

CHUVAS INTENSAS NO ESTADO DE SÃO PAULO: ESTUDOS EXISTENTES E ANÁLISE COMPARATIVA

Abel Maia Genovez e Antonio Carlos Zuffo

Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP
Caixa Postal 6021 - CEP 13083-970 – Campinas, SP
genovez@fec.unicamp.br e zuffo@fec.unicamp.br

RESUMO

Muitos projetos de engenharia utilizam dados de chuvas intensas, sendo que os dados disponíveis, em muitas partes do mundo, não são suficientes para permitir uma estimativa razoável. Existe um grande número de estudos sobre a relação Intensidade de chuva - Duração - Freqüência (IDF) para o Estado de São Paulo. Estes estudos compreendem as equações IDF locais (também chamadas equações de chuvas intensas) e generalizadas, as relações entre chuvas intensas de diferentes durações e os mapas de isoetas.

O objetivo deste estudo é apresentar a maioria dos trabalhos já realizados, procurando ressaltar o tamanho da(s) série(s) observada(s) utilizada(s), o período que abrangem e o(s) intervalo(s) de aplicabilidade. Posteriormente é apresentada uma análise comparativa entre os diferentes métodos, para se obter a intensidade da chuva, associada a uma dada duração e período de retorno. Pretende-se, desta forma, fornecer subsídios que permitam a melhor escolha entre os vários métodos disponíveis para a obtenção da intensidade de precipitação, o que vai depender obviamente do local a ser estudado.

INTRODUÇÃO

A necessidade de informações sobre as precipitações de determinadas durações e freqüências é muito grande, como por exemplo em projetos hidráulicos diversos, como os relacionados a drenagem urbana e agrícola, tais como galerias de águas pluviais, bueiros, reservatórios de detenção (piscinões), vertedores, de proteção contra as erosões entre outros projetos que consideram a intensidade das precipitações associadas a períodos de retorno. Um dos mais importantes usos das chuvas intensas de certa freqüência é a estimativa de vazões máximas para rios com poucas ou nenhuma medição de vazões, geralmente cursos d'água de pequenas bacias, urbanas ou rurais, e que constituem a macro-drenagem natural dessas bacias.

Para estimar essas precipitações para os locais onde não se dispõe de dados de pluviógrafo ou onde as séries observadas são muito pequenas, vários estudos têm sido desenvolvidos, de tal forma a permitir uma associação à freqüência, no sentido de se estabelecer as relações entre as chuvas de diferentes durações, equações Intensidade - Duração - Freqüência (IDF) ou ainda mapas de isoetas. As equações IDF são também chamadas equações de chuvas intensas.

Na primeira parte deste trabalho faz-se um levantamento dos vários estudos realizados no Estado de São Paulo e que poderiam permitir a estimativa direta ou indireta da intensidade de precipitação para qualquer localidade do Estado. Na segunda, é feita uma análise comparativa entre os diferentes métodos para se obter a chuva intensa para um dado local, associada a uma dada duração e um período de retorno. Procura-se ressaltar, nesta fase, a aplicabilidade de cada método, suas virtudes e defeitos. Desta forma pretende-se apresentar as diferentes metodologias disponíveis, bem como fornecer os subsídios para a escolha do melhor método para cada local e situação.

ESTUDOS EXISTENTES

Equações de Intensidade de precipitação - Duração - Freqüência (IDF) ou de chuvas intensas

Pfafstetter (1957) apresenta curvas de intensidade de precipitação - duração - freqüência para 98 localidades do Brasil, baseando-se em dados dos postos do serviço de meteorologia do Ministério da Agricultura. Foram estudados os seguintes locais do Estado de São Paulo: Avaré, Bauru, Campos do Jordão, Congonhas, Lins, Mirante Sant'Ana, Piracicaba, Santos - Itapema, Santos, São Carlos, São Simão, Taubaté, Tupi e Ubatuba.

Baseando-se em dados de 12 postos do Estado de São Paulo e de 3 postos próximos, Setzer (1973) apresenta os valores de alturas de chu-

vas máximas para as durações de 15, 30, 60, 120 e 240 minutos, para os períodos de retorno de 10, 25 e 50 anos. Apresenta as curvas de intensidade de chuvas máximas para a cidade de São Paulo em função da duração. Também são apresentados os mapas de isoetas de intensidades de chuvas para as durações de 15, 30 e 60 minutos e períodos de retorno de 10, 25 e 50 anos, respectivamente. Os períodos de dados analisados são muito variáveis. Os locais estudados no Estado de São Paulo foram: Ubatuba, Santos, Paranaguá, Campos do Jordão, São Simão, São Carlos, São Paulo, Avaré, Taubaté, Lins, Piracicaba e Bauru. Fora do Estado estudou as seguintes localidades: Resende (RJ), Volta Redonda (RJ) e Jacarezinho (PR).

