



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H02	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas	30/06/99

DP-H02

**DIRETRIZES DE PROJETO PARA ESTUDOS
HIDROLÓGICOS
EQUAÇÃO DE CHUVAS**



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H02	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas	30/06/99

ÍNDICE

PÁG.

1.	OBJETIVO	21
2.	ASPECTOS GERAIS	21
3.	EQUAÇÃO DE CHUVAS	25
3.1	HIDROLOGIA URBANA – FCTH	25
4.	NOVA EQUAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS PARA O POSTO DO IAG, NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO	41
4.1	METODOLOGIA	41
4.2	ELABORAÇÃO DE NOVA EQUAÇÃO – RESULTADOS DOS ESTUDOS	43



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H02	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas	30/06/99

1. OBJETIVO

Esta diretriz tem por objetivo apresentar os critérios de definição das equações de chuva a serem utilizadas nos projetos desenvolvidos para a SVP/PMSP.

2. ASPECTOS GERAIS

Para o Município de São Paulo têm sido largamente utilizadas nos projetos de obras de drenagem duas equações de chuvas intensas para o cálculo da intensidade de chuva de projeto:

- Equação de Ochipintti e Santos (1965)
* para durações menores ou iguais a 60 min.

$$i = \frac{27,96 \cdot T^{0,112}}{(t+15)^{\frac{0,86}{-0,0144}}} \quad (2.1)$$

onde:

T = período de retorno em anos

t = duração da chuva em min

i = intensidade da chuva em mm/min

- * para durações maiores ou iguais a 2 horas

$$i = \frac{42,23T^{0,15}}{t^{0,822}} \quad (2.2)$$



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H02	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas	30/06/99

onde:

T = período de retorno em anos

t = duração da chuva em horas

i = intensidade da chuva em mm/hora

* para durações entre 60 min e 2 horas interpolar entre os valores acima

- Equação de Paulo Sampaio Wilken (1971)

$$i = \frac{1747,9 \cdot T^{0,181}}{(t+15)^{0,89}} \quad (2.3)$$

onde:

T = período de retorno em anos

t = duração da chuva em min

i = intensidade da chuva em mm/hora

Essas equações (2.1, 2.2 e 2.3) são consideradas aceitáveis pela Prefeitura do Município de São Paulo nos seguintes casos:

- Nos Estudos de Viabilidade;
- Nos Projetos Básicos, desde que esteja prevista uma reavaliação dos estudos na etapa do Projeto Executivo; com exceção dos projetos específicos de drenagem, como por exemplo canalização de córregos;
- Nos projetos classificados como de baixo impacto;



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS		EMITENTE SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS
REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H02	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas	30/06/99

Nos projetos de microdrenagem em via pública com escoamento superficial livre e vazão de projeto inferior a $10\text{m}^3/\text{s}$ (não inclui casos de obras especiais como travessia sob via férrea por exemplo).

As Tabelas 2.1 a 2.4 apresentam os valores de intensidade de chuva, calculados conforme as formulações apresentadas:

Tabela 2.1

Valores de intensidade de chuva em (mm/min) segundo a formulação de Ochipintti e Santos (1965) para o município de São Paulo

t - Tempo de duração		i - Intensidade de Chuva (mm / min)					
		T - Período de Retorno (anos)					
(h)	(min)	2	5	10	25	50	100
0,25	15	1,669	1,921	2,136	2,457	2,729	3,032
0,50	30	1,182	1,367	1,525	1,761	1,963	2,188
0,75	45	0,925	1,073	1,200	1,390	1,554	1,736
1	60	0,765	0,890	0,997	1,158	1,296	1,450
2	120	0,442	0,507	0,562	0,645	0,716	0,794
3	180	0,317	0,363	0,403	0,462	0,513	0,569
6	360	0,179	0,205	0,228	0,262	0,290	0,322



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H02	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas	30/06/99

Tabela 2.2

Valores de intensidade de chuva em (l/s.ha) segundo a formulação de Ochipinti e Santos (1965) para o município de São Paulo

t - Tempo de duração		i - Intensidade de Chuva (l / s.ha)					
		T - Período de Retorno (anos)					
(h)	(min)	2	5	10	25	50	100
0,25	15	278	320	356	409	455	505
0,50	30	197	228	254	293	327	365
0,75	45	154	179	200	232	259	289
1	60	128	148	166	193	216	242
2	120	74	84	94	108	119	132
3	180	53	61	67	77	86	95
6	360	30	34	38	44	48	54

Tabela 2.3

Valores de intensidade de chuva em (mm/min.) segundo a formulação de P.S. Wilken (1971) para o município de São Paulo

t - Tempo de duração		i - Intensidade de Chuva (mm / min)					
		T - Período de Retorno (anos)					
(h)	(min)	2	5	10	25	50	100
0,25	15	1,600	1,889	2,142	2,528	2,866	3,249
0,50	30	1,116	1,317	1,493	1,762	1,998	2,265
0,75	45	0,864	1,019	1,156	1,364	1,546	1,753
1	60	0,708	0,836	0,947	1,118	1,268	1,437
2	120	0,420	0,495	0,562	0,663	0,751	0,852
3	180	0,302	0,357	0,405	0,478	0,542	0,614
6	360	0,169	0,200	0,226	0,267	0,303	0,343



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H02	Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas		30/06/99

Tabela 2.4

Valores de intensidade de chuva em (l/s.ha) segundo a formulação de Paulo Sampaio Wilken (1971) para o município de São Paulo

t - Tempo de duração		i - Intensidade de Chuva (l/s.ha)					
		T - Período de Retorno (anos)					
(h)	(min)	2	5	10	25	50	100
0,25	15	267	315	357	421	478	541
0,50	30	186	219	249	294	333	377
0,75	45	144	170	193	227	258	292
1	60	118	139	158	186	211	240
2	120	70	83	94	110	125	142
3	180	50	60	67	80	90	102
6	360	28	33	38	44	50	57

3. EQUAÇÃO DE CHUVAS

A Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica – FCTH desenvolveu para a Prefeitura Municipal de São Paulo a expressão transcrita a seguir. Essa equação é recomendada para o cálculo das chuvas intensas nos projetos de drenagem no Município de São Paulo, sendo obrigatório para os projetos de maior complexidade que não se enquadram nos casos, conforme especificado no item anterior. Continuando os trabalhos, a FCTH reavaliou as equações obtidas, para o posto IAG, incorporando observações de chuvas até o ano de 1997. Essa nova equação de chuvas está apresentada no item 4.

3.1 HIDROLOGIA URBANA – FCTH

Transcrição do item 3.1 do Cap. 3 da Publicação “Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo” – 1995 – FCTH – USP – São Paulo.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H02	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas	30/06/99

3.1.1 Precipitação de projeto

Os estudos de drenagem urbana envolvem, geralmente, cursos d'água de pequeno ou médio porte desprovidos de registros fluviométricos, nos quais, a estimativa das vazões de projeto é feita com base nos dados de chuvas intensas que ocorrem nas respectivas bacias.

