(1):23-27, 2000
15. SILVA, D.D.; GOMES FILHO, R.R.; PRUSKI, F.F.; PEREIRA, S.B.; NOVAES, L.F. Chuvas intensas no Estado da Bahia. R. Bras. Eng. Agríc. Amb., 6(2):362-367, 2002.
16. SOPRANI, M.A.; REIS, J.A.T. Proposição de equações de intensidade-duração-frequência de precipitações para a bacia do rio Benevente, ES. Rev. Capixaba de Ciência e Tecnologia, 2:18-25, 2007.
17. UEHARA, K.; ZAHED FILHO, K.; SILVEIRA, L.N.L.; PALERMO, M.A. Pequenas bacias hidrográficas do Estado de São Paulo: Estudo de vazões médias e máximas. FDTE/Escola Politécnica da USP, São Paulo: v.2, 1980. 780p.
18. WADT, P.G.S. Construção de terraços para controle de erosão pluvial no Estado do Acre. Rio Branco: Embrapa Acre, 2003. (Documentos, 85).