Para algumas cidades do Estado de São Paulo foram obtidas as equações IDF as quais foram apresentadas da seguinte forma:

$$i = \frac{a \cdot Tr^m}{(t+b)^n} \quad (1)$$

em que: i é a intensidade máxima da precipitação, em mm/hora; t é a duração da precipitação, em minutos; Tr é o tempo de recorrência, em anos. Na Tabela 1 são apresentados os valores de a , b , m e n para cada cidade, bem como a latitude, a longitude, os intervalos de aplicação e os autores.

Para as cidades de Aparecida, Avaré, Barretos, Bauru, Lins, Piracicaba, Santos, São Paulo, São Simão, Tapiraí e Ubatuba, no Estado de São Paulo, Magni e Mero (1982) apresentam as relações intensidade da precipitação - duração - período de retorno por meio de equações, gráficos e tabelas. As equações de chuvas intensas obtidas foram genericamente agrupadas na equação abaixo:

$$i_{t,Tr} = a_j \cdot (t + b_j)^{c_j} + \left[f_k + g_k \cdot \ln \cdot \ln \left(\frac{Tr}{Tr-1} \right) \right] + m_j \cdot (t + p_j)^{q_j} \cdot \ln(Tr - 0,5) \quad (2)$$

sendo:

$$\begin{array}{ll} j = k = 1 & p/ \quad 10 \leq t \leq 60 \\ j = k = 2 & p/ \quad 60 < t \leq 180 \\ j = 2 \text{ e } k = 3 & p/ \quad 180 < t \leq 1440 \end{array}$$

em que: $i_{t,Tr}$ é a intensidade média em mm/min; t é a duração da chuva em min; Tr é o período de re-

torno em anos; a_j , b_j , c_j , d_j , e_j , f_k , g_k , m_j , p_j , q_j , são os coeficientes apresentados na Tabela 2.

Equações de chuvas intensas generalizadas

Bell (1969) propôs uma equação altura de precipitação - duração - freqüência (IDF) generalizada, obtida com dados dos USA, dada por:

$$P_t^{Tp} = (0,21 \cdot \ln Tp + 0,52)(0,54 \cdot t^{0,25} - 0,5)P_1^{10} \quad (3)$$

para: $2 \leq Tp \leq 100$ (anos) e $5 \leq t \leq 120$ (minutos)

em que: P_t^{Tp} é a altura de chuva para a duração t horas e o período de retorno da série parcial Tp e t é a duração da chuva em minutos.

Uehara et al. (1980) estudaram as chuvas intensas, preocupados com as estimativas baseadas em relações IDF, com uma metodologia idêntica a usada por Bell (1969) e obtiveram para o Brasil a seguinte expressão:

$$P_t^{Tp} = (0,58 + 0,1824 \cdot \ln Tp)(0,497 \cdot t^{0,27} + 0,5)P_1^{10} \quad (4)$$

para: $2 \leq Tp \leq 100$ (anos) e $5 \leq t \leq 120$ (minutos)

Uehara et al. (1980) propuseram, também, uma equação para determinação de alturas precipitadas, generalizada para o Estado de São Paulo, baseando-se em dados de chuvas de postos localizados na Água Funda, Avaré, Bauru, Bom Fim, Lins, São Simão, Santos, e Ubatuba, e usando séries anuais, obtiveram:

$$P_t^T = (0,22 \cdot \ln T + 0,50)(0,38 \cdot t^{0,31} - 0,39)P_1^{10} \quad (5)$$

Com a mesma metodologia utilizada por Bell (1969), foi assumido os mesmos intervalos de aplicação da Equação (4) para a Equação (5).

Em 1983, Chen apresenta um outro equacionamento IDF, sendo dada por:

$$i_t^T = \frac{a_1 \cdot i_1^{10} \cdot \log(10^{2-x} \cdot T_p^{x-1})}{(t+b)^c} \quad (6)$$

para: $Tp \geq 1$ ano e, $5 \text{ min} \leq t \leq 24$ horas

em que a_1 , b e c são parâmetros a serem obtidos de um gráfico apresentado em Chen (1983), em

Tabela 1. Equações intensidade de precipitação - duração- frequência para cidades do Estado de São Paulo.

