

## IV-037 - ANÁLISE DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS PARA DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA

**Diego Damiani Citadin<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC)

**Alexandre Vargas**

Engenheiro Civil pela Fundação Universitária de Blumenau (FURB), Mestrando em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC).

**Álvaro José Back**

Engenheiro Agrônomo, Dr, Engenharia de Recursos hídricos e Saneamento Ambiental, Professor do PPGCA da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC)

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Julio Pedro Clezar N° 512 – Praia Grande –SC - CEP: 88990-000 - Brasil - Tel: (48) 9109-7112 - e-mail: [dcitadin@ig.com.br](mailto:dcitadin@ig.com.br)

### RESUMO

Os sistemas de captação e aproveitamento de água pluvial são soluções sustentáveis que contribuem para uso racional da água, contribuindo também para redução de impactos ambientais, proporcionando a conservação dos recursos hídricos para as futuras gerações. No dimensionamento das estruturas pra captação e armazenamento da água da chuva necessita-se de informações sobre as características da chuva relativas a sua intensidade e freqüência. Este trabalho teve como objetivos analisar os dados pluviométricos de Praia Grande, SC, com vistas a determinar os índices de precipitação usados no dimensionamento da estrutura de armazenamento e captação da água da chuva. Foram apresentados as precipitações médias mensais e anuais e também calculo a seca máxima provável e ajustado a equação IDF.

**PALAVRAS-CHAVE:** aguda de chuva, cisterna, equação de chuvas intensas.

### INTRODUÇÃO

Nos últimos anos têm sido propostas diversas medidas de incentivo e regulamentação para o aproveitamento da água da chuva para uso residencial e industrial, visando à economia e preservação dos recursos hídricos, diminuição dos riscos de estiagens, reduções da vazão de escoamento superficial. Existem diversas metodologias para o dimensionamento das estruturas para captação e armazenamento da água da chuva, adotando diferentes critérios, principalmente no que se refere ao dimensionamento do volume da cisterna.

Para a determinação do volume de um reservatório destinado a armazenamento das águas pluviais tendo como destino sua utilização residencial, são disponibilizadas metodologias de cálculo na NBR 15527/2007 (ABNT, 2007). Nesses métodos em geral utiliza-se os valores médios ou totais de chuva em intervalo mensal ou anual. Em alguns desses métodos utiliza-se os valores diário por meio de técnicas e balanço hídrico.

Outra forma de obter-se o volume mais adequado para o reservatório aplicando o conceito de seca máxima anual (Kobiyama et al., 2002). O método sugere que se encontre uma quantidade de dias consecutivos sem chuvas relacionada a um período de retorno a ser definido, podendo calcular o volume de armazenamento do reservatório para este período sem chuva. Este procedimento é desenvolvido aplicando uma análise de freqüência através de um método estatístico.

Para estimativa de valores máximos de escoamento, usadas no dimensionamento das calhas e coletores de água da chuva, geralmente baseiam-se nas relações Intensidade-Duração-Frequência (IDF). Essas relações 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. Vários trabalhos foram realizados determinando a equação IDF destacando-se os trabalhos de Pinto (1995), Fendrich (1998), Oliveira et al. (2000), Silva et al. (2002).

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

Existem diversos modelos 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). 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.

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. No trabalho de Back (2002) a estação pluviométrica de Praia Grande não foi incluída, assim este trabalho tem como objetivos analisar os dados pluviométricos de Praia Grande, SC, com vistas e determinar os índices de precipitação usados no dimensionamento da estrutura de captação e armazenamento da água da chuva.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados os dados da estação pluviométrica de Praia Grande (código 02949001) da Agência Nacional de Águas (ANA), relativos ao período de 1977 a 2009. Foram determinadas a séries de máximas anuais de dias secos consecutivos e as séries de máximas anuais de chuva diária. Como critério de dia seco foram considerados os valores de chuva diária inferior a 0,1 mm; 1,1 mm; 5,1 mm e 10,1mm. Com base na distribuição de probabilidades de Gumbel-Chow (Back, 2002) foram realizadas estimativas do número de dias consecutivos sem chuva bem como da chuva máxima diária para diferentes períodos de retorno. A estimativa das variáveis foi feita com base na equação:

$$X_T = \bar{x} + (Y - Y_n) \frac{s}{s_n} \quad \text{equação (1)}$$

em que:  $X_T$  é a variável estimada com período de retorno de T anos;  $\bar{x}$  é a média da série de máximas anuais; S é o desvio padrão da série de máximas anuais;  $Y_n$  e  $S_n$  são a média e desvio padrão da variável reduzida (valores tabelados em Back, 2002); Y a variável reduzida estimada como:

$$Y = -\ln \left\{ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right\} \quad \text{equação (2)}$$

