

ANÁLISE DAS PRECIPITAÇÕES INTENSAS NO ESTADO DE SÃO PAULO

Francisco Martinez Júnior¹

Resumo - Este artigo é uma síntese dos estudos efetuados no contexto do “Convênio DAEE-USP”, sob o patrocínio do qual foi realizada a análise das precipitações intensas para 30 localidades do Estado de São Paulo. O objetivo dos estudos foi a definição de equações de chuvas intensas para localidades situadas em regiões delas desprovidas, e, para as localidades que já contavam com equações anteriormente elaboradas, nos casos em que havia disponibilidade de dados, verificação e proposição de novas equações. As equações elaboradas, que relacionam intensidade, duração e período de retorno das precipitações, incorporam a expressão proposta por Ven-Te-Chow para as análises hidrológicas, admitindo-se que as precipitações intensas atendam à distribuição estatística de Gumbel. Para o posto do IAG, localizado na cidade de São Paulo, os valores de máximas intensidades de precipitações calculados com a nova equação são comparados aos obtidos com outras três equações anteriormente formuladas.

Abstract - This paper is an abstract of the studies made in the context of the “Agreement DAEE-USP”; by this agreement it was carried out the analysis of the maximum rainfall for 30 sites in the State of São Paulo. The objective of the studies was the definition of the equations of maximum rainfall for sites located in regions without them, and, for the sites that had equations previously elaborated, when there were data, checking and proposition of new equations. The equations formulated that showed the relationship among intensity, duration and frequency of the rainfall, incorporate the expression proposed by Ven-Te-Chow for the hydrologic analysis; they consider that the rainfall follows the Gumbel Distribution. For the IAG pluviographic station, located in São Paulo, the values of maximum rainfall calculated by the new equation are compared to the values provided by three equations formulated before.

Palavras-Chave: precipitações intensas, equações de chuvas intensas, intensidade de precipitações

¹ CTH- Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos, Av. Prof. Lúcio Martins Rodrigues, 120, CEP 05508-900, Tel: (011) 2111933- R. 277, Fax (011) 8135217, e-mail martinez@cth.usp.br

INTRODUÇÃO

O conhecimento das características das precipitações intensas é de grande importância para o dimensionamento de obras hidráulicas, tais como: galerias de águas pluviais, canalizações de córregos, calhas de escoamento, bueiros, canais de irrigação e drenagem, vertedores de barragens.

As relações entre intensidade, duração e frequência das precipitações intensas, devem ser deduzidas a partir das observações de chuvas ocorridas durante um período de tempo longo, suficientemente grande para que seja possível considerar as frequências como probabilidades. Essas relações se traduzirão por uma família de curvas intensidade-duração, uma para cada frequência.

Entre 1979 e 1982, uma equipe de técnicos do CTH determinou as equações de chuvas intensas para 11 postos pluviográficos do Estado de São Paulo (Mero e Magni, 1982). Considerando-se as equações elaboradas por outras entidades e autores, pudemos identificar, até 1998, a existência de equações para 21 municípios. Analisando-se esses estudos, constata-se que:

- algumas das equações basearam-se num número pouco representativo de anos de chuvas;
- as equações existentes, até então, não cobriam satisfatoriamente todo o Estado de São Paulo, havendo regiões para as quais elas não foram elaboradas;
- algumas equações foram formuladas já há muitos anos, e não incorporam possíveis mudanças havidas nos regimes das chuvas, em função de modificações climáticas e de cobertura vegetal.

EQUAÇÕES ANTERIORMENTE ELABORADAS PARA O ESTADO DE SÃO PAULO

Na Tabela 1 constam as localidades com equações de chuvas intensas no Estado de São Paulo, anteriores à realização deste estudo, identificando-se os postos e as informações pertinentes.

Tabela 1 - Equações Intensidade- Duração- Frequência anteriores a este estudo

Município	Nome do Posto / Entidade	Coordenadas	Alt. (m)	Autor / Ano do Estudo	Dados Utilizados		Duração do Posto
					Período	Nº anos	
Aparecida	Bonfim D2-065/ DAEE	22° 57' S 45° 15' W	690	Mero e Magni - 1982	1965-78	14	1963-90
Avaré	Avaré 83773/ INMET	23° 06' S 48° 55' W	794	Mero e Magni - 1982	1946-56 1969-73	16	1905-
				Pfafstetter - 1957		9,973	

Barretos	Barretos 83625/ INMET	20° 33' S 48° 34' W	541	Mero e Magni - 1982	1948-49 1958-65	10	1943-78
Município	Nome do Posto/Entidade	Coorde- nadas	Alt. (m)	Autor/ Ano do Estudo	Dados Utilizados		Duração Do Posto
					Período	Nº anos	
Bauru	Bauru 83722/ INMET	22° 19' S 49° 04' W	590	Mero e Magni - 1982	1944-71	28	1940-78
				Pfafstetter - 1957		9,350	
Campinas	Campinas/ IAC	22° 53' S 47° 04' W	710	Vieira - 1981	1945-77	32	1941-
Campos do Jordão	Campos do Jordão 83705/ INMET	22° 44' S 45° 35' W	1600	Pfafstetter - 1957		10,144	1932-77
Cotia	Cachoeira da Graça E3-034/ DAEE	23° 39' S 46° 57' W	880	Fushiguro e Magni 1997	1974-95	22	1969-
Itu	Pirapitingui E4-023/ DAEE	23° 20' S 47° 20' W	640	Fushiguro e Magni 1997	1974-84	11	1971-
Jaguariúna	Arcadas (Amparo) D3-023/ DAEE	22° 43' S 46° 50' W	660	Toledo, Fushiguro e Magni - 1997	1969-94	26	1969-
	Us. Ester (Cosmópolis) D4-052/ DAEE	22° 40' S 47° 13' W	560		1970-94	25	1970-
Juquiá	Juquiá F4-020/ DAEE	24° 20' S 47° 37' W	67	Hidrobrasileira S A 1975	1969-71	3	1965-82
Lins	Lins 83674/ INMET	21° 40' S 49° 49' W	426	Mero e Magni - 1982	1950-62	13	1937-
				Pfafstetter - 1957		13,326	
Piracicaba	Piracicaba 83720/ INMET	22° 43' S 47° 38' W	573	Mero e Magni - 1982	1946-55	10	1912-68
				Pfafstetter - 1957		10,630	
	Piracicaba/ ESALQ	22° 42' S 47° 38' W	580	Vieira et al. - 1988	1966-86	20	
	Tupi 83859/ INMET	22° 43' S 47° 33' W	550	Pfafstetter - 1957		5,920	1941-67
Presidente Prudente	Pres. Prudente 83716/ INMET	22° 07' S 51° 23' W	460	Sudo et al. - 1981	1972-79	8	1940-
				Figueiredo	1972-82	11	
Salto de Pirapora	Salto de Pirapora E4-025/ DAEE	23° 39' S 47° 34' W	600	Fushiguro e Magni 1997	1974-96	23	1971-