Cidade	a	b	m	n	Latitude	longitude	Aplicação	Período	Autores
São Paulo	1677,6	15	0,112	$0,86 \cdot T_R^{-0,0144}$	23° 39' S	46° 38' W	5 min ≤ t ≤ 1 h	1928-1964	Occhipinti e Marques (1965)
São Paulo	1232,7	0	0,15	0,82	23° 39' S	46° 38' W	1 h < t ≤ 24 h	1928-1964	Occhipinti e Marques (1965)
São Paulo	1747,9	15	0,181	0,89	23° 31' S	46° 41' W	t ≤ 2 h	1934-1959	Wilken (1978)
Limeira	4653,8	25	0,1726	$1,087 \cdot T_R^{0,0056}$	22° 38' S	47° 24' W	t ≤ 2 h	1953-1976	Vieira e Medeiros (1986)
Campinas	2524,9	20	0,136	$0,948 \cdot T_r^{-0,007}$	22° 53' S	47° 04' W	t ≤ 2 h	1945-1977	Vieira (1981)
Presidente Prudente	834,4	15	0,168	0,7247	22° 07' S	51° 23' W		1972-1979	Sudo et al. (1981)
Ribeirão Preto	2421,3	40	0,085	$1,358 \cdot T_R^{-0,0454}$	21° 11' S	47° 18' W		1957-1980	Vieira e Souza (1983)
Botucatu	1648	12	0,141	0,866	22° 55' S	48° 17' W	t ≤ 2 h	1971-1982	Leopoldo et al. (1984)
Piracicaba	$3298,3 + 651,36 \cdot \ln(T_R)$	24	0	1,034	22° 42' S	47° 38' W	t ≤ 2 h	1966-1986	Vieira et al. (1988)
Pindorama	2694	20	0,14	0,92	21° 31' S	48° 55' W	t ≤ 2 h	1970-1988	Vieira et al. (1994)
Mococa	2667	20		0,96	21° 28' S	47° 01' W	t ≤ 2 h	1970-1990	Vieira et al. (1998)

função da relação P_1^T / P_{24}^T ; i_t^T é a intensidade de uma chuva de duração t horas e período T , e:

$$W = \frac{P_{24}^{100}}{P_{24}^{10}} \quad (9)$$

$$x = \frac{P_1^{100}}{P_1^{10}} \quad (7)$$

Como na Equação (3), a Equação (6) também foi deduzida para o tempo de recorrência da série parcial T_p . Para se obter a Equação (6) com o período de retorno de série anual T (ou seja, para série composta com somente o valor máximo de cada ano), Chen (1983) propôs a seguinte equação:

$$i_t^T = \frac{a_1 \cdot i_1^{10} \cdot \log \left\{ 10^{2-x} \cdot \left[\ln \left(\frac{T_p}{T_p - 1} \right) \right]^{-(x-1)} \right\}}{(t+b)^c} \quad (8)$$

para: $T \geq 1$ ano e, $5 \text{ min} \leq t \leq 24$ horas

Como se pode observar, a Equação (7) é igual a Equação (6) multiplicada por um fator de conversão.

Hernandez (1991) propôs a substituição de "X" nas Equações (6) e (8) por "W", sendo dado por:

Hernandez (1991) utilizou os mesmos parâmetros a_1 , b e c obtidos por Chen (1983). Analisou 98 postos do Brasil, constantes da publicação de Pfafstetter (1957). Com esta modificação, o método de Chen modificado por Hernandez passa a ter maior valor prático, uma vez que em locais com pouca disponibilidade de dados, os dados pluviométricos, geralmente, são mais abundantes que os pluviográficos.

Genovez et al. (1994) fizeram uma avaliação de cinco equações IDF generalizadas sendo:

- a proposta por Bell (1969) e apresentada na Equação (3);
- a equação de Bell adaptada por Uehara et al. (1980) ao Brasil, apresentada na Equação (4);
- a equação de Bell adaptada por Uehara et al. (1980) ao Estado de São Paulo, apresentada na Equação (5);
- a equação proposta por Chen (1983), apresentada na Equação (8);
- a equação de Chen com a modificação proposta por Hernandez (1991), apresentada na Equação (8) com a substituição de "X" da Equação (7) por "W" da Equação (9).

Tabela 2. Valores dos coeficientes da equação de chuvas intensas para as cidades do Estado de São Paulo de Magni e Mero (1982).