A aderência da série de máximas anuais a distribuição de Gumbel-Chow foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 5 % (Kite, 1998), que consiste em comparar a frequência observada ( $F_o$ ) com a frequência teórica ( $F_T$ ) de cada valor da série de máximas anuais. A estatística  $D_{max}$  é dada por:

$$D_{max} = \text{máximo} |F_T - F_o| \quad \text{equação (3)}$$

A partir da chuva máxima diária foram estimadas as chuvas com duração de 5 min, 10 min, 15 min, 20 min, 25 min, 30 min, 60 min e 120 min utilizando as relações entre precipitações de diferentes durações (Tabela1) estabelecidas pela Cetesb (2006).

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

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

equação

(4)

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.

**Tabela 1: Relações entre chuvas de diferentes durações.**

Relação entre durações	Relações entre as alturas de precipitações
5 min/30 min	0,34
10 min/30 min	0,54
15 min/30 min	0,70
20 min/30 min	0,81
25 min/30 min	0,91
30 min/1 h	0,74
1 h/24 h	0,42
6 h/24 h	0,72
8 h/24 h	0,78
10 h/24 h	0,82
12 h/24 h	0,85
24h/ 1 dia	1,14

O ajuste dos coeficientes foi realizado minimizando-se a função  $S$ , dada por:

$$S = \sum_{d=1}^n \sum_{T=1}^n (f_{i,d,T} - f_{o,d,T})^2$$

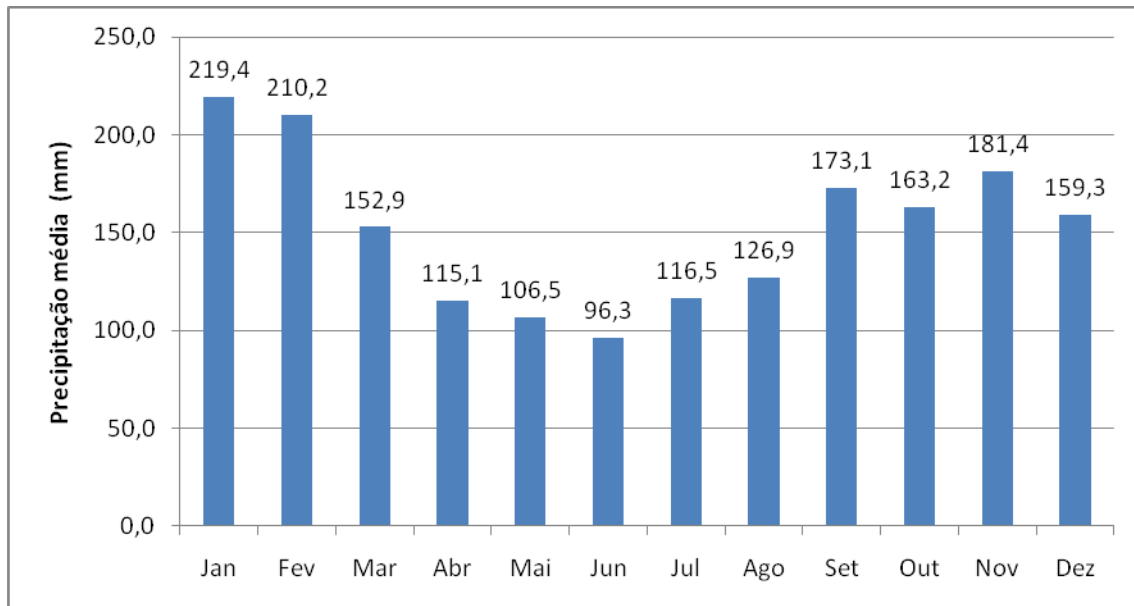
equação

(5)

onde:  $f_{i,d,T}$  é a intensidade calculada pelas relações entre durações;  $f_{o,d,T}$  é a intensidade calculada pela equação para a duração  $d$ , e período de retorno  $T$ ;