A região do Município de São Paulo abrange uma extensa área, pouco inferior a 2.000 km², até hoje não muito bem compreendida em termos da variação espacial das chuvas intensas, mesmo porque os dados pluviográficos na região são escassos. Por isso têm sido adotados, nos estudos de drenagem do Município, valores de chuvas intensas referidos a um único posto pluviográfico, denominado de Posto do IAG (Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo), situado no bairro da Água Funda e incorporado à rede do DAEE com o prefixo E3-035. Por outro lado, as equações de chuva existentes baseadas nesse posto não incorporam os dados mais recentes.

Considerando-se o exposto, são apresentados, dentro deste item, os seguintes assuntos:

- i) Atualização da equação das chuvas intensas do posto do IAG, utilizando-se o período de dados pluviográficos fornecidos por essa entidade abrangendo o período de 1931 a 1994;
- ii) Avaliação das relações intensidade-duração-freqüência em áreas do município não cobertas por pluviógrafos.

a) Atualização da equação de chuvas intensas do posto do IAG

Com base nos dados do posto pluviográfico do IAG, do período 1931-1994, chegou-se à seguinte equação:



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H02	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas	30/06/99

$$h_{t,T} = (t-6)^{0,242} \left\{ 12,6 - 4,49 \cdot \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\},$$

para $10 \text{ min} \leq t \leq 4.320 \text{ min}$ (3 dias) (3.1)

onde:

$h_{t,T}$ = altura pluviométrica acumulada (em mm), da chuva de duração t correspondente ao período de retorno T ;

t = duração da chuva em minutos;

T = período de retorno em anos

Verificou-se que essa equação fornece valores maiores do que os obtidos das equações anteriores para todas as durações. A título ilustrativo, são apresentados nas Tabelas 3.1 e 3.2 os valores de intensidade de chuva e na Tabela 3.3 as diferenças percentuais médias, em relação à Equação 3.1, dos valores obtidos com as equações anteriores do mesmo posto, para os períodos de retorno de: 2, 5, 10, 15, 25 e 100 anos.

b) Avaliação das relações intensidade-duração-freqüência em áreas não cobertas por pluviógrafos

A região do Município de São Paulo é bem servida de postos pluviométricos. Devido a isto, desenvolveu-se uma metodologia que permite avaliar as chuvas médias de 24 horas com base nas chuvas médias de 1 dia e, a partir daí, as chuvas de curta duração.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H02	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas	30/06/99

Tabela 3.1

Valores de intensidade de chuva em (mm/min) para o posto do IAG – E3-035 do DAEE

t - Tempo de duração		i - Intensidade de Chuva (mm / min)					
		T - Período de Retorno (anos)					
(h)	(min)	2	5	10	25	50	100
0,25	15	1,616	2,194	2,576	3,059	3,417	3,773
0,50	30	1,025	1,391	1,633	1,939	2,166	2,392
0,75	45	0,768	1,043	1,224	1,454	1,624	1,793
1	60	0,623	0,846	0,994	1,180	1,318	1,455
2	120	0,373	0,507	0,595	0,707	0,790	0,872
3	180	0,276	0,374	0,440	0,522	0,583	0,644
6	360	0,164	0,222	0,261	0,310	0,346	0,382

Tabela 3.2

Valores de intensidade de chuva em (l/s.ha) para o posto do IAG – E3-035 do DAEE

t - Tempo de duração		i - Intensidade de Chuva (l / s.ha)					
		T - Período de Retorno (anos)					
(h)	(min)	2	5	10	25	50	100
0,25	15	269	366	429	510	570	629
0,50	30	171	232	272	323	361	399
0,75	45	128	174	204	242	271	299
1	60	104	141	166	197	220	243
2	120	62	84	99	118	132	145
3	180	46	62	73	87	97	107
6	360	27	37	44	52	58	64



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H02	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas	30/06/99

Tabela 3.3

Diferença entre os valores fornecidos por outras equações e fornecidos pela equação atualizada, para os dados do posto E3-035

DURAÇÃO	DESVIOS EM RELAÇÃO ATUALIZADA (%)		
	DAEE ANTERIOR (1)	OCHIPINTTI E SANTOS (2)	WILKEN (3)
10 min	-22	-20	-19
20 min	-11	-11	-12
30 min	-5	-4	-7
1 h	2	3	-3
2 h	-5	-3	-4
3 h	-8	-6	-6
6 h	-12	-10	-12
12 h	-16	-14	-18
18 h	-18	-17	-22
24 h	-20	-18	-25

(1) Equação com os dados de 1931 a 1979 publicada pelo DAEE (Magni e Mero), 1982)

(2) Equação desenvolvida por Ochipintti e Santos (1965)

(3) Equação desenvolvida por Wilken (1971), a partir de séries parciais

Distribuição espacial das chuvas de 1 dia

Foram selecionados, na região do Município de São Paulo e adjacências, 103 postos pluviométricos com séries históricas superiores a 20 anos, sendo 62 do DAEE, 37 da antiga ELETROPAULO, 3 do antigo DNAEE e 1 do IAG.

Para cada um desses postos foram calculados os seguintes parâmetros estatísticos das séries de chuvas máximas diárias: média ($\bar{h}_{1,d}$), desvio padrão (s) e coeficiente de variação (cv).



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H02	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas	30/06/99

Com base nesses dados, foram obtidos dois mapas básicos apresentados nas Figuras 3.1 e 3.2.

Verifica-se, por esses dois mapas, que a região do Município de São Paulo não pode ser considerada homogênea do ponto de vista de alturas pluviométricas de chuvas intensas, assim como das flutuações em torno dos valores médios.

Relação entre os valores médios das chuvas máximas de 24 horas e de 1 dia

Em 1966, o IAG (Ochipinti e Santos, 1966) realizou um estudo procurando estabelecer uma relação entre alturas pluviométricas das chuvas máximas de 24 horas e 1 dia, com base em séries que abrangem o período de 1928 a 1965, obtidos os dados pluviométricos e pluviográficos observados simultaneamente no posto pluviográfico do IAG.

Os resultados obtidos nesse estudo mostram que, em termos de alturas pluviométricas, a avaliação da chuva de 24 horas pode ser feita a partir das chuvas máximas de 1 dia de mesma frequência, aplicando-se o fator 1,14, praticamente coincidente com o fator de 1,13 adotado nos Estados Unidos, obtido a partir de estudos efetuados pelo "Weather Bureau". Aliás, outros países de ambos os hemisférios encontraram o mesmo valor para tal fator.