COEFICIENTES OBTIDOS PARA A ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA CIDADE DE:											
	Aparecida	Avaré	Barretos	Bauru	Lins	Piracicaba	Santos	São Paulo	São Simão	Tapiraí	Ubatuba
Lat. (S)	22° 57'	23° 06'	20° 23'	22° 19'	21° 40'	22° 43'	23° 56'	23° 39'	21° 29'	23° 58'	23° 27'
long (W)	45° 15'	48° 55'	48° 34'	49° 04'	49° 45'	47° 38'	46° 20'	46° 38'	47° 33'	47° 30'	45° 03'
a ₁	46,38	100,00	19,18	15,79	32,19	43,20	18,85	37,05	33,54	70,01	10,38
b ₁	30,0	30,0	20,0	15,0	15,0	20,0	20,0	20,0	20,0	30,0	15,0
c ₁	-0,912	-1,109	-0,849	-0,719	-0,916	-0,988	-0,760	-0,914	-0,903	-1,060	-0,583
d ₁	30,0	30,0		15,0	15,0		20,0	20,0	10,0		
e ₁	-0,912	-0,792		-0,719	-0,916		-0,760	-0,914	-0,461		-0,236
f ₁	-8,174	-4,000		-2,224	-4,951		-3,315	-5,966	-0,608		-0,330
g ₁	-15,91	-7,70		-4,17	-9,82		-6,08	-10,88	-1,121		-0,62
m ₁			5,37			11,67				28,00	
p ₁			20,0			20,0				30,0	
q ₁			-0,849			-0,988				-1,060	
a ₂	39,91	43,29	17,78	28,40	15,12	20,44	10,44	19,24	26,26	28,90	15,73
b ₂	10,0	15,0	20,0	15,0	5,0	10,0			20,0	20,0	15,0
c ₂	-0,923	-0,965	-0,834	-0,860	-0,768	-0,841	-0,662	0,821	-0,851	-0,890	-0,682
d ₂	10,0	15,0		15,0	5,0				10,0		
e ₂	-0,923	-0,951		-0,86	-0,768		-0,662	-0,821	-0,781		-0,236
f ₂	-7,034	-6,995		-3,999	-2,325		-1,836	-3,098	-2,745		-0,330
m ₂			4,98			5,52				11,56	
g ₂	-13,28	-13,47		-7,49	-4,61		-3,36	-5,65	-5,06		-0,62
p ₂			20,0			10,0				20,0	
q ₂			-0,834			-0,841				-0,890	
e ₃	-0,923	-0,951		-0,860	-0,768		-0,662	-0,821	-0,781		-0,724
f ₃	-7,034	-6,995		-3,999	-2,325		-1,836	-3,098	-2,745		-4,302
g ₃	-13,28	-13,47		-7,49	-4,61		-3,36	-5,65	-5,06		-8,04

Para tanto, foram utilizados os dados observados de chuvas de 9 postos pluviográficos do Estado de São Paulo, com períodos de dados de 15 a 20 anos. Foram calculados os desvios absolutos adimensionais entre as alturas de chuva calculadas com as equações generalizadas e as observadas, medidos em relação aos valores observados. Concluíram que as equações IDF generalizadas analisadas apresentaram resultados semelhantes. Também observaram que, de uma maneira geral, os desvios absolutos foram inferiores a 15%, embora para alguns postos e determinados valores de duração e período de retorno, o desvio absoluto chegou a 45%.

Genovez e Pegoraro (1998) estudaram as equações de chuvas intensas generalizadas propostas por Bell e Chen e suas adaptações propostas por Uehara e Hernandez, ou seja, as mesmas estudadas em Genovez et al. (1994). Os parâmetros a₁, b e c da equação utilizada no método de Chen foram recalculados, a partir de dados do Estado de São Paulo, e utilizados no próprio méto-

do e em sua adaptação, sugerida por Hernandez. Para 23 estações pluviográficas, localizadas em diferentes cidades do Estado de São Paulo, os seis métodos foram aplicados, sendo o critério de escolha dos postos o da maior quantidade de dados pluviográficos registrados (a maioria dos postos com 17 a 19 anos de dados observados, sendo que um com 31 e outro com 40 anos). Foram comparadas as alturas pluviométricas calculadas com os valores observados usando todos os 6 métodos analisados. A equação de chuva intensa generalizada de Chen, apresentada nas Equações (6) e (7), com os novos coeficientes calculados de a₁, b e c (Figura 1), apresentou bons resultados para as alturas de chuva calculadas, com desvios inferiores a 10%, superando os demais métodos analisados. A mesma equação generalizada de Chen, mas usando o parâmetro "W" da Equação (9) no lugar de "X", apresentou desvios inferiores a 20%. De uma maneira geral, pode se dizer que as duas equações apresentaram resultados muito próximos, mas em se considerando o maior desvio a-

presentado, a equação de Chen com o parâmetro "X" apresentou um resultado um pouco melhor, embora a equação de Hernandez (1991) possa ser aplicada a um número maior de locais.

Relações entre chuvas intensas de diferentes durações

Neste item são apresentadas as relações entre chuvas intensas de diferentes durações, principalmente as proporções entre as chuvas de menor duração e as chuvas diárias, através de coeficientes empíricos obtidos em vários estudos. É feita uma análise destes coeficientes, obtidos para várias partes do mundo, de tal forma a permitir estimativas de intensidades de chuvas de durações inferiores a um dia a partir das alturas de chuvas diárias para o Estado de São Paulo.