Município	Nome do Posto/Entidade	Coordenadas	Alt. (m)	Autor/ Ano do Estudo	Dados Utilizados		Duração Do Posto
Santos	Santos 83782/ INMET	23° 56' S 46° 20' W	13	Mero e Magni - 1982	1924-72	49	1909-
				Pfafstetter - 1957		28,605	
	Itapema 83823/ INMET	23° 55' S 46° 25' W	3	Pfafstetter - 1957		11,118	1928-57
São Carlos	São Carlos 83726/ INMET	22° 01' S 47° 54' W	856	Pfafstetter - 1957		10,632	1928-
				Barbassa - 1991	1950-88	27	
São Paulo	IAG - E3-035/ IAG - DAEE	23° 39' S 46° 38' W	780	Mero e Magni - 1979	1931-79	49	1933-
				Wilken - 1972	1934-59	26	
				Occhipinti - 1965	1928-64	37	
	Congonhas/ DEPV	23° 37' S 46° 39' W	802	Pfafstetter - 1957		5,476	1940-
	Mirante de Santana 83781/ INMET	23° 30' S 46° 37' W	792	Pfafstetter - 1957		7,172	1936-
São Simão	São Simão 83669/ INMET	21° 29' S 47° 33' W	617	Mero e Magni - 1982	1927-64	38	1922-
				Pfafstetter - 1957		26,236	
Tapiraí	Tapiraí E4-055/ DAEE	23° 58' S 47° 30' W	870	Mero e Magni - 1982	1970-78	9	1962-
Taubaté	Taubaté 347/ INMET	23° 01' S 45° 34' W	581	Pfafstetter - 1957		5,963	1928-42
Ubatuba	Ubatuba E2-052/ DAEE	23° 26' S 45° 04' W	1	Mero e Magni - 1982	1948-78	31	1947-94
	Ubatuba 83852/ INMET	23° 26' S 45° 04' W	6	Pfafstetter - 1957		5,963	1928-54

Fontes: Barbassa (1991), DNAEE (1996), Hidrobrasileira S.A. (1975), Mero e Magni (1982), Occhipinti e Santos (1965), Pfafstetter (1982), Porto et al. (1997), Sudo et al. (1981), Vieira (1981), Vieira et al. (1988), Wilken (1978).

ELABORAÇÃO DE NOVAS EQUAÇÕES PARA O ESTADO DE SÃO PAULO

Formulação matemática

Para a definição das equações de chuvas intensas optou-se por seguir uma formulação matemática similar à que havia sido anteriormente adotada por técnicos do CTH, entre 1979 e 1982, quando da elaboração de equações para 11 localidades do Estado de São Paulo, (Mero e Magni, 1982). Desta feita, entretanto, optou-se por trabalhar somente com séries históricas anuais de intensidades de chuvas.

As equações que relacionam intensidade, duração e frequência das precipitações para cada localidade, incorporam 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. Desse modo, nesse tipo de função, as características matemáticas da distribuição adotada são preservadas na estrutura da equação a ser definida.

As equações foram determinadas a partir da expressão:

$$i_{t,T} = M_{(i)t} + \sigma_{(i)t} \cdot K_{n,T} \quad (1)$$

$$\text{com: } K_{n,T} = (y - \bar{y}) / \sigma_y = -(\bar{y} / \sigma_y) - (1 / \sigma_y) \cdot \ln \ln [T / (T - 1)] \quad (2)$$

onde:

$i_{t,T}$: intensidade da chuva (mm/min) para a duração t (min) e período de retorno T (anos);

$M_{(i)t}$: média das intensidades médias das chuvas intensas correspondentes à duração t ;

$\sigma_{(i)t}$: desvio-padrão das intensidades médias das chuvas intensas correspondente à duração t ;

$K_{n,T}$: fator de frequência 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.

Admite-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:

$$M_{(i)t} = A (t + B)^C \quad (3)$$

$$\sigma_{(i)t} = D (t + E)^F \quad (4)$$

onde: A , B , C , D , E , F são parâmetros a serem determinados para cada localidade.

Substituindo-se as três expressões anteriores na expressão 1, temos:

$$i_{t,T} = A (t + B)^C + D (t + E)^F \cdot [G + H \cdot \ln \ln [T / (T - 1)]] \quad (5)$$

Locais selecionados para a elaboração de equações

A Rede Pluviográfica do CTH, compreende hoje um total de 147 postos. Os postos desativados são em número de 57. Para a seleção das 30 localidades em que foram

efetivados os estudos (Tabela 2), foram levados em conta os seguintes fatores: distribuição territorial, variabilidade de altitude, população e importância econômica das localidades, número de anos de registro de chuvas, qualidade dos dados disponíveis.

Tabela 2 – Locais selecionados para a elaboração dos estudos

Município	Prefixo	Nome do Posto	Lat.	Long.	Alt. (m)	Dados utilizados	
						Período	Nº anos
Andradina	B8-004R	Andradina	20° 55'S	51° 22'W	370	1972-96	25
Araraquara	C5-017R	Chibarro	21° 53'S	48° 09'W	580	1970 1973-91 1993-95 1997	24
Bauru	D6-036R	Bauru	22° 19'S	49° 02'W	540	1971-73 1975-95	24
Botucatu	D5-059M	Botucatu	22° 57'S	48° 26'W	873	1967 1970-82 1984-91 1993-97	27
Bragança Paulista	D3-072M	Bragança Paulista	22° 57'S	46° 32'W	860	1981-86 1988-93 1995	13
Cachoeira Paulista	D2-013R	Cachoeira Paulista	22° 40'S	45° 01'W	520	1956-68 1970-85 1988-94	36
Campos do Jordão	D2-096R	Campos do Jordão	22° 42'S	45° 29'W	1600	1973-85 1987-91 1993-97	23
Cubatão	E3-038R	Piaçaguera	23° 52'S	46° 23'W	5	1972-90 1992-96	24
Eldorado	F5-007R	Eldorado	24° 31'S	48° 06'W	20	1946 1948-50 1952-53 1956-68 1971-97	46

Município	Prefixo	Nome do Posto	Lat.	Long.	Alt. (m)	Dados utilizados	
						Período	Nº anos
Iacri	C7-054R	Iacri	21° 52'S	50° 42'W	510	1990-91 1993-98	8
Iguape	F4-040R	Momuna	24° 42'S	47° 40'W	5	1970-77 1979-80 1983-86 1989-90 1994-97	20
Garça	D6-092R	Mundo Novo	22° 19'S	49° 46'W	660	1971-76 1978-82 1984 1986-90 1993-96	21
Itararé	F6-004R	Itararé	24° 07'S	49° 20'W	760	1970 1972-86 1988-89 1993-97	23
Itu	E4-023R	Pirapitingui	23° 20'S	47° 20'W	640	1973-84 1986-89 1991-94 1997	21
Leme	D4-030R	Cresciumal	22° 10'S	47° 17'W	600	1971-96	26
Lins	C6-015R	Fazenda São Pedro	21° 42'S	49° 41'W	480	1974-89 1991-97	23
Martinópolis	D8-041R	Laranja Doce	22° 15'S	51° 10'W	430	1970-72 1974-97	27
Piracicaba	D4-104R	Piracicaba	22° 43'S	47° 39'W	500	1980-97	18
Piraju	E6-006M	Jurumirim	23° 13'S	49° 14'W	571	1972-82 1984-97	25
Salto Grande	D6-089M	Salto Grande	22° 54'S	50° 00'W	400	1959-64 1966-67 1969-97	37