Corroborando esses estudos, verificou-se, no presente trabalho, que a relação entre os valores médios amostrais das chuvas máximas de 24 horas (\bar{h}_{24}), e de 1 dia ($\bar{h}_{1.d}$), apresenta o valor de 1,14. Assim, em locais do Município onde não há postos registradores, pode-se calcular o valor médio das chuvas máximas de 24 horas (\bar{h}_{24}), a partir do valor médio das chuvas máximas de 1 dia ($\bar{h}_{1.d}$), da Figura 3.1, pela equação:

$$\bar{h}_{24} = 1,14 \cdot \bar{h}_{1.d} \dots\dots\dots(3.2)$$



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

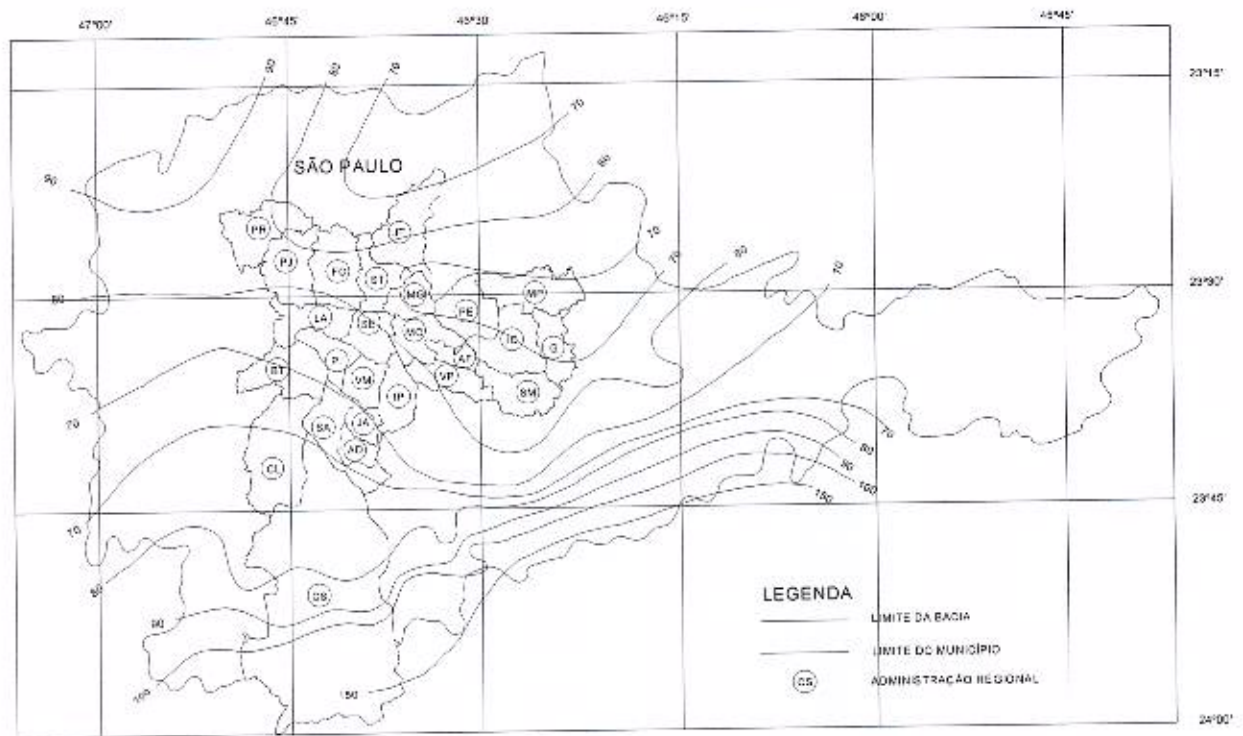
REFERÊNCIA ASSUNTO DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM

DATA

DP-H02

Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas

30/06/99



REF. ISOIETAS DO TRABALHO DA FCTH PARA PMSP - (1995)

Figura 3.1

Isioidas dos valores médios das séries anuais das chuvas máximas de 1 dia (mm)



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

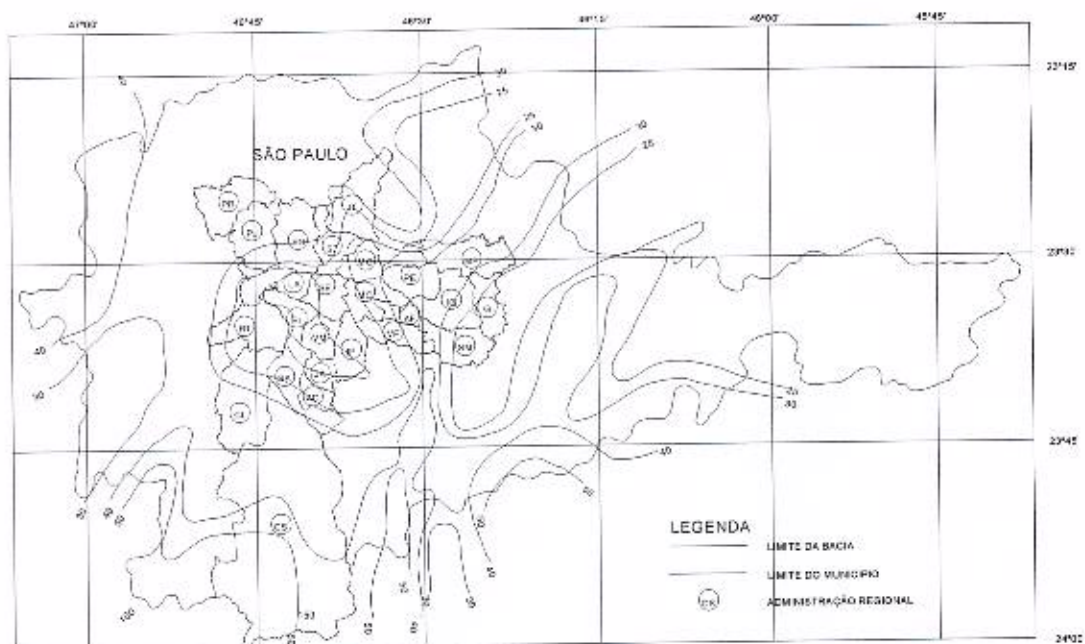
DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H02	Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas		30/06/99



REF. ISOLINHAS DO TRABALHO DA FCTH PARA FMSP - (1995)

Figura 3.2

Isolinhas dos coeficientes de variação das séries de chuvas máximas de 1 dia (em %)



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H02	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas	30/06/99

Relações entre os valores médios das chuvas de diferentes durações

Com base em 14 postos pluviográficos existentes na bacia do Alto Tietê, procurou-se estabelecer as relações entre chuvas de diferentes durações. Ressaltando que, inicialmente, foi constatada a tendência do coeficiente de variação (*cv*) em cada um desses postos ser constante e independente da duração da chuva. A partir da Figura 3.2, onde se apresentam as isolinhas do coeficiente de variação das chuvas máximas de 1 dia, pode-se efetuar a avaliação do coeficiente da variação das chuvas máximas de diferentes durações. Além disso, as séries das chuvas máximas de 1 dia, que deram origem às Figuras 3.1 e 3.2, apresentam a vantagem de abrangerem períodos de dados bem maiores do que os postos pluviográficos citados.