Torrico (1974) construiu mapas de isozonas que identificam zonas de igual relação entre as alturas de precipitação máxima anual de uma hora com a máxima anual de 24 horas, para diferentes tempos de recorrência (de 5 a 10.000 anos). Foram estabelecidas 8 isozonas para o Brasil. Utilizou, em seu estudo, as mesmas estações de Pfafstetter (1957). Para cada isozone também apresentou as relações entre as alturas de precipitação de 6 minutos e a de 24 horas, para tempos de recorrência entre 5 e 50 anos e para 100 anos. Para converter a chuva de um dia em chuva de 24 horas propõe que a chuva de um dia seja multiplicada pelo fator 1,10 ($\geq 1,095$). Tendo-se a chuva de 24 horas e identificando-se a isozone de interesse, pelas relações apresentadas pode-se obter as alturas de chuva de 1 hora e de 6 minutos, para o tempo de recorrência escolhido.

No papel de probabilidade proposto, em que no eixo das abscissas tem-se o tempo de duração em horas e no das ordenadas a altura de precipitação em centímetros, unem-se os valores das precipitações de 6 minutos ao de 1 hora e o de 1 hora ao de 24 horas. Desta forma, para qualquer tempo de duração contido entre 6 minutos e 24 horas pode-se obter o valor da altura de chuva correspondente no papel de probabilidade.

Outros estudos, como por exemplo o do U. S. Weather Bureau e o de Occhipinti e Santos (1966), citados em CETESB (1986), Torrico (1974) e Genovez et al. (1994) obtiveram empiricamente a proporção entre as alturas pluviométricas das chuvas máximas de um dia, registradas pelo pluviômetro (P_{1d}) e as de 24 horas, obtidas do pluviógrafo (P_{24}), observaram que é praticamente constante e independente do período de retorno. Occhipinti e

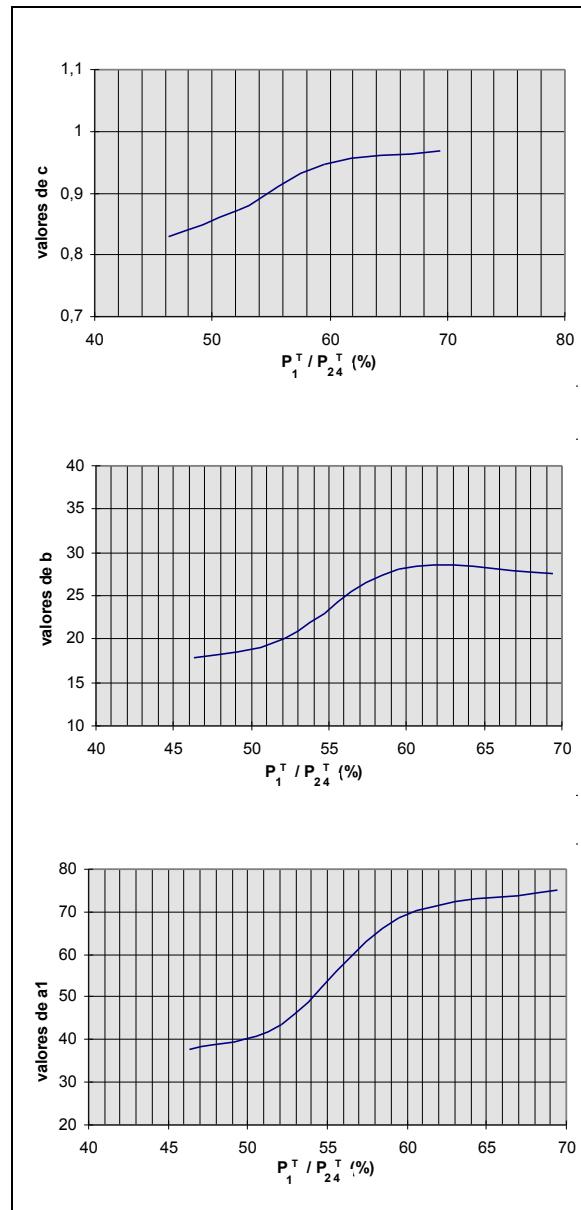


Figura 1. Gráfico de a_1 , b e c em função de $P_1^T / P_{24}^T (\%)$ (fonte: Genovez e Pegoraro, 1998).