Município	Prefixo	Nome do Posto	Lat.	Long.	Alt. (m)	Dados utilizados	
						Período	Nº anos
São J. Rio Pardo	C3-035R	São J. Rio Pardo	21° 36'S	46° 54'W	660	1945-46 1948-69 1971-76 1978-96	49
São J. Rio Preto	B6-020R	São J. Rio Preto	20° 48'S	49° 23'W	470	1971-97	27
São Paulo	E3-035	IAG/USP	23° 39'S	46° 38'W	780	1933-97	65
Serrana	C4-083R	Serrana	21° 13'S	47° 36'W	540	1972-85 1988-94 1996	22
Tapiraí	E4-055R	Tapiraí	23° 58'S	47° 30'W	870	1969-97	29
Tatuí	E5-062R	Campo do Paiol	23° 23'S	48° 02'W	640	1971 1973-91 1993-97	25
Taubaté	E2-022R	Taubaté	23° 02'S	45° 34'W	610	1964-65 1969-88 1990-97	30
Teodoro Sampaio	D9-020R	Pontal	22° 37'S	52° 10'W	255	1976-97	22
Ubatuba	E2-052R	Ubatuba	23° 26'S	45° 04'W	1	1948 1950 1953-59 1963-94	41
Votuporanga	B6-036R	Votuporanga	20° 26'S	49° 59'W	510	1966-68 1970-75 1977-86 1988-97	29

Desenvolvimento do trabalho

O trabalho foi desenvolvido conforme as etapas relacionadas abaixo.

a) Leitura de pluviogramas e digitação pela Prodesp

Para os 30 locais selecionados, em função da paralização que tinha ocorrido nas atividades de leitura, foi necessário efetuar as leituras dos pluviogramas, para períodos diversos, complementando os dados que faltavam, até o ano de 1997. No total, foram lidos 2426 eventos de precipitações intensas.

b) Análise dos dados gravados e geração das séries históricas

. os dados digitados são recuperados através de um micro computador conectado à Prodesp;

- . utilizando-se um programa computacional desenvolvido no CTH, é realizada a consistência dos dados, obtendo-se arquivos com valores de alturas de chuva a cada intervalo de 5 minutos;
- . os arquivos gerados são transmitidos via terminal para a Prodesp;
- . pelo terminal Prodesp é acionado um programa computacional no “mainframe”, o qual, como produto, fornece as séries históricas de máximas intensidades de chuvas anuais, padronizadas para durações de precipitações de 10, 20, 30, 60, 120, 180, 360, 720, 1080 e 1440 minutos.

c) Equacionamento

- . verificação do ajuste das precipitações intensas à distribuição de Gumbel e determinação da expressão genérica do fator de frequência ($K_{n,T}$);
- . determinação, por regressão, das expressões matemáticas para a média e o desvio-padrão.

Resultados obtidos

A Tabela 3 mostra os coeficientes obtidos para as equações de chuvas intensas, concernentes às diversas estações pluviográficas analisadas, atendendo ao formato da Expressão 5.

Tabela 3 – Coeficientes das equações de chuvas intensas agrupadas em equações do tipo:

$$i_{t,T} = A (t + B)^C + D (t + E)^F \cdot [G + H \cdot \ln \ln [T / (T - 1)]] \quad (5), \text{ para } 10 \leq t \leq 1440$$

com $i_{t,T}$: intensidade da chuva (mm/min) para a duração t (min) e o período de retorno T (anos)

LOCALIDADE		COEFICIENTES							
		A	B	C	D	E	F	G	H
ANDRADINA		34,5743	20	-0,8809	2,6906	10	-0,6683	-0,4766	-0,8977
ARARAQUARA	10 ≤ t ≤ 105	32,4618	15	-0,8684	2,1429	15	-0,5482	-0,4772	-0,9010
	105 < t ≤ 1440	32,4618	15	-0,8684	18,4683	15	-0,9984	-0,4772	-0,9010
BAURU		35,4487	20	-0,8894	5,9664	20	-0,7749	-0,4772	-0,9010
BOTUCATU		30,6853	20	-0,8563	3,9660	10	-0,7566	-0,4754	-0,8917
BRAGANÇA		33,7895	30	-0,8832	5,4415	10	-0,8442	-0,4885	-0,9635
CACHOEIRA		57,1456	30	-0,9495	22,7285	30	-0,9986	-0,4716	-0,8716
CAMPOS DO JORDÃO		19,1535	15	-0,7928	2,0341	5	-0,6590	-0,4778	-0,9046
CUBATÃO		25,1025	20	-0,7522	6,4266	20	-0,7050	-0,4772	-0,9010
ELDORADO		38,4622	30	-0,8939	19,0899	30	-0,9296	-0,4688	-0,8573
GARÇA		52,0793	30	-0,9365	12,1571	20	-0,9424	-0,4793	-0,9126
IACRI		33,3984	20	-0,8486	2,2482	5	-0,6276	-0,5009	-1,0334

Tabela 3 – Coeficientes das equações de chuvas intensas agrupadas em equações do tipo:

$$i_{t,T} = A (t + B)^C + D (t + E)^F \cdot [G + H \cdot \ln \ln [T / (T - 1)]] \quad (5), \text{ para } 10 \leq t \leq 1440$$

com $i_{t,T}$: intensidade da chuva (mm/min) para a duração t (min) e o período de retorno T (anos)

LOCALIDADE		COEFICIENTES							
		A	B	C	D	E	F	G	H
IGUAPE	$10 \leq t \leq 120$	129,8902	77	-0,9373	1,7487	77	-0,2852	-0,4801	-0,9171
	$120 < t \leq 1440$	129,8902	77	-0,9373	31,7694	77	-0,8328	-0,4801	-0,9171
ITARARÉ		20,0196	10	-0,7961	11,4493	10	-0,9224	-0,4778	-0,9046
ITU		52,9364	30	-0,9526	8,0659	25	-0,8537	-0,4793	-0,9126
LEME		35,1348	20	-0,8823	7,9502	20	-0,8101	-0,4760	-0,8946
LINS		57,4647	30	-0,9386	16,5999	65	-0,9078	-0,4778	-0,9046
MARTINÓPOLIS		51,3805	30	-0,9334	20,5323	40	-0,9671	-0,4754	-0,8917
PIRACICABA		47,8273	30	-0,9110	19,2043	30	-0,9256	-0,4820	-0,9273
PIRAJU		37,3614	30	-0,8660	10,0167	60	-0,8427	-0,4766	-0,8977
SALTO GRANDE		24,4615	20	-0,8479	5,1394	10	-0,8016	-0,4713	-0,8699
S.J. DO RIO PARDO		24,1997	20	-0,8367	3,9564	10	-0,7504	-0,4681	-0,8540
S.J. DO RIO PRETO		57,6545	30	-0,9480	13,1313	30	-0,9485	-0,4754	-0,8917
SÃO PAULO		39,3015	20	-0,9228	10,1767	20	-0,8764	-0,4653	-0,8407
SERRANA		39,8213	25	-0,8987	9,1245	15	-0,8658	-0,4786	-0,9085
TAPIRAÍ		27,4379	20	-0,8447	4,3767	15	-0,7369	-0,4744	-0,8863
TATUI		19,7523	20	-0,7872	5,5111	20	-0,7609	-0,4766	-0,8977
TAUBATÉ		54,5294	30	-0,9637	11,0319	20	-0,9116	-0,4740	-0,8839
TEODORO SAMPAIO		47,2091	30	-0,9150	7,0141	20	-0,8321	-0,4786	-0,9085
UBATUBA		28,4495	40	-0,7564	17,2878	70	-0,8236	-0,4700	-0,8637
VOTUPORANGA		59,1192	30	-0,9566	7,5593	30	-0,8250	-0,4744	-0,8863

ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA A CIDADE DE SÃO PAULO

Neste item são analisados os resultados obtidos para o posto do IAG (Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo), localizado no Parque do Estado, na cidade de São Paulo, incorporado à rede do DAEE/ CTH, com o prefixo E3-035.

Equações anteriormente elaboradas

A Tabela 4 mostra as informações pertinentes às três equações de chuvas intensas elaboradas para o posto do IAG, anteriormente à realização deste estudo.