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 1 constam os valores de precipitação média mensal onde se observa que os valores variam de 219,4 mm para o mês de janeiro a 96,3 mm para o mês de junho, com média anual de 1819,5 mm. No dimensionamento da cisterna para armazenamento da água da chuva, alguns métodos como o método de Azevedo Neto, o método Prático Inglês, o método Prático Alemão (ABNT, 2007) utilizam os valores de precipitação média anual., enquanto o método Prático Australiano usa a precipitação média mensal.



**Figura 1: Precipitação média mensal de PraiaGrande, SC.**

Na Tabela 2 constam as médias mensais e o desvio padrão do número de dias consecutivos sem chuva bem como dos valores estimados para diferentes períodos de retorno. Alguns autores recomendam para o dimensionamento do reservatório o método da máxima seca anual (Kobiyama et al., 2002) com período de retorno de 3 anos (Guzzati, 1997). Considerando como dia seco o dia com precipitação inferior a 1,1 mm e 5,1 mm obteve-se os valores de 21 e 27 dias, respectivamente.

**Tabela 2: Estatísticas e valores estimados da máxima seca anual de Praia Grande (SC)**

Estatísticas	Critério para dia seco			
	< 0,1 mm	< 1,1 mm	< 5,1 mm	< 10,1 mm
Média (dias)	17,2	18,9	24,4	35,1
Desvio padrão (dias)	5,6	5,7	7,4	9,2
T – Período de retorno (anos)	Valores estimados (dias)			
2	16,3	18,0	23,3	33,7
3	19,0	20,8	26,8	38,1
5	22,0	23,8	30,7	43,0
10	25,8	27,6	35,7	49,1
20	29,4	31,2	40,4	55,0
50	34,1	35,9	46,5	62,7
100	37,6	39,5	51,1	68,4

Na Tabela 3 constam os valores da série de máximas anuais de chuva com duração de 1 dia e na Tabela 4 constam os valores de precipitação máxima diária estimada com diferentes períodos de retorno.

Na Figura 2 consta o resultado gráfico do teste de aderência da série de máximas anuais de chuva à distribuição de Gumbel-Chow. A aderência dos dados foi comprovada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, onde o desvio máximo observado (Dmax) foi de 0,082 e o valor crítico para o nível de significância de 5 % é de 0,232.

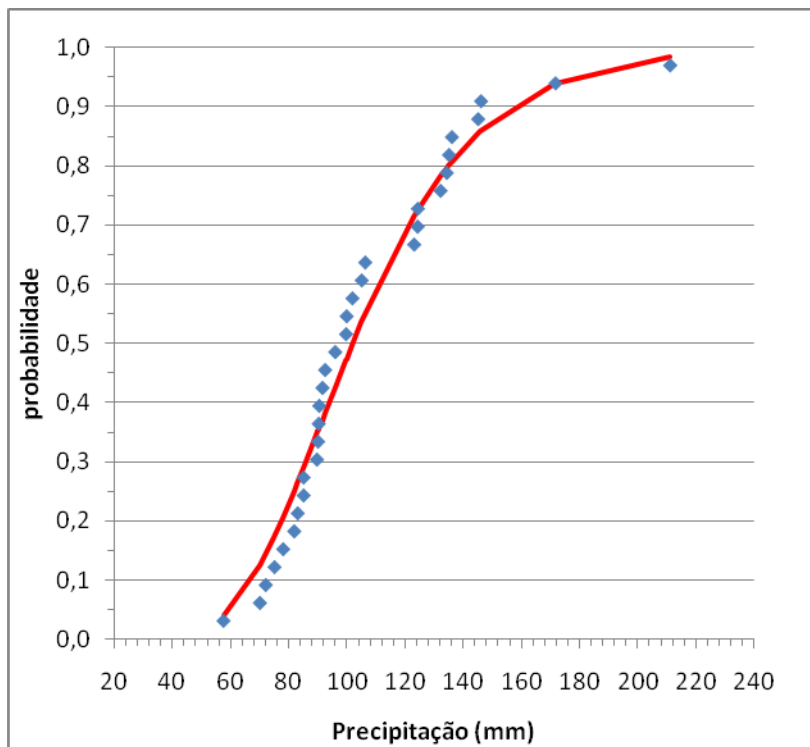


Figura 2: Aderência da série de máximas anuais à distribuição de Gumbel-Chow.