Santos obtiveram 1,14, para a cidade de São Paulo; Torrico obteve 1,095, para o Brasil; e o valor adotado pelo U. S. Weather Bureau é de 1,13. Genovez e Pegoraro (1998) utilizaram dados de 23 pluviógrafos do Estado de São Paulo e obtiveram uma média de 1,110, sendo o valor máximo e mínimo obtido para os postos de 1,170 e 1,031. Convém ressaltar que estes valores são diferentes dos obtidos por Genovez et al. (1994), pois os períodos de dados observados considera-dos, no cálculo

dos dados acima, são maiores. Nestes estudos foram consideradas as durações da chuva como um período no qual ocorreu alguma precipitação. Lobo e Magni (1987) obtiveram que a média das chuvas de 1 dia de duração, registradas no pluviômetro (\bar{P}_{1d}) é uma boa estimativa da média das alturas pluviométricas das chuvas de 24 horas, obtidas do pluviógrafo (\bar{P}_{24}), ou seja, $\bar{P}_{1d}/\bar{P}_{24}$ é aproximadamente igual a 1,0.

Occhipinti e Santos (1966) (CETESB, 1986; Torrico, 1974; Genovez et al., 1994), em estudo realizado para o Instituto Astronômico e Geofísico da USP, procuraram estabelecer uma relação entre as alturas pluviométricas das chuvas máximas de "1 dia" e de "24 h", baseados em séries anuais abrangendo o período de 1928 a 1965, obtidas dos dados pluviométricos e pluviográficos observados simultaneamente na cidade de São Paulo. Observaram que essas chuvas guardavam uma relação quase constante e independente do período de retorno, cujo valor médio é da ordem de 1,14, variando de 1,13 a 1,15.

Observa-se, porém, que a utilização de diferentes coeficientes de transformação chuva diária em chuva de 24 horas, mesmo que sejam próximos, introduz diferenças entre os métodos de determinação de curvas IDF, quando se utilizar, para isso, os dados pluviométricos, sendo necessário uma padronização em sua utilização, não empírica, mas sim probabilística teórica.

Sabe-se que a duração de uma precipitação é um fenômeno aleatório, que pode suceder em qualquer intervalo de tempo. Portanto, a frequência e o número desses intervalos móveis podem ser interligados através de considerações probabilísticas (Zuffo, 1993). Assim considerando, Weiss (1964) utilizando uma análise teórica probabilística, determinou relações entre precipitações médias obtidas de intervalos móveis e as precipitações médias obtidas de intervalos fixos observáveis. Obteve o valor do fator de conversão da chuva diária, obtida de pluviômetro, para chuva de 24 horas igual a 1,143. Este valor teórico seria obtido para séries "infinitas" e é bastante próximo aos valores obtidos em diversos estudos em diferentes regiões e pode ser utilizado para substituir relações empíricas determinadas em locais específicos e com séries históricas de curta duração. Observa-se que o valor médio adotado pelo estudo do IAG-USP (Occhipinti e Santos) foi de 1,14, com uma série de 37 anos, a mais longa analisada no Brasil, praticamente coincidente com o valor teórico proposto por Weiss dois anos antes.

O estudo de Pfafstetter (1957), para o DNOS, procurava encontrar as relações entre as

precipitações de diferentes durações compreendidas entre 5 minutos e 24 horas, utilizando séries parciais. Encontraram valores próximos para períodos de retorno de 2 a 100 anos e portanto adotaram os valores médios dessas relações apresentados na Tabela 3. Nos estudos de Bell (1969) e Chen (1983) também apresentaram as relações entre as alturas pluviométricas de chuvas de diferentes durações como constantes e independentes do período de retorno.

Baseados nesses estudos, as relações, entre chuvas de diferentes durações, tornam possível a determinação de intensidades de chuvas de durações inferiores a 1 dia a partir de informações pluviométricas, ou melhor, a partir das precipitações diárias.

Na Tabela 3 são apresentadas as relações médias entre as alturas pluviométricas de chuvas de diferentes durações, obtidas para cada coluna utilizando-se:

- a. a média dos valores obtidos para 11 cidades do Estado de São Paulo: Aparecida, Avaré, Barretos, Bauru, Lins, Piracicaba, Santos, São Paulo, São Simão, Tapiraí e Ubatuba, obtidos por Lobo e Magni (1987);
- b. a média para os valores obtidos para as 98 estações pluviográficas, analisadas pelo DNOS (Pfafstetter, 1957);
- c. a média que foi obtida para as 08 cidades no estudo de Setzer (1973): Avaré, Bauru, Lins, Piracicaba, Santos, São Paulo, São Simão e Ubatuba;
- d. USA/W. B. são os valores adotadas pelo U. S. Weather Bureau;
- e. do manual Denver, e para os Estados Unidos, os valores foram obtidos da média para períodos de retorno de 2 a 100 anos, exceto para o valor assinalado com asterisco que foi obtido para $T_r = 2$ anos (Bell, 1969);
- f. valores obtidos para o oeste dos Estados Unidos e Alaska, por Miller et al., citado em Froehlich (1993);
- g. valores obtidos para o Havaí pelo U. S. Weather Bureau, citado em Froehlich (1993);
- h. valores médios obtidos pela análise de 9 postos pluviográficos do Estado de São Paulo por Genovez et al. (1994).