Tabela 4 - Equações de chuvas intensas para o posto do IAG, em São Paulo, anteriores a este estudo

Posto/ Entidades	Coorde- nadas	Altitude (m)	Autor / Ano do Estudo	Dados Utilizados	
				Período	Nº de anos
IAG – Parque do Estado (E3-035) IAG / DAEE	23° 39' S 46° 38' W	780	Occhipinti e Santos – 1965	1928-64	37
			Wilken – 1972	1934-59	26
			Mero e Magni – 1979	1931-79	49

* **OBS:** O posto pluviográfico existe desde 1928, sendo que, de 1928 a 1932, funcionou na Avenida Paulista.

As equações elaboradas são abaixo transcritas, sendo que é empregada a simbologia:

i: 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.

. Occhipinti e Santos (1965)

Para $t \leq 60$ minutos:

$$i_{t,T} = 27,96 \ T^{0,112} (t + 15)^{-0,86T^{-0,0144}} \quad (6)$$

Para $60 \text{ minutos} < t \leq 1440 \text{ minutos}$:

$$i_{t,T} = 20,21 \ T^{0,15} t^{-0,82} \quad (7)$$

. Wilken (1978)

$$i_{t,T} = 29,13 \ T^{0,181} (t + 15)^{-0,89} \quad (8)$$

. Mero e Magni (1979)

Para $10 \text{ minutos} \leq t \leq 60 \text{ minutos}$:

$$i_{t,T} = 37,05 (t + 20)^{-0,914} + (t + 20)^{-0,914} \cdot [-5,966 - 10,88 \ln \ln (T / T - 1)] \quad (9)$$

Para $60 \text{ minutos} < t \leq 1440 \text{ minutos}$:

$$i_{t,T} = 19,24 t^{-0,821} + t^{-0,821} \cdot [-3,098 - 5,65 \ln \ln (T / T - 1)] \quad (10)$$

Elaboração de nova equação

A série histórica de máximas intensidades de chuvas anuais observadas, utilizada para a elaboração da equação de precipitações intensas, corresponde a 65 anos de dados (1933 a 1997).

Na efetivação do ajuste para a obtenção das expressões da média e do desvio-padrão, 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 1440 minutos).

Assim, utilizando-se a formulação matemática (Equação 5) e a metodologia anteriormente definida, foi determinada a seguinte equação:

$$i_{t,T} = 39,3015 (t + 20)^{-0,9228} + 10,1767 (t + 20)^{-0,8764} \cdot [-0,4653 - 0,8407 \ln \ln(T/T - 1)] \quad (11)$$

para: 10 minutos $\leq t \leq$ 1440 minutos

com: i: intensidade da chuva (mm/mm), para a duração t (min) e período de retorno T (anos).

Os valores previstos de máximas alturas de precipitações, para alguns períodos de retorno e durações típicas, em mm, constam da Tabela 5.

Tabela 5 - 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

Nas Figuras 1 e 2, são mostradas as curvas I-D-F (que relacionam intensidade, duração e frequência das precipitações intensas), obtidas a partir da Equação 11.

Na Tabela 6 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. Verifica-se que a equação formulada neste trabalho fornece valores de intensidades de chuvas próximos dos obtidos com as equações anteriormente elaboradas, particularmente em relação à equação definida por Mero e Magni, em 1979.

Nas Figuras 3 a 6 são representadas graficamente as 4 equações que relacionam intensidade - duração e período de retorno das precipitações, para durações de chuvas de 10, 30, 60 e 1440 minutos (24 horas).

Tabela 6 - Diferenças percentuais médias com relação às equações anteriores

Duração t (minutos)	Diferenças Percentuais Médias		
	Mero e Magni - 1979	Wilken - 1972	Occhipinti e Santos - 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

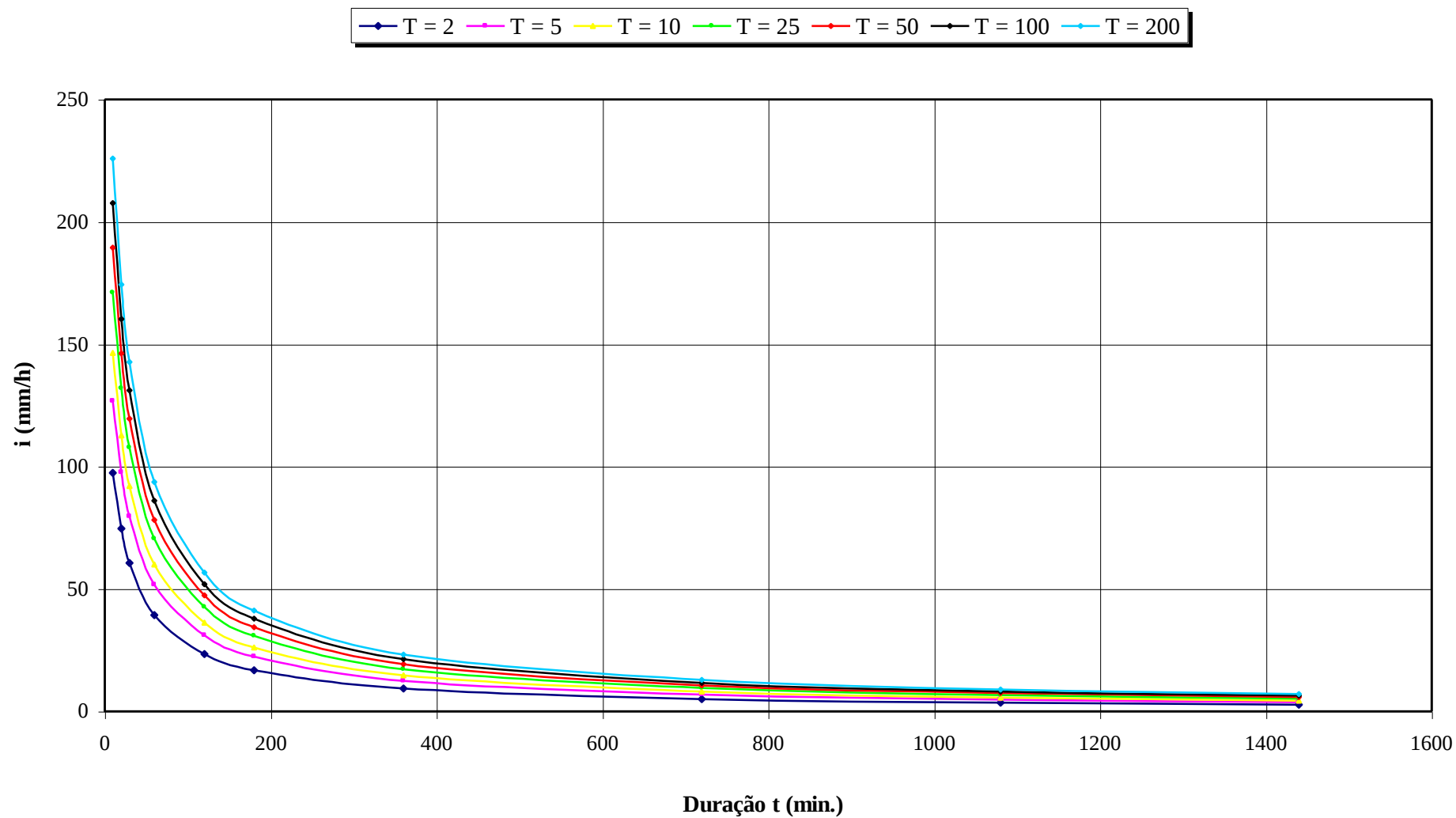


Figura 1 - SÃO PAULO: CURVAS I-D-F EM FUNÇÃO DO PERÍODO T (ANOS)