A seguir, foram obtidos em cada posto pluviográfico os valores da relação (ver Tabela 3.4):

$$r = \frac{\bar{h}_t}{\bar{h}_{24}} \dots\dots\dots(3.3)$$

onde:

- \bar{h}_t = valor médio da chuva máxima de duração *t* horas;
- \bar{h}_{24} = valor médio da chuva máxima de 24 horas.

Os valores da Tabela 3.4, (excluindo-se o do posto E3-149 que fornece valores muito discrepantes), evidenciam que, para cada duração indicada, *r* pode ser representado pelo valor médio de cada coluna, uma vez que os desvios em torno desse valor são baixos. Os coeficientes de variação variam de 12% (chuva de 10 minutos) a 0,6% (chuva de 18 horas).

Verifica-se que os valores médios de *r* são praticamente iguais aos do posto do IAG, que possui a série mais longa e mais confiável. Por outro lado, para as durações de 1, 6 e 12 h os



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H02	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas	30/06/99

valores estão muito próximos dos encontrados na publicação "Drenagem Urbana – Manual de Projeto" (DAEE / CETESB, 1980), como resultado do estudo de 98 (noventa e oito) postos pluviográficos situados no território brasileiro. Embora a referida publicação não tenha apresentado as relações r para outras durações, pode-se presumir que tal coincidência se mantenha para outras durações.

Considerando-se os valores médios da Tabela 3.4, chegou-se à seguinte expressão para calcular r considerando qualquer duração t .

$$r = \left(\frac{t-0,10}{23,9} \right)^{0,242} \dots\dots\dots(3.4)$$

onde:

- r = relação entre os valores médios das chuvas máximas de t horas e de 24 horas;
- t = duração da chuva em horas.

Relação intensidade-duração-freqüência

Para a obtenção da altura pluviométrica de duração t e período de retorno T , pode-se utilizar a expressão:

$$h_{t,T} = \bar{h}_t \cdot (1 + K_T \cdot cv) \dots\dots\dots(3.5)$$

onde:

$h_{t,T}$ = altura pluviométrica de duração t e período de retorno T (em mm);



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H02	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas	30/06/99

\bar{h}_t = valor médio das chuvas máximas de t horas;

K_T = fator de frequência para o período de retorno T e amostras de n anos;

cv = coeficiente de variação.

Tabela 3.4**Coefficientes de desagregação das chuvas diárias (r)**

PREFIXO	LOCAL	DURAÇÃO (minutos)								
		10	20	30	60	120	180	360	720	1080
E3-032	M. CRUZES	0,218	0,308	0,354	0,434	0,526	0,585	0,701	0,838	0,929
E3-034	COTIA	0,237	0,328	0,375	0,456	0,544	0,603	0,715	0,845	0,932
E3-047	FCO. ROCHA	0,186	0,271	0,316	0,398	0,491	0,553	0,675	0,822	0,922
E3-068	ITAPECIRICA	0,243	0,334	0,380	0,461	0,550	0,608	0,719	0,847	0,933
E3-148	MAUÁ	0,247	0,339	0,386	0,465	0,554	0,612	0,722	0,849	0,935
E3-149	STO. ANDRÉ	0,099	0,167	0,206	0,282	0,376	0,443	0,583	0,764	0,894
E3-150	RUDGE RAMOS	0,230	0,319	0,365	0,447	0,536	0,594	0,708	0,842	0,931
E3-142	S.B. CAMPO	0,179	0,264	0,309	0,390	0,483	0,546	0,669	0,818	0,920
E3-085	S.C. DO SUL	0,245	0,335	0,382	0,463	0,552	0,609	0,719	0,848	0,934
E3-251	USP	0,262	0,353	0,400	0,480	0,568	0,624	0,731	0,856	0,937
E3-096	PTE. PEQUENA	0,248	0,339	0,385	0,466	0,554	0,612	0,721	0,850	0,935
E3-035	IAG	0,234	0,323	0,370	0,450	0,540	0,599	0,711	0,844	0,932
E3-052	CONGONHAS	0,268	0,360	0,407	0,486	0,573	0,629	0,735	0,858	0,938
E3-007	M. SANTANA	0,279	0,372	0,418	0,497	0,583	0,638	0,742	0,862	0,940
MÉDIA		0,237	0,327	0,373	0,453	0,543	0,601	0,713	0,845	0,932
DESVIO PADRÃO		0,029	0,031	0,032	0,031	0,029	0,027	0,021	0,013	0,006
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO		0,122	0,095	0,085	0,069	0,054	0,045	0,030	0,015	0,006



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H02	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas	30/06/99

Da equação 3.3 obtém-se:

$$\bar{h}_t = r \cdot \bar{h}_{24} \dots\dots\dots (3.6)$$

Considerando-se as equações 3.2 e 3.4 tem-se:

$$\bar{h}_t = \left(\frac{t-0,10}{23,9} \right)^{0,242} \cdot 1,14 \cdot \bar{h}_{1d} \dots\dots\dots (3.7)$$

$$\bar{h}_t = 0,53 \cdot \bar{h}_{1d} \cdot (t-0,10)^{0,242} \dots\dots\dots (3.8)$$

que levado à equação 3.5 permite, finalmente, obter a seguinte expressão:

$$\bar{h}_{t,T} = 0,53 \cdot \bar{h}_{1d} \cdot (t-0,10)^{0,242} \cdot (1 + K_T \cdot cv) \dots\dots\dots (3.9)$$

onde:

$h_{t,T}$ = chuva de duração t horas e período de retorno T anos (em mm);

\bar{h}_{1d} = valor médio das chuvas máximas de 1 dia (em mm);

K_T = fator de freqüência para o período de retorno T e tamanho da amostra de n anos;

cv = coeficiente de variação;

t = duração da chuva (em horas).

Essa expressão permite calcular a chuva de duração t horas e período $T(h_{t,T})$ num dado local a partir do conhecimento do valor médio das chuvas máximas de 1 dia (\bar{h}_{1d}) dado pela Figura 3.1, assim como, do coeficiente de variação (cv) dado pela Figura 3.2. Observe-se que, na Figura 3.2, o coeficiente de variação está expresso em porcentagem, necessitando-se transformá-lo para a forma decimal para fim da utilização da equação 3.9.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H02	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas	30/06/99

Considerando-se a distribuição de probabilidade de extremos Tipo I (Gumbel), os valores do fator de frequência K_T estão na Tabela 3.5. Esses valores se referem a uma amostra de 13 (treze) anos de observação que corresponde, por sua vez, ao tamanho médio dos períodos de dados considerados dos postos pluviográficos relacionados neste estudo.