Chen (1983) também obteve as relações entre chuvas intensas de diferentes durações. As relações entre as alturas de chuvas P_t^T/P_{24}^T , para durações "t" entre 5 e 1440 minutos, em função dos

Tabela 3. Relação entre as alturas pluviométricas das chuvas de diferentes durações P_{t1}/P_{t2} . (adaptado de Lobo e Magni, 1987).

t_2 (min)	t_1 (min)	(a) Média Lobo / Magni	(b) Média DNOS	(c) Média Setzer	(d) USA / W.B	(e) Denver	(f) USA1	(g) USA2	(h) Genovez et al.
30	5		0,34		0,37	0,42			
	10	0,51	0,54		0,57	0,63			0,49
	15	0,67	0,70	0,67	0,72	0,75			
	20	0,80	0,81			0,84			
	25	0,91	0,91			0,92			
60	5					0,29	0,28		
	10	0,38	0,40		0,45	0,45	0,43	0,38	
	15	0,50	0,52	0,53	0,57	0,57	0,54		
	30	0,74	0,74	0,79	0,79	0,79	0,75	0,78	
	120	1,22	1,27	1,18	1,25				1,24
1440	60	0,51	0,42			0,435*			0,50
	360	0,78	0,72						0,80
	480	0,82	0,78						
	600	0,85	0,82						
	720	0,88	0,85						0,89

valores de P_{t1}^T/P_{24}^T de 10, 15, 20, 30, 40 e 60%, são apresentados na Tabela 4.

Lobo e Magni (1987) estudaram as proporções entre alturas de chuva de diferentes durações. Consideraram como sendo a duração da chuva o intervalo de tempo que vai do primeiro período de dez minutos, com altura precipitada superior a 0,1 mm, até o último período de dez minutos que precede uma seqüência de, no mínimo, 0,2 mm. Segundo os autores, apesar das dificuldades em caracterizar a duração da chuva intensa e em precisar as reais proporções entre chuvas de diferentes durações, o uso das proporções determinadas por eles, principalmente para durações próximas de 24 h, pode fornecer estimativas razoáveis das alturas pluviométricas das chuvas intensas, em locais onde só se dispõe de dados pluviométricos. O critério de separação de chuvas que adotaram, leva a resultados progressivamente menores para as chuvas de maior duração, culminando por conduzir a valores cerca de 12% inferiores à média das chuvas de 24 horas de duração. Essa diferença pode ser atribuída a não conversão da chuva diária em chuva de 24 horas, pois consideraram esta relação como sendo unitária ($f = 1$). Para durações menores que 1 hora os critérios praticamente coincidem.

Genovez et al. (1994) estudam as relações entre as chuvas de menor duração e as chuvas diárias, obtidas a partir de dados pluviométricos. Utilizaram, para tanto, os dados observados de chuvas de 9 postos do Estado de São Paulo. Nes-

se trabalho, foi feito um estudo comparativo dos valores das intensidades de chuva calculados com as equações de chuva generalizadas com as intensidades estimadas usando a relação P_t^T/P_{1d}^T , para os valores médios dessas relações e também utilizaram as relações P_t^T/P_{1d}^T em função do valor de P_{1d}^T/P_{24}^T de cada posto, usando os valores da Tabela 5.

Mapas de isoietas e dados de chuvas associados a freqüência

Vários autores publicaram mapas de isoietas para durações maiores que um dia, como por exemplo o "Atlas Pluviométrico do Estado de São Paulo", publicado pelo DAEE (1972), relativo ao período 1941 a 1970, com dados e mapas de isoietas de 400 postos, sendo que foram construídos os mapas de isoietas de: alturas de chuvas de cada mês, alturas de chuva da estação seca (abril a setembro) e estação chuvosa (outubro a março) e os totais anuais médios de chuva.

Outro exemplo é o "Atlas Diagnóstico Básico do Plano de Irrigação do Estado de São Paulo: Atlas de Desenvolvimento", elaborado pelo DAEE (1975) que, com relação às chuvas, apresenta os mapas de isoietas de precipitação anual do ano seco em 5 anos e os de isoietas de precipitações efetivas mensais do ano seco em 5 anos.