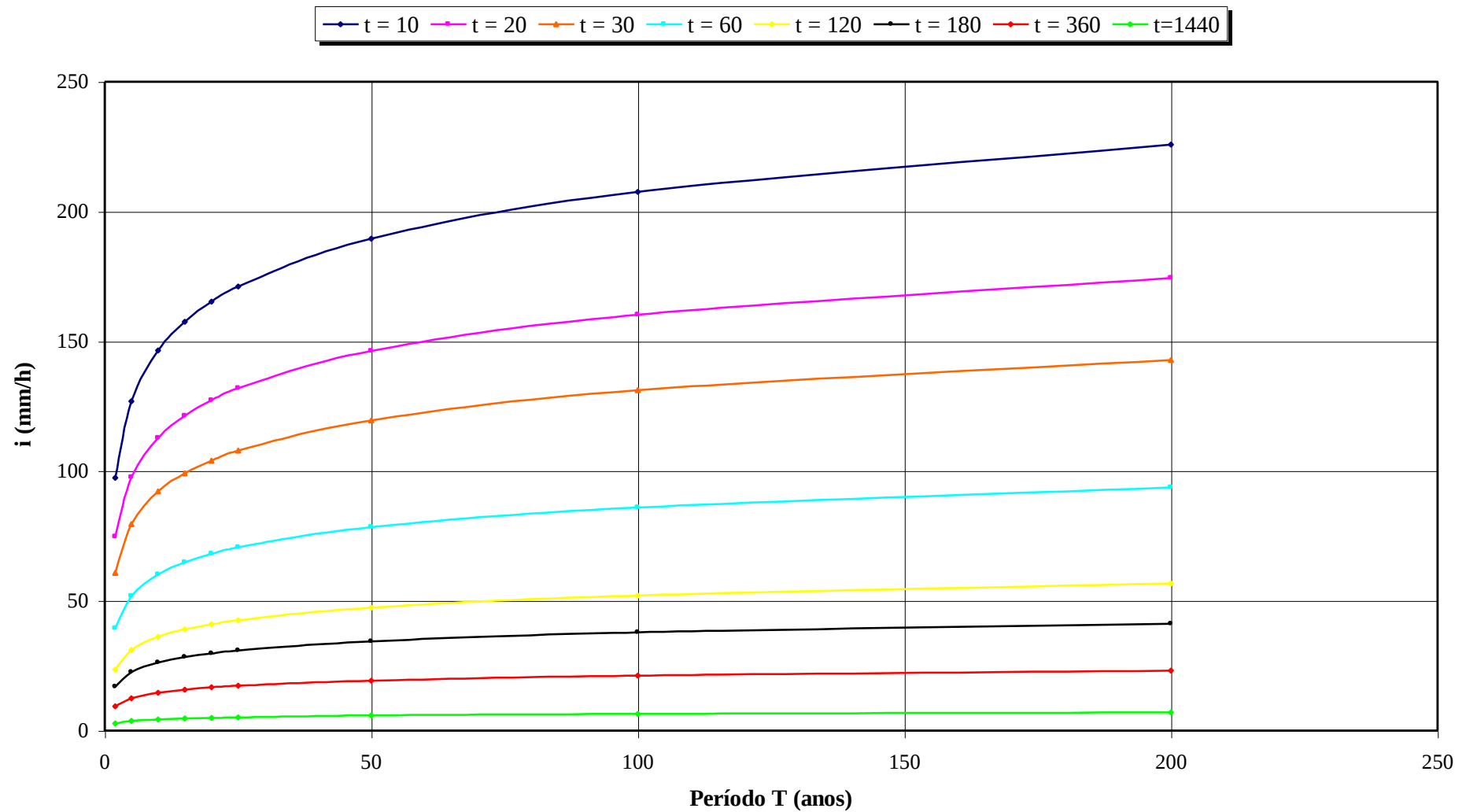


Figura 2 - SÃO PAULO: CURVAS I-D-F EM FUNÇÃO DA DURAÇÃO DA CHUVA t (MINUTOS)