Tabela 3.5

Valores do fator de frequência k_T

PERÍODO DE RETORNO T (ANOS)	5	10	15	20	25	50	100
K_T	0,995	1,748	2,173	2,470	2,699	3,405	4,105

Em termos analíticos, os valores tabelados são fornecidos pela equação:

$$K_T = -1,0031 \left(\ln \left(\ln \frac{T}{T-1} \right) + 0,50764 \right) \dots\dots\dots (3.9a)$$

Exemplo

Determinar uma chuva de projeto de 2,3 h de duração e período de retorno de 25 anos em Vila Jaguara, distrito de Jaraguá, no Município de São Paulo, com coordenadas geográficas latitude 23°30' S e longitude 45°45'W.

- 1) Da Figura 3.1 – obtém-se $\bar{h}_{1,0} = 78,0$ mm
- 2) Da Figura 3.2 – obtém-se $cv = 0,28$
- 3) A Tabela 3.5 fornece $K_T = 2,699$



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H02	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas	30/06/99

Utilizando-se a equação 3.9:

$$h_{2,3,25} = 0,53.78.(2,3-0,10)^{0,242}.(1+2,699.0,28) = 87,6 \text{ mm}$$

A título demonstrativo da variabilidade de precipitação no Município de São Paulo, são apresentados nas Tabelas 3.6 a 3.10 os valores calculados da altura total de precipitação e da intensidade de precipitação em alguns pontos característicos do Município.

Tabela 3.6

Altura de chuva acumulada no posto do IAG

h_{1d}	cv	IAG - Instituto Astronômico e Geofísico					
72	0.31	Altura de Chuva Acumulada					
t - Tempo de Duração		T - Período de Retorno (anos)					
(h)	(min)	2	5	10	25	50	100
0.25	15	23.1	31.6	37.2	44.3	49.6	54.8
0.5	30	29.2	40.0	47.1	56.2	62.8	69.5
0.75	45	32.9	45.0	53.0	63.2	70.7	78.1
1	60	35.6	48.7	57.4	68.3	76.5	84.5
2	120	42.6	58.3	68.7	81.9	91.6	101.3
3	180	47.2	64.6	76.1	90.7	101.5	112.2
6	360	56.1	76.7	90.4	107.7	120.5	133.3



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H02	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas	30/06/99

Tabela 3.7

Altura de chuva acumulada na região central do município de São Paulo

h_{1d}	cv	AR SE - Região Central do Município de São Paulo					
80	0.28	Altura de Chuva Acumulada					
t - Tempo de Duração		T - Período de Retorno (anos)					
(h)	(min)	2	5	10	25	50	100
0.25	15	25.7	34.3	39.9	47.0	52.3	57.6
0.5	30	32.6	43.4	50.6	59.6	66.4	73.0
0.75	45	36.7	48.8	56.9	67.1	74.6	82.1
1	60	39.7	52.9	61.6	72.6	80.7	88.8
2	120	47.6	63.3	73.8	87.0	96.7	106.5
3	180	52.7	70.2	81.7	96.3	107.2	117.9
6	360	62.6	83.3	97.0	114.4	127.3	140.0

Tabela 3.8

Altura de chuva acumulada no extremo leste do município de São Paulo

h_{1d}	cv	AR G - Extremo Leste do Município de São Paulo					
70	0.23	Altura de Chuva Acumulada					
t - Tempo de Duração		T - Período de Retorno (anos)					
(h)	(min)	2	5	10	25	50	100
0.25	15	22.7	28.8	32.9	38.0	41.8	45.6
0.5	30	28.8	36.5	41.7	48.2	53.0	57.8
0.75	45	32.3	41.1	46.9	54.2	59.6	65.0
1	60	35.0	44.4	50.7	58.6	64.5	70.3
2	120	41.9	53.3	60.8	70.2	77.3	84.3
3	180	46.4	59.0	67.3	77.8	85.6	93.3
6	360	55.1	70.1	79.9	92.4	101.6	110.8



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H02	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas	30/06/99

Tabela 3.9

Altura de chuva acumulada no extremo sul da zona urbana do município de São Paulo

h_{1d}		cv		AR CS - Extremo Sul da Zona Urbana do Município de São Paulo									
75		0,35		Altura de Chuva Acumulada									
t - Tempo de duração				T - Período de Retorno (anos)									
(h)	(min)	2	5	10	25	50	100	2	5	10	25	50	100
0,25	15	23,9	33,9	40,5	48,8	55,0	61,2	23,9	33,9	40,5	48,8	55,0	61,2
0,5	30	30,3	42,9	51,3	61,9	69,8	77,6	30,3	42,9	51,3	61,9	69,8	77,6
0,75	45	34,0	48,3	57,7	69,7	78,5	87,3	34,0	48,3	57,7	69,7	78,5	87,3
1	60	36,8	52,2	62,5	75,4	84,9	94,4	36,8	52,2	62,5	75,4	84,9	94,4
2	120	44,1	62,6	74,8	90,3	101,8	113,1	44,1	62,6	74,8	90,3	101,8	113,1
3	180	48,9	69,4	82,9	100,0	112,7	125,3	48,9	69,4	82,9	100,0	112,7	125,3
6	360	58,1	82,4	98,4	118,8	133,9	148,8	58,1	82,4	98,4	118,8	133,9	148,8

Tabela 3.10

Altura de chuva acumulada no extremo sul do município de São Paulo

h_{1d}		cv		AR CS - Extremo Sul do Município de São Paulo									
150		0,5		Altura de Chuva Acumulada									
t - Tempo de Duração				T - Período de Retorno (anos)									
(h)	(min)	2	5	10	25	50	100	2	5	10	25	50	100
0,25	15	46,7	75,2	94,1	118,0	135,7	153,3	46,7	75,2	94,1	118,0	135,7	153,3
0,5	30	59,2	95,4	119,4	149,6	172,1	194,4	59,2	95,4	119,4	149,6	172,1	194,4
0,75	45	66,6	107,3	134,2	168,3	193,6	218,7	66,6	107,3	134,2	168,3	193,6	218,7
1	60	72,0	116,1	145,2	182,1	209,4	236,6	72,0	116,1	145,2	182,1	209,4	236,6
2	120	86,3	139,1	174,0	218,2	250,9	283,5	86,3	139,1	174,0	218,2	250,9	283,5
3	180	95,6	154,1	192,8	241,7	278,0	314,0	95,6	154,1	192,8	241,7	278,0	314,0
6	360	113,5	183,0	228,9	287,0	330,1	372,9	113,5	183,0	228,9	287,0	330,1	372,9



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H02	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas	30/06/99

4. NOVA EQUAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS PARA O POSTO DO IAG, NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

A atualização da equação de chuvas intensas para o posto do IAG (Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo), localizado no Parque do Estado, incorporado à rede do DAEE/CTH com o prefixo E3-035, foi realizada no âmbito do projeto ora em desenvolvimento pelo CTH, denominado "Estudo de Precipitações Intensas no Estado de São Paulo".