Tabela 4. Relação entre as alturas de chuva P_t^T / P_{24}^T em função da duração t e da relação **P_1^T / P_{24}^T , calculada a partir dos dados de Chen (1983) (fonte: Genovez et al., 1994).**

Duração	P_1^T / P_{24}^T					
	10%	15%	20%	30%	40%	60%
05 min	0,029	0,044	0,058	0,087	0,117	0,175
10 min	0,045	0,067	0,090	0,135	0,180	0,270
15 min	0,057	0,085	0,114	0,171	0,228	0,341
30 min	0,079	0,118	0,158	0,237	0,316	0,474
01 hora	0,100	0,150	0,200	0,300	0,400	0,600
02 horas	0,200	0,250	0,300	0,390	0,500	0,660
03 horas	0,300	0,340	0,380	0,460	0,560	0,720
06 horas	0,550	0,580	0,600	0,670	0,700	0,840
12 horas	0,780	0,790	0,800	0,820	0,840	0,930

Tabela 5. Valores de P_t^T / P_{1d}^T , médios e em função de P_1^T / P_{1d}^T (fonte: Genovez et al., 1994).

Duração	Valores Médios	P_1^T / P_{1d}^T		
		40%	50%	60%
10 min	0,19	0,16	0,20	0,28
30 min	0,39	0,32	0,40	0,55
1 hora	0,50	0,43	0,53	0,65
2 horas	0,62	0,56	0,65	0,74
6 horas	0,80	0,74	0,82	0,94
12 horas	0,89	0,82	0,85	1,11

Utilizando os dados de 15 postos do Estado de São Paulo e vizinhança, Setzer (1973) apresenta três mapas de isoetas de intensidades de chuvas para as durações de 15, 30 e 60 minutos e períodos de retorno de 10, 25 e 50 anos, respectivamente. Sousa Pinto et al. (1976) apresentam tabela e mapas de isoetas para chuvas de 30 minutos de duração e períodos de recorrência de 10, 25 e 50 anos, para os Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Mato Grosso, Goiás e Espírito Santo, baseados em dados de 55 postos pluviográficos obtidos de Pfafstetter (1957).

Embora não tenham traçado os mapas de isoetas, Banzatto e Benincasa (1986) estimaram as precipitações máximas com duração de um dia, para os períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, utilizando dados diários de precipitação de cerca de 250 estações pluviométricas do DAEE-SP. Para a maioria dos postos o período analisado foi de 1941 a 1970, sendo que para uma melhor cobertura do estado, foram utilizados períodos de 1958 a 1970 (18 anos). Utilizaram a distribuição de Gumbel e obtiveram as alturas de chuvas máximas associadas a períodos de retorno para cada posto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Equações de Intensidade - Duração - Freqüência (IDF) ou de chuvas intensas

Por se tratar de um estudo feito há muito tempo, as curvas de intensidade de precipitação - duração - freqüência para 98 localidades do Brasil, obtidas por Pfafstetter (1957) utilizaram períodos de dados observados muito curtos, sendo para a maioria dos locais da ordem de 10 anos de dados pluviográficos. Muitos dos trabalhos apresentados foram baseados nestes dados, e portanto, deveriam ser atualizados.

A importância desse trabalho deveu-se ao pioneirismo no assunto e pela grande área que abrangeu. Embora a maioria dos locais analisados por esse estudo possuísse série histórica curta, ele ainda continua sendo a base de dados para muitos estudos de chuvas intensas. Foi novamente publicado em 1982, ou seja, 25 anos após sua primeira publicação, o que evidencia a sua relevância, mas

sem alterações nos dados. A rigor, só deve ser utilizado quando não se dispuser dos dados mais recentes.

Pela mesma razão, ou seja, ter se baseado em dados anteriores a 1973 e ter utilizado somente 12 postos para todo o Estado de São Paulo, o trabalho de Setzer (1973) também deve ser utilizado quando não for possível utilizar os dados mais recentes.

As equações de chuvas intensas IDF de Magni e Mero (1982) representam um avanço por utilizarem séries maiores de dados de chuvas observados, sendo que podem ser utilizadas para durações entre 10 e 1440 minutos, mas também utilizaram dados anteriores a 1982.

Quando for preciso utilizar uma das equações IDF apresentadas na Tabela 1, deve-se considerar o período de dados observados, utilizados na sua determinação, e o intervalo de duração da chuva válido para a equação determinada. A utilização das curvas IDF fora dos limites para os quais foram deduzidas pode levar a grandes erros. Frequentemente os valores são subestimados se dados de precipitação de maior duração são utilizados para calcular intensidades de chuvas de menor duração e sobreestimados se dados de chuvas observados de menor duração são usados para calcular intensidades de maior duração. A extrapolação da duração da chuva para além dos limites recomendados também pode levar a grandes erros.

Equações de chuvas intensas generalizadas

Segundo Reich (1963) citado por Bell (1969), as relações IDF generalizadas, com parâmetros estimados para os USA, podem ser válidas para o mundo todo. Bell (1969) observa que algumas variações destas relações com a geografia existem, mas que nos dados que analisou estas variações são pequenas em comparação com os erros de amostragem e outras fontes de incerteza. Uma possível explicação física deste fenômeno poderia provavelmente ser as