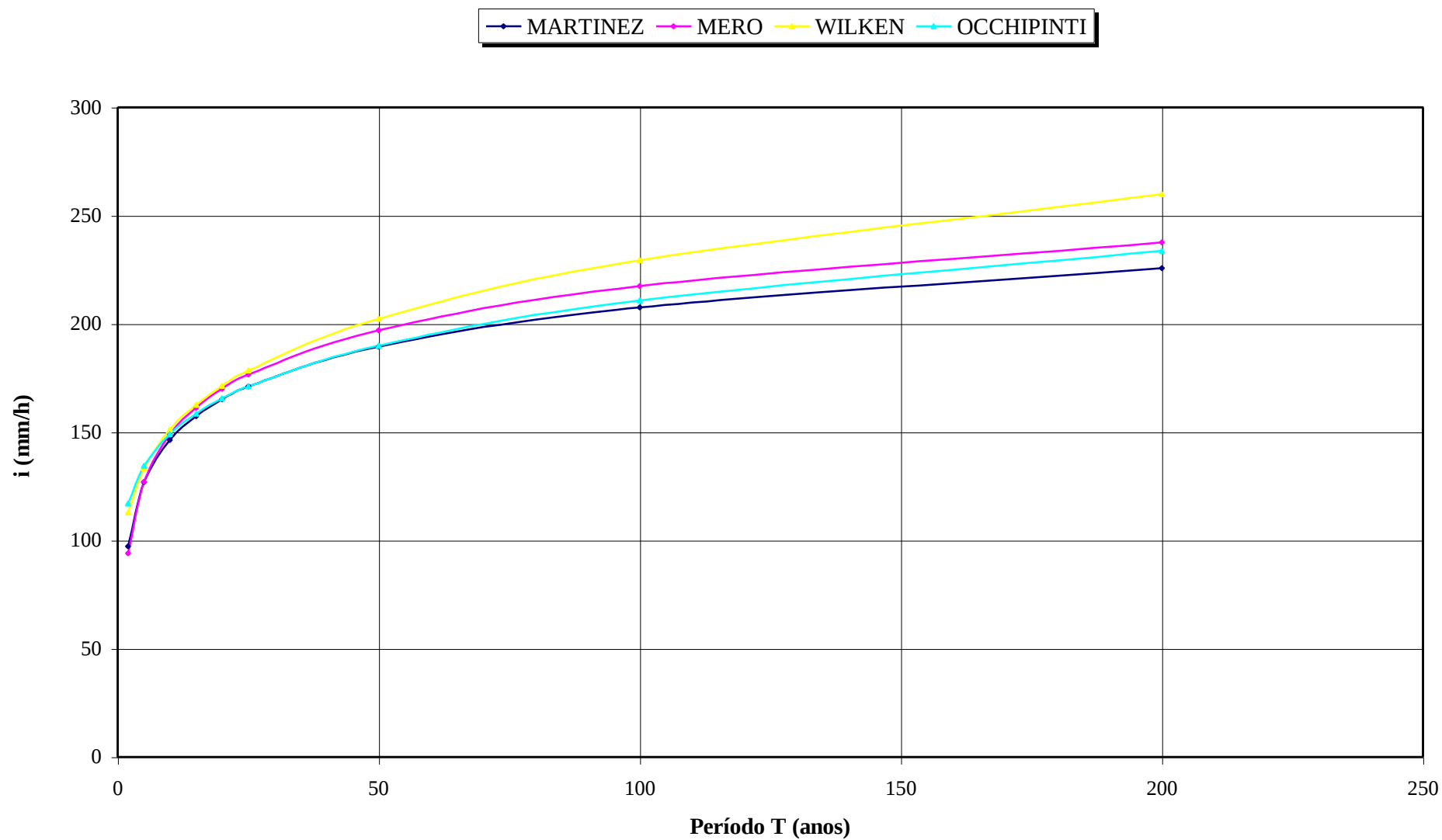


Figura 3 - SÃO PAULO: EQUAÇÕES PARA $t = 10$ minutos

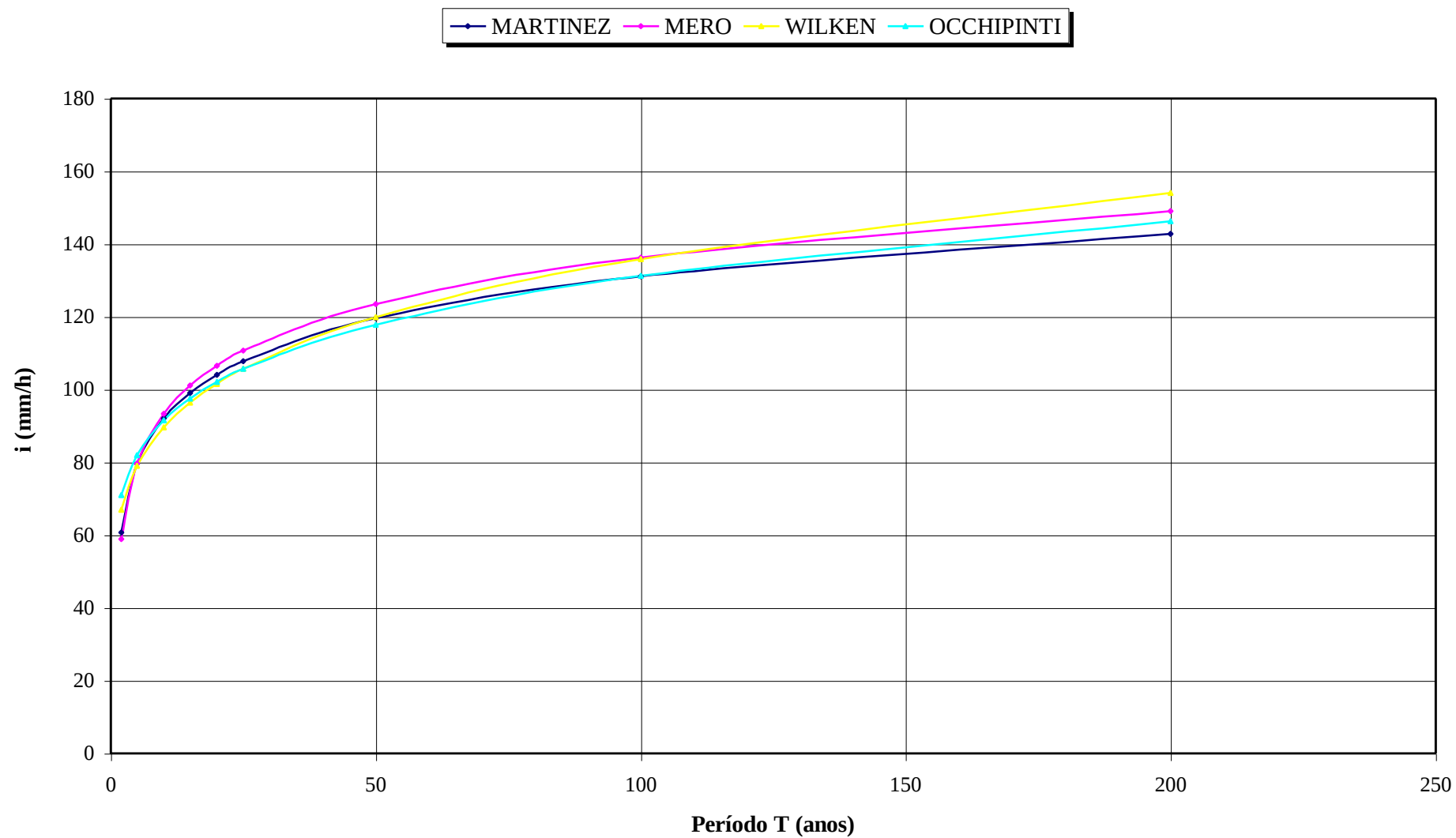


Figura 4 - SÃO PAULO: EQUAÇÕES PARA $t = 30$ minutos

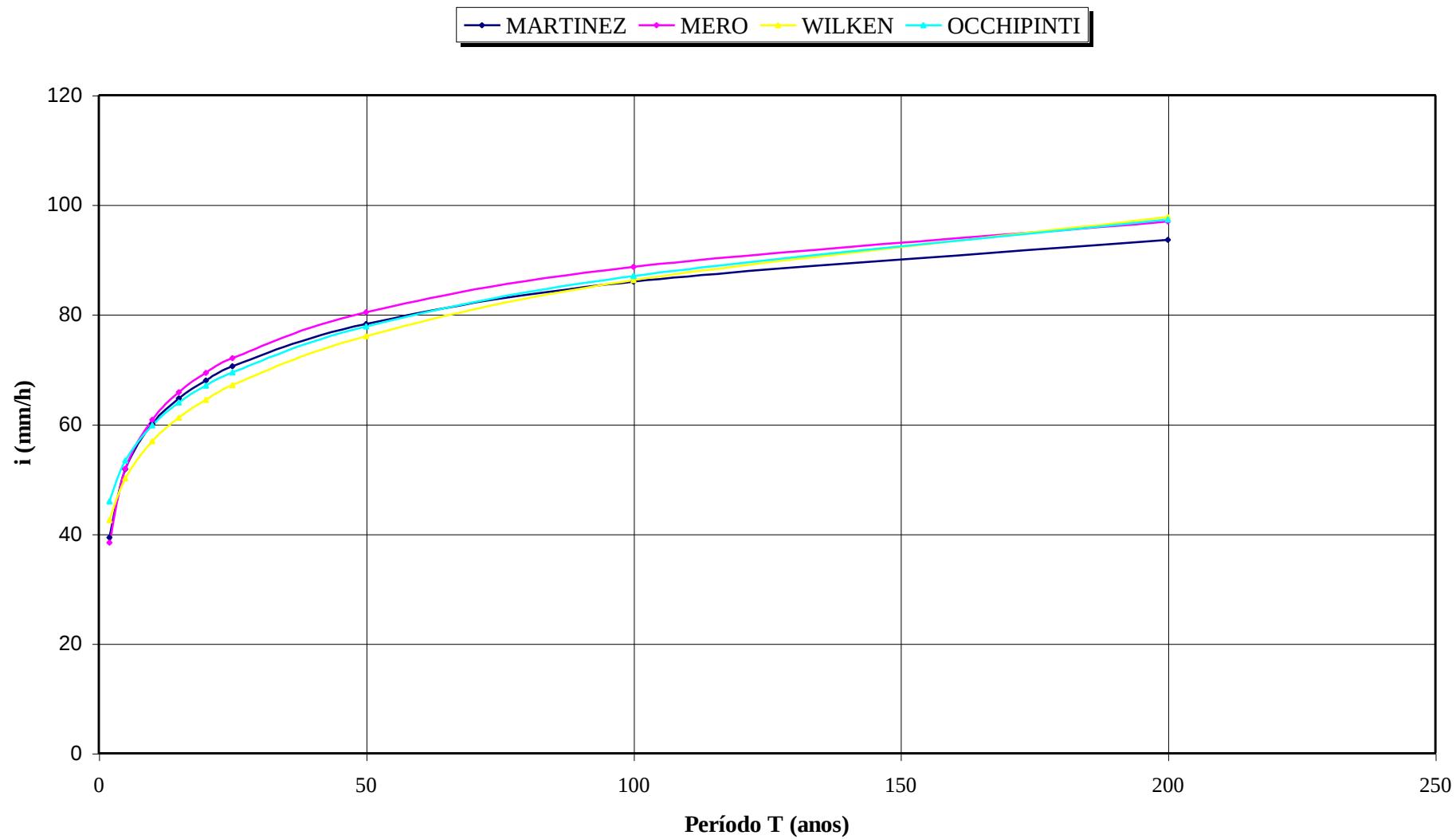


Figura 5 - SÃO PAULO: EQUAÇÕES PARA $t = 60$ minutos

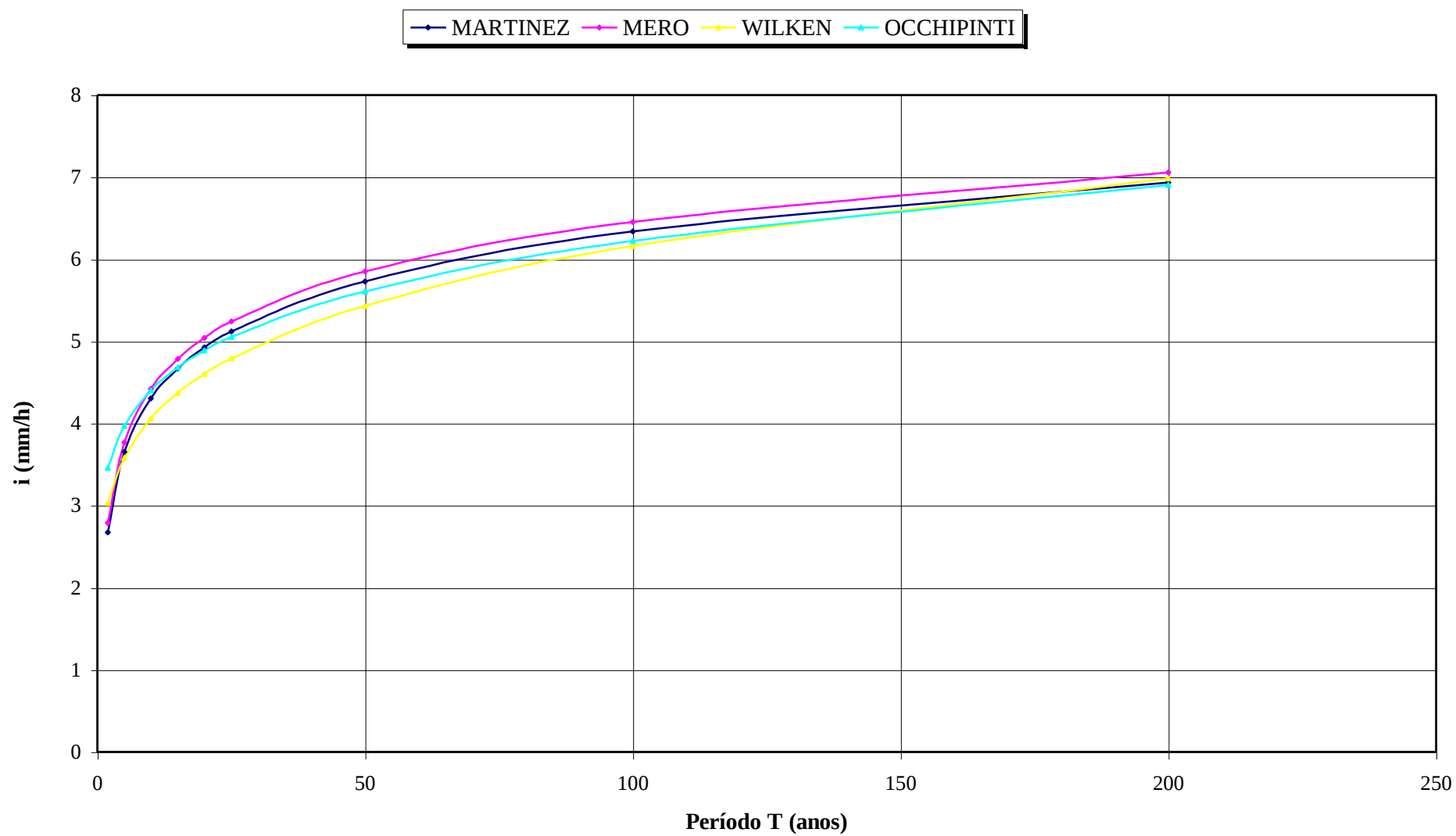


Figura 6 - SÃO PAULO: EQUAÇÕES PARA $t = 1440$ minutos

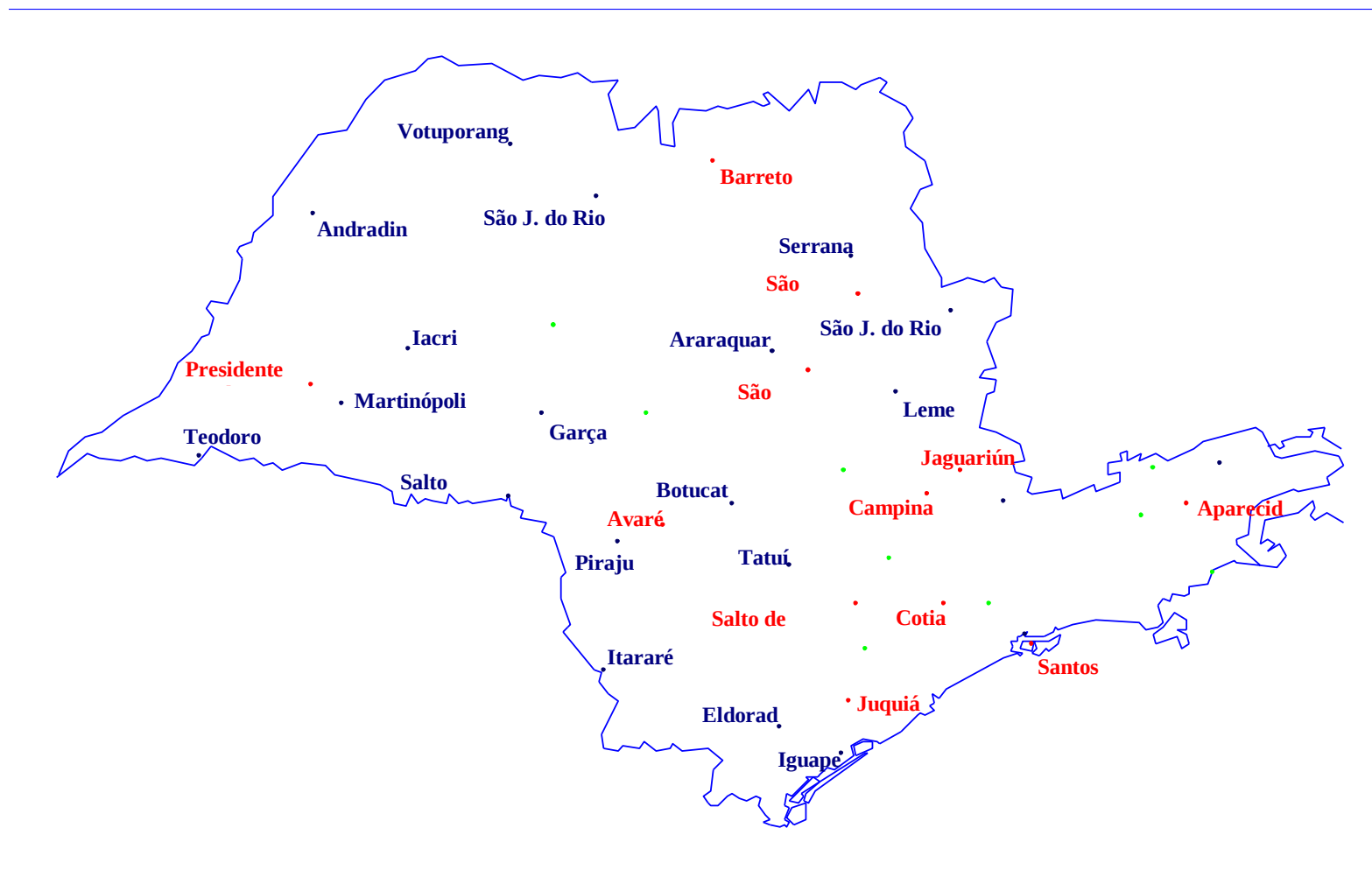


Figura 7 - Municípios com equações I-D-F no Estado de São

- 21 municípios com novas
- 9 municípios com equações
- 12 municípios com equações

CONCLUSÕES

Com as equações de chuvas intensas aqui elaboradas, que consideraram postos pluviográficos localizados em 30 municípios, pode ser constatada a existência de equações para 53 postos pluviográficos, situados em 42 municípios do Estado de São Paulo (Figura 7), o que possibilita um bom conhecimento das relações intensidade – duração – frequência das precipitações intensas em território paulista.

De um modo geral, na efetivação do ajuste para a obtenção das expressões da média e do desvio-padrão, 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 1440 minutos). Como exceções, foram constatados os postos pluviográficos localizados nos municípios de Araraquara e Iguape, nos quais foram nitidamente observados dois regimes distintos de chuvas, em função do seu tempo de duração; assim, foi necessário definir duas equações para cada um destes postos.

Para a maior parte dos postos pluviográficos estudados, considerando-se as extensas séries históricas de dados disponíveis, e, em função dos excelentes ajustes das intensidades das precipitações à distribuição de Gumbel, pode-se afirmar que não haverá a necessidade de elaborar novas equações, pois os valores previstos para as intensidades pluviométricas não deverão variar significativamente.