**Tabela 3: Série de máximas anuais e Praia Grande, SC.**

ano	Chuva máxima anual (mm)
1977	134,2
1978	89,6
1979	-
1980	136,0
1981	145,0
1982	91,5
1983	101,8
1984	72,0
1985	171,6
1986	75,0
1987	90,0
1988	105,0
1989	78,0
1990	146,0
1991	99,8
1992	99,6
1993	92,4
1994	90,4
1995	57,5
1996	90,2
1997	83,0
1998	124,3
1999	106,2
2000	95,9
2001	124,2
2002	70,0
2003	132,1
2004	85,0
2005	81,8
2006	85,0
2007	211,0
2008	123,0
2009	135,0
Média (mm)	105,5
Desvio Padrão (mm)	33,0

**Tabela 4: Chuva diária máxima estimada para Praia Grande, SC.**

T- Período de retorno (anos)	Chuva (mm)
2	102,0
5	134,9
10	156,7
15	169,0
20	177,6
25	184,2
50	204,6
100	224,9

Na Tabela 5 constam as alturas de chuva com durações inferior a 1 dia obtidas a partir da chuva máxima diária e aplicando as relações entre diferentes durações estabelecidas pela Cetesb (2006). Na Tabela 6 constam as intensidades de chuva com durações de 5 minutos a 120 minutos de duração e período de retorno variando de 2 a 100 anos, cujas relações podem ser observadas na Figura 3. Na Tabela 7 constam as intensidades de chuva obtida com a equação de chuvas intensas ajustada.

**Tabela 5: Altura de chuva (mm) estimada para Praia Grande, SC.**

Duração	T - Período de retorno (anos)							
	2	5	10	15	20	25	50	100
24H	116,2	153,8	178,6	192,6	202,4	210,0	233,3	256,4
2h	61,1	80,8	93,8	101,2	106,4	110,3	122,6	134,7
90 min	55,8	73,8	85,7	92,4	97,1	100,8	111,9	123,0
60 min	48,8	64,6	75,0	80,9	85,0	88,2	98,0	107,7
45min	43,3	57,3	66,6	71,8	75,5	78,3	87,0	95,6
30min	36,1	47,8	55,5	59,9	62,9	65,3	72,5	79,7
25min	32,9	35,4	41,1	44,3	46,6	48,3	53,7	59,0
20min	29,3	38,7	45,0	48,5	51,0	52,9	58,7	64,5
15min	25,3	33,5	38,9	41,9	44,0	45,7	50,8	55,8
10min	19,5	25,8	30,0	32,3	34,0	35,2	39,2	43,0
5 min	12,3	16,2	18,9	20,4	21,4	22,2	24,7	27,1

**Tabela 6: Intensidade de chuva (mm/h) estimada para Praia Grande, SC.**

Duração (minutos)	T - Período de retorno (anos)							
	2	5	10	15	20	25	50	100
5	147,4	195,0	226,5	244,3	256,7	266,3	295,8	325,1
10	117,0	154,8	179,9	194,0	203,8	211,5	234,9	258,2
15	101,2	133,8	155,4	167,6	176,2	182,7	203,0	223,1
20	87,8	116,1	134,9	145,5	152,9	158,6	176,2	193,6
30	72,3	95,6	111,0	119,7	125,8	130,5	145,0	159,4
45	57,8	76,4	88,8	95,7	100,6	104,4	116,0	127,4
60	48,8	64,6	75,0	80,9	85,0	88,2	98,0	107,7
90	37,2	49,2	57,1	61,6	64,8	67,2	74,6	82,0
120	30,5	40,4	46,9	50,6	53,2	55,2	61,3	67,4