Este adendo ao relatório preliminar denominado "Critérios para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo" tem por objetivo corrigir e atualizar a equação de chuvas intensas que havia sido formulada no mesmo, visto que foram ampliados o período de dados disponíveis e o número de eventos de chuvas considerados; outrossim, no período 1979-1997, foram lidos os respectivos pluviogramas através do "Método do Ponto de Inflexão", o que permitiu maior precisão nas leituras das precipitações. Os resultados obtidos foram fornecidos à SVP/PMSP em fevereiro de 1999, ocasião em que os trabalhos de elaboração destas diretrizes já tinham sido encerrados.

4.1 METODOLOGIA

Optou-se por seguir a metodologia anteriormente adotada por técnicos do CTH, quando da elaboração de equação de precipitações intensas para o posto do IAG [MAGNI & MERO, 1979]. Essa mesma metodologia foi posteriormente aplicada para outras 10 localidades do Estado de São Paulo. Desta feita, optou-se por trabalhar somente com séries anuais de intensidades de chuvas.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H02	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas	30/06/99

A equação que relaciona intensidade-duração-freqüência das precipitações intensas para cada localidade incorpora a expressão proposta por Ven-Te-Chow para as análises hidrológicas (1951), admitindo-se que as precipitações intensas atendam à distribuição estatística de tipo I de Fisher-Tipett, conhecida também como a distribuição de Gumbel (1953). Desse modo, nesse tipo de função, as características matemáticas da distribuição adotada são preservadas na estrutura da equação a ser definida.

A equação foi definida a partir da expressão:

$$i_{t,T} = M_{(t)} + \sigma_{(t)} \cdot K_{n,T} \quad (4.1)$$

com:
$$K_{n,T} = (y - \bar{y}) / \sigma_y = - (\bar{y} / \sigma_y) - (1 / \sigma_y) \cdot (\ln(\ln [(T / (T-1))])) \quad (4.2)$$

onde:

- $i_{t,T}$ = intensidade da chuva (mm/min) para a duração t (min) e período de retorno T (anos);
- $M_{(t)}$ = média das intensidades médias das chuvas intensas correspondentes à duração t ;
- $\sigma_{(t)}$ = desvio padrão das intensidades médias das chuvas intensas correspondente à duração t ;
- $K_{n,T}$ = fator de freqüência para a distribuição de Gumbel, função do número de anos da série de precipitações e do período de retorno T ;
- y = variável reduzida da distribuição de Gumbel;
- \bar{y} = média da variável reduzida da distribuição de Gumbel;
- σ_y = desvio padrão da variável reduzida da distribuição de Gumbel.

Admitiu-se a hipótese de que a média e o desvio padrão das intensidades médias das chuvas variem com a duração, através de expressões do tipo:



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H02	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas	30/06/99

$$M_{(t)} = A (t+B)^C \quad (4.3)$$

$$\sigma_{(t)} = D (t + E)^F \quad (4.4)$$

onde: A, B, C, D, E, F: parâmetros a serem determinados para o posto pluviográfico.

Substituindo-se as três expressões anteriores na expressão 4.1, temos:

$$i_{t,T} = A (t + B)^C + D (t + E)^F \cdot \{G + H \cdot \ln [\ln [T / (T-1)]]\} \quad (4.5)$$

4.2 ELABORAÇÃO DE NOVA EQUAÇÃO-RESULTADOS DOS ESTUDOS

A série histórica de máximas intensidades de chuvas anuais observadas, utilizada para a elaboração da equação de precipitações intensas, correspondente a 65 anos de dados (1933 a 1997), é mostrada na Tabela 4.1. A média e o desvio padrão para a série histórica constam da Tabela 4.2.

Na efetivação do ajuste para a obtenção das expressões da média (Figura 4.1) e do desvio padrão (Figura 4.2), verificou-se que cada uma delas pode ser representada por uma única expressão matemática, o que justifica a adoção de uma única equação de chuvas intensas, válida para todas as durações de precipitações consideradas (entre 10 e 1.440 minutos).

Assim, utilizando-se a metodologia definida, foi determinada a seguinte equação:

$$i_{t,T} = 39,30147 (t+20)^{-0,92281} + 10,17667 (t+20)^{-0,87641} \cdot \{-0,46532 - 0,84067 \ln[\ln(T/T-1)]\} \quad (4.6)$$

com: 10 minutos $\leq t \leq$ 1.440 minutos



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H02	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas	30/06/99

Em termos de alturas totais precipitadas, a formulação resulta em

$$h_{i,t} = 2358,09 (t+10)^{-0,92281} + 610,6002 (t+20)^{-0,8764} \{-27,9192 - 56,4402 \ln [\ln (T/T-1)]\} \quad (4.7)$$

sendo:

$i_{t,T}$ = intensidade da chuva, correspondente à duração t e período de retorno T , em mm/min;

t = duração da chuva em minutos;

T = período de retorno em anos;

$h_{i,T}$ = altura total precipitada, correspondente à duração t e o período de retorno T , em mm.

Os valores previstos de máximas alturas de precipitações, para alguns períodos de retorno e durações típicas, em mm, constam da Tabela 4.3.

Nas Figuras 4.3 e 4.4, são mostradas as curvas I-D-F (que relacionam intensidade, duração e freqüência das precipitações intensas), obtidas a partir da equação 4.6.

Verificou-se que a nova equação de chuvas intensas fornece valores de intensidade de chuvas próximos dos obtidos com as equações anteriormente elaboradas, particularmente em relação à equação determinada por Mero & Magni [CTH, 1979]. Na Tabela 4.4, são apresentadas as diferenças percentuais médias entre os valores calculados pela nova equação e os obtidos com as equações anteriores, considerando-se períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100 e 200 anos.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H02	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas	30/06/99

Tabela 4.1

Série histórica de máximas intensidades de chuvas anuais observadas, em mm/min

Ano	Duração em minutos									
	10	20	30	60	120	180	360	720	1080	1440
1933	1,170	0,825	0,553	0,318	0,211	0,143	0,072	0,036	0,024	0,018
1934	1,690	0,965	0,720	0,483	0,299	0,215	0,108	0,054	0,036	0,027
1935	1,500	1,150	0,876	0,516	0,301	0,201	0,111	0,056	0,037	0,028
1936	1,130	0,895	0,673	0,390	0,247	0,197	0,122	0,067	0,045	0,034
1937	2,200	1,950	1,690	0,845	0,423	0,282	0,141	0,070	0,047	0,035
1938	0,830	0,830	0,660	0,368	0,352	0,266	0,133	0,100	0,067	0,050
1939	1,690	0,855	0,616	0,436	0,231	0,160	0,080	0,040	0,027	0,020
1940	1,210	1,085	0,926	0,746	0,397	0,265	0,170	0,085	0,057	0,043
1941	1,410	1,175	0,980	0,655	0,450	0,300	0,150	0,075	0,050	0,038
1942	1,200	0,980	0,836	0,661	0,385	0,272	0,136	0,068	0,045	0,034
1943	1,170	1,085	0,980	0,663	0,332	0,221	0,111	0,055	0,037	0,028
1944	2,710	1,805	1,336	0,715	0,362	0,295	0,148	0,094	0,063	0,047
1945	1,950	1,350	1,126	0,878	0,439	0,293	0,146	0,080	0,053	0,040
1946	1,280	1,030	0,820	0,420	0,240	0,200	0,118	0,059	0,039	0,030
1947	0,910	0,910	0,806	0,663	0,401	0,267	0,134	0,067	0,045	0,033
1948	1,180	1,060	0,890	0,655	0,336	0,252	0,175	0,104	0,081	0,080
1949	1,940	1,220	0,853	0,601	0,301	0,232	0,172	0,086	0,057	0,043
1950	1,320	1,050	0,926	0,563	0,306	0,232	0,116	0,058	0,039	0,029
1951	1,780	0,890	0,683	0,375	0,188	0,151	0,094	0,074	0,049	0,037
1952	1,770	1,395	1,236	0,896	0,519	0,362	0,181	0,091	0,060	0,045