Para alguns poucos casos, em que a amostra considerada, ou seja a série histórica de dados é pouco extensa, recomenda-se, no futuro, a revisão das equações aqui formuladas. Pelo que foi observado neste estudo, pode-se definir uma amostra de 20 anos como suficiente para definir de forma consistente os valores da média e do desvio-padrão e, conseqüentemente, as equações de chuvas intensas. Assim, entre as equações que deverão ser futuramente revisadas, encontram-se as formuladas para as estações pluviográficas localizadas nos municípios de Iacri, Bragança Paulista e Piracicaba.

Com relação às localidades com postos pluviográficos aqui analisados e que já dispunham de equações anteriormente elaboradas, pode-se dizer que as equações apresentadas neste trabalho são mais adequadas para a previsão das intensidades de precipitações, visto que, além de contemplarem uma série histórica significativamente mais longa, incorporam possíveis alterações havidas no regime de chuvas.

No caso do posto do IAG, localizado no Parque do Estado, na cidade de São Paulo, constatou-se que a equação de chuvas intensas formulada neste trabalho fornece valores de intensidades de precipitações próximos dos obtidos com as equações anteriormente elaboradas, particularmente em relação à equação determinada por Mero e Magni, em 1979, que utiliza a mesma formulação matemática. Este fato, corroborado pela extensão da série histórica de dados de chuvas disponíveis, com 65 anos, evidencia que, neste caso, não houve alteração no regime das precipitações intensas ao longo do período de observação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBASSA, A.P.** *Simulação do efeito da urbanização sobre a drenagem pluvial na cidade de São Carlos, SP.* Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento. São Carlos, 1991. 312p.
- BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL de ÁGUAS e ENERGIA ELÉTRICA. COORDENAÇÃO GERAL de RECURSOS HÍDRICOS.** *Inventário das estações pluviométricas.* Equipe técnica: Délio Fernandes; Dionísio Ferreira dos Santos; Marcos Vinícius Diniz Araújo /et al./ Brasília: DNAEE, 1996. 1v.
- CHOW, Ven Te.** A general formula for hydrologic frequency analysis. *TRANS. AMER. GEOPHYS. UNION*, v.32, 1951.