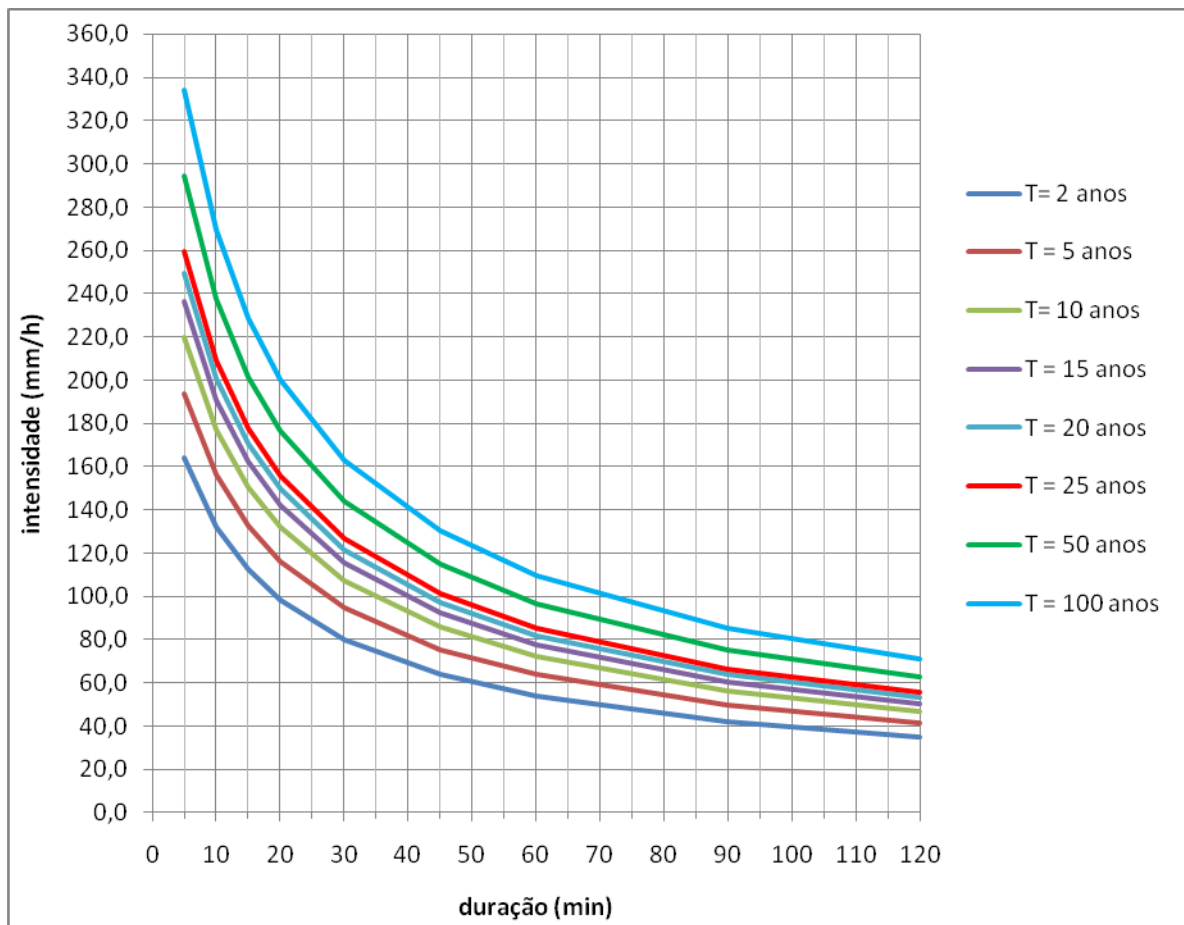
**Tabela7: Intensidade da chuva (mm/h) estimada com a equação IDF ajustada para Praia Grande, SC.**

Duração (minutos)	T - Período de retorno (anos)							
	2	5	10	15	20	25	50	100
5	164,0	193,8	219,8	236,6	249,3	259,6	294,5	334,0
10	132,3	156,3	177,3	190,8	201,1	209,4	237,5	269,4
15	112,3	132,7	150,5	162,0	170,7	177,8	201,6	228,7
20	98,4	116,3	131,9	142,0	149,6	155,8	176,7	200,4
30	80,1	94,6	107,3	115,5	121,7	126,7	143,8	163,1
45	63,9	75,5	85,6	92,2	97,1	101,1	114,7	130,1
60	53,9	63,7	72,2	77,8	81,9	85,3	96,8	109,8
90	42,0	49,6	56,3	60,6	63,8	66,5	75,4	85,5
120	35,0	41,3	46,9	50,5	53,2	55,4	62,8	71,2