Continuação



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS		DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA	
		EMITENTE	
		SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS	
REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA	
DP-H02	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas	30/06/99	

Tabela 4.1 – continuação

Série histórica de máximas intensidades de chuvas anuais observadas, em mm/min

1953	1,650	1,250	1,150	0,858	0,501	0,368	0,213	0,107	0,071	0,053
1954	1,760	1,555	1,186	0,713	0,357	0,238	0,119	0,059	0,040	0,030
1955	2,180	1,835	1,420	1,188	0,659	0,452	0,226	0,113	0,075	0,057
1956	1,940	1,710	1,390	0,820	0,450	0,326	0,163	0,082	0,054	0,041
1957	0,980	0,825	0,663	0,426	0,295	0,232	0,161	0,081	0,061	0,061
1958	1,880	1,375	1,353	0,941	0,557	0,371	0,186	0,093	0,062	0,046
1959	2,000	1,970	1,490	1,213	0,619	0,413	0,206	0,103	0,069	0,052
1960	2,100	1,550	1,320	0,801	0,440	0,293	0,147	0,077	0,056	0,042
1961	1,740	1,570	1,260	0,885	0,547	0,382	0,191	0,096	0,064	0,048
1962	1,490	1,160	1,110	0,798	0,430	0,295	0,148	0,074	0,049	0,037
1963	1,030	1,025	0,826	0,571	0,319	0,255	0,128	0,064	0,043	0,032
1964	1,000	0,980	0,810	0,421	0,285	0,190	0,095	0,064	0,046	0,035
1965	1,390	1,185	1,046	0,685	0,343	0,228	0,130	0,093	0,062	0,047
1966	3,030	2,180	1,886	1,165	0,655	0,460	0,326	0,193	0,129	0,097
1967	2,390	2,300	2,076	1,438	0,772	0,527	0,264	0,132	0,088	0,066
1968	2,960	2,240	1,660	1,093	0,605	0,456	0,268	0,134	0,089	0,067
1969	3,220	2,020	1,440	0,746	0,373	0,249	0,127	0,085	0,057	0,043
1970	1,750	1,530	1,363	0,900	0,464	0,320	0,189	0,095	0,063	0,047
1971	1,910	1,430	1,026	0,673	0,543	0,435	0,306	0,173	0,140	0,122
1972	1,300	1,200	1,000	0,646	0,385	0,291	0,158	0,117	0,090	0,068
1973	1,490	1,240	1,006	0,665	0,394	0,278	0,139	0,070	0,046	0,035

Continuação



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS		EMITENTE
		SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS
REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H02	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas	30/06/99

Tabela 4.1 – continuação

Série histórica de máximas intensidades de chuvas anuais observadas, em mm/min

1974	1,180	0,965	0,736	0,473	0,260	0,188	0,094	0,047	0,031	0,036
1975	1,500	0,990	0,753	0,443	0,244	0,178	0,120	0,060	0,040	0,034
1976	1,810	1,510	1,166	0,743	0,420	0,302	0,165	0,083	0,056	0,042
1977	1,500	1,360	1,176	0,750	0,375	0,250	0,191	0,114	0,076	0,057
1978	1,770	1,335	1,096	0,688	0,406	0,318	0,159	0,080	0,053	0,040
1979	1,230	1,170	1,030	0,701	0,376	0,264	0,136	0,068	0,045	0,034
1980	1,410	1,115	0,950	0,785	0,465	0,336	0,176	0,107	0,071	0,054
1981	1,830	1,620	1,306	0,880	0,531	0,354	0,177	0,089	0,059	0,055
1982	1,480	1,045	0,956	0,663	0,540	0,465	0,254	0,131	0,102	0,087
1983	2,160	2,035	1,656	1,178	0,619	0,413	0,209	0,121	0,103	0,077
1984	0,920	0,680	0,493	0,303	0,204	0,158	0,130	0,071	0,055	0,041
1985	1,940	1,770	1,486	1,060	0,765	0,516	0,258	0,129	0,086	0,065
1986	2,470	2,030	1,676	1,095	0,577	0,385	0,192	0,096	0,064	0,048
1987	2,090	1,500	1,226	0,780	0,460	0,307	0,153	0,084	0,068	0,069
1988	1,260	1,105	0,956	0,628	0,327	0,256	0,175	0,105	0,117	0,090
1989	1,990	1,850	1,423	0,790	0,434	0,302	0,151	0,088	0,059	0,047
1990	1,850	1,295	1,036	0,596	0,318	0,230	0,154	0,077	0,075	0,057
1991	1,390	1,310	1,106	0,803	0,569	0,413	0,252	0,126	0,084	0,063
1992	1,650	1,100	1,006	0,760	0,475	0,317	0,158	0,079	0,059	0,058
1993	1,220	0,985	0,743	0,491	0,258	0,190	0,120	0,063	0,048	0,040
1994	1,150	0,985	0,726	0,443	0,253	0,203	0,121	0,079	0,056	0,059

continuação



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H02	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas	30/06/99

Tabela 4.1 – continuação

Série histórica de máximas intensidades de chuvas anuais observadas, em mm/min.

1995	1,200	1,025	0,750	0,528	0,328	0,225	0,122	0,089	0,067	0,051
1996	1,740	1,490	1,273	0,770	0,386	0,286	0,160	0,081	0,056	0,055
1997	1,630	1,025	0,763	0,490	0,259	0,213	0,111	0,056	0,044	0,033

Tabela 4.2

Média e desvio padrão de máximas intensidades de chuvas, em mm/min.

	Duração em minutos									
	10	20	30	60	120	180	360	720	1080	1440
Média	1,655	1,322	1,079	0,713	0,409	0,291	0,161	0,087	0,061	0,048
Desvio	0,513	0,397	0,336	0,239	0,135	0,091	0,052	0,029	0,023	0,019



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H02	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas	30/06/99

Tabela 4.3

Máximas alturas de chuvas previstas, em mm

Duração t (minutos)	Período de retorno T (anos)								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	16,2	21,1	24,4	26,2	27,5	28,5	31,6	34,6	37,6
20	24,9	32,5	37,6	40,4	42,4	44,0	48,7	53,4	58,1
30	30,3	39,8	46,0	49,5	52,0	53,9	59,8	65,6	71,4
60	39,3	51,8	60,1	64,7	68,0	70,5	78,3	86,0	93,6
120	46,8	62,1	72,2	78,0	82,0	85,1	94,6	104,0	113,4
180	50,5	67,3	78,4	84,7	89,1	92,4	102,9	113,2	123,5
360	55,7	74,9	87,5	94,7	99,7	103,6	115,4	127,2	139,0
720	60,2	81,5	95,6	103,6	109,2	113,5	126,7	139,9	153,0
1080	62,5	85,1	100,1	108,6	114,5	119,0	133,1	147,0	160,9
1440	64,1	87,7	103,3	112,1	118,2	122,9	137,6	152,1	166,5



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H02	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas	30/06/99

Tabela 4.4

Diferenças percentuais médias relativamente às equações anteriores

Duração t (minutos)	Diferenças percentuais médias		
	Magni [1979]	Wilken [1972]	Ochipintti [1965]
10	-2,3	-7,5	-3,8
20	-2,1	-3,5	-2,1
30	-1,9	-1,3	-1,7
60	-1,6	1,6	-2,2
120	5,6	3,1	4,9
180	6,5	3,5	5,8
360	5,4	3,5	4,5
720	2,1	3,1	1,0
1080	-0,5	2,6	-1,7
1440	-2,6	2,3	-3,8



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA ASSUNTO DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM

DATA

DP-H02

Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas

30/06/99

Figura 4.1 - Ajuste para a Média

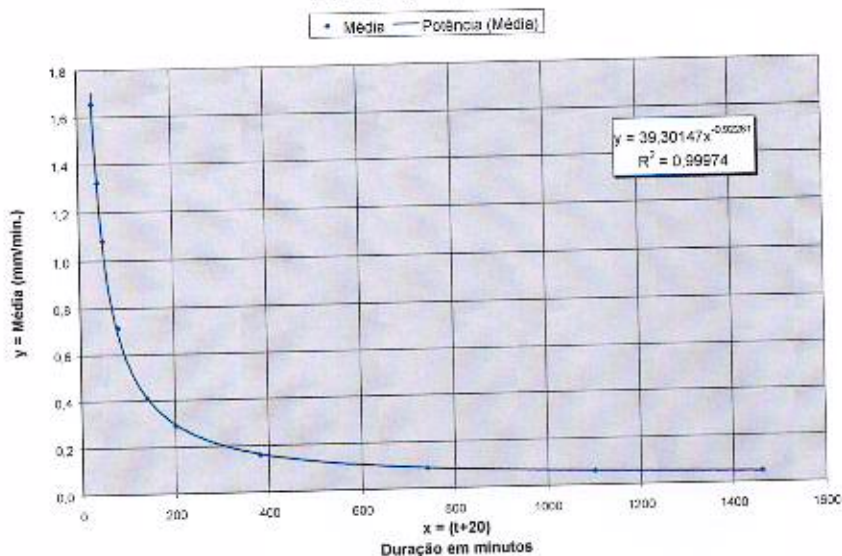
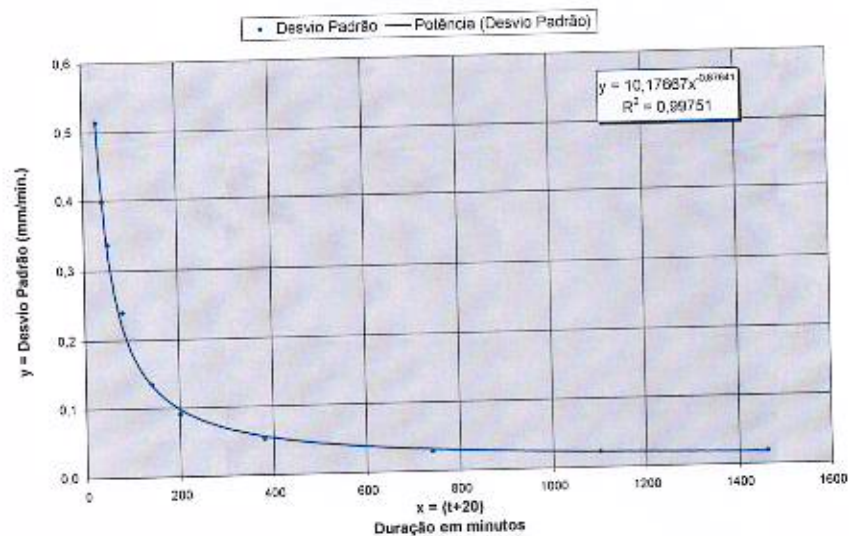


Figura 4.2 - Ajuste para o Desvio Padrão





PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA ASSUNTO DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM

DATA

DP-H02

Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas

30/06/99

Figura 4.3 - CURVAS I-D-F EM FUNÇÃO DO PERÍODO T (anos)

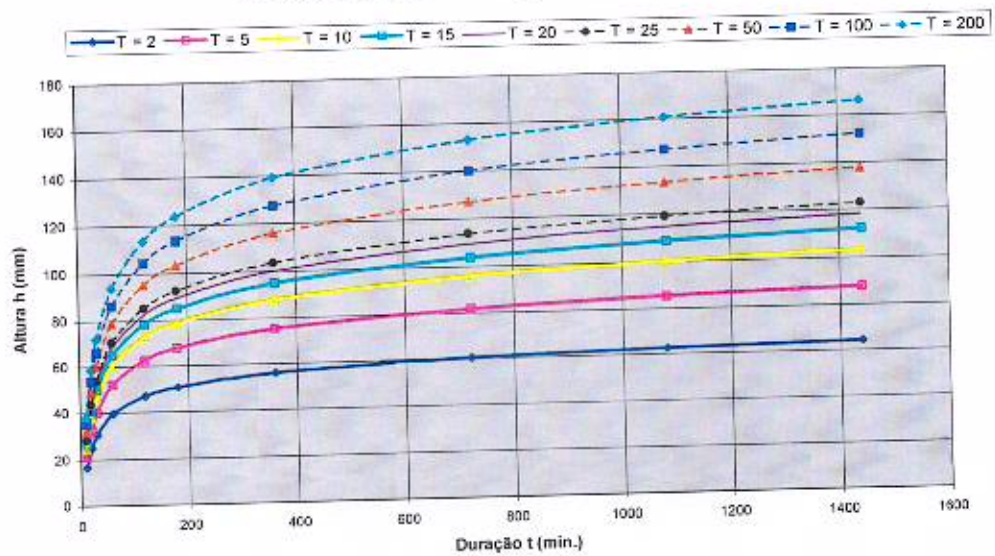


Figura 4.4 - CURVAS I-D-F EM FUNÇÃO DA DURAÇÃO DA CHUVA t (MINUTOS)