- MERO, Félix; SALEMI FILHO, Alfredo; MAGNI, Nelson Luiz Goi & PAGNOCCHESCHI, Bruno.** Análise das precipitações intensas na cidade de São Paulo. *COMUNICAÇÃO TÉCNICA. CENTRO TECNOLÓGICO de HIDRÁULICA*, São Paulo, n.7, 98p., 1979.
- PORTO, Rubem La Laina; ZAHED FILHO, Kamel & ROBERTO, Alexandre Nunes.** *Programa Computacional ABC5 WIN.* São Paulo: EPUSP, 1997.
- PFAFSTETTER, Otto.** *Chuvas intensas no Brasil: relação entre precipitação, duração e frequência de chuvas, registradas com pluviômetros, em 98 postos meteorológicos.* 2ª ed. Rio de Janeiro: DNOS, 1982. 426p.
- SÃO PAULO (ESTADO). DEPARTAMENTO de ÁGUAS e ENERGIA ELÉTRICA.** *Estudo de aproveitamento agrícola na planície aluvional do Rio Ribeira de Iguape.* São Paulo: DAEE/HIDROBRASILEIRA, 1975. v.2 (RP-2)
- _____. *CENTRO TECNOLÓGICO de HIDRÁULICA. Precipitações intensas no Estado de São Paulo: apresentação prática das relações precipitação x duração x tempo de retorno obtidas para 11 cidades* /por/ Nelson Luiz Goi Magni /e/ Félix Mero. São Paulo: DAEE/CTH, 1982. 187p.
- SUDO, Hideo; RAO, Nandamudi Jagan Mohana; MARTINEZ JÚNIOR, Francisco et al.** Análise intensidade-duração-frequência para Presidente Prudente, SP. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO de HIDROLOGIA e RECURSOS HÍDRICOS*, ABRH, 4º, Fortaleza, CE., 1981. *Anais.* Fortaleza, ABRH, 1981. v.1, p.387-402.
- UNIVERSIDADE de SÃO PAULO. INSTITUTO ASTRONÔMICO e GEOFÍSICO.** *Análise das máximas intensidades de chuvas na cidade de São Paulo* /por/ Antônio Garcia Occhipinti /e/ Paulo Marques dos Santos. São Paulo: IAG, 1965. 40p.
- VIEIRA, D.B.** Análise das máximas intensidades de chuvas na cidade de Campinas. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO de HIDROLOGIA e RECURSOS HÍDRICOS*, ABRH, 4º, Fortaleza, CE., 1981. *Anais.* Fortaleza: ABRH, 1981. v.1, p.375-386.
- _____; **FERRÃO, A.M.A. & ZUFFO, A.C.** Estudo das máximas intensidades de chuva para a região de Piracicaba. *In: CONGRESSO NACIONAL de IRRIGAÇÃO e DRENAGEM*, 8º, ABID, Florianópolis, SC., 1988. *Anais.* Florianópolis, ABID, 1988. v.2, p.1085-1099.
- WILKEN, Paulo Sampaio.** *Engenharia de drenagem superficial.* São Paulo: CETESB.