A equação ajustada é válida para período de retorno (T) de 2 a 100 anos e duração de chuva (t) de 5 a 120 minutos sendo expressa por:

$$i = \frac{874,17^{0,182}}{(t+8,6)^{0,689}} \quad \text{equação (7)}$$

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



**Figura 3: Relações IDF para Praia Grande, SC.**



A intensidade pluviométrica é o fator meteorológico que interfere no cálculo da vazão, tal intensidade é determinada através do período de retorno e duração da precipitação que por sua vez são obtidos através da coleta de dados locais. Conforme descrito na Norma NBR10844/1989 (ABNT, 1989) o período de retorno deve obedecer aos seguintes critérios:

T = 1 ano; para obras externas onde um eventual alargamento pode ser tolerado;

T = 5 anos; para coberturas e telhado;

T = 25 anos; onde um empoçamento seja inaceitável.

Ainda encontra-se na Norma NBR10844/1989 que para obras de vulto corrente e de área de telhado de até 100 m<sup>2</sup> pode-se adotar a medida de chuva padrão de 150 mm/h de intensidade e duração de 5 minutos. E para locais onde os índices pluviométricos são extraordinariamente elevados para chuvas de curta duração, tem-se adotado 170 mm/h, e onde a segurança é necessária, adota-se 216 mm/h. Pela equação de Praia Grande a chuva com duração de 5 minutos e período de retorno de 5 anos obtida da equação IDF é de 194,0 mm/h, o que demonstra a importância de usar os dados locais nos projetos de Engenharia.

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que na região de Praia Grande, SC, para dimensionamento de estruturas de captação da água da chuva pode-se considerar os seguintes valores:

- A precipitação média anual de 1891,5 mm com valores médios mensais variando de 96,3 mm a 219,4 mm;
- Considerando com dia seco os dias com chuva inferior a 5,1 mm tem-se a duração máxima da seca anual com período de retorno de 3 anos igual a 27 dias;
- Para estimativa da intensidade máxima da chuva com duração de 5 minutos e período de retorno de 5 anos tem-se a intensidade de 194,0 mm/h.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527: Água de chuva - aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - requisitos. Rio de Janeiro, 2007.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10844/1989. Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989
3. BACK, Á.J. Chuvas intensas e chuva de projeto de drenagem superficial no Estado de Santa Catarina. Florianópolis: Epagri, 2002. 65 p. (Epagri. Boletim Técnico 123)
4. CHOW, V. Handbook of applied hydrology. New York: McGraw-Hill, 1964. 1418 p.
5. ELTZ, F.L.; REICHERT, J.M.; CASSOL, E.A. Período de retorno de chuvas em Santa Maria, RS. R. Bra. Ci. Solo, Campinas, 16:265-269, 1992.
6. KITE, G.W. Frequency and risk analyses in Hydrology. Water Resources publications. Colorado. 1978. 224 p.
7. GUZZATTI, T.G. Aproveitamento de água da chuva em Criciúma. Monografia (Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma. 1999. 35 p.
8. KOBAYAMA, M.; TSUYOSHI, U.; ANJOS AFONSO, M. Aproveitamento da Água da Chuva. Ed Organic Trading. 2002. 196p.
9. CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Drenagem urbana – manual de projeto. 3.ed. São Paulo: CETESB, 1986. 464p.
10. FENDRICH, R. Chuvas intensas para obras de drenagem no Estado do Paraná. Curitiba: Champagnat, 1998. 99p.
11. KITE, G.W. Frequency and risk analysis in hydrology. Fort Collins: Water Resources. 3.ed. 1978. 224p.
12. 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. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.30, n.1, p.23-27, 2000.
13. SILVA, D.D.; GOMES FILHO, R.R.; PRUSKI, F.F.; PEREIRA, S.B.; NOVAES, L.F. Chuvas intensas no Estado da Bahia. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.2, p.362-367, 2002.
14. PINTO, F. A. Chuvas intensas no Estado de Minas Gerais: análises e modelos. Viçosa. 1995. 87p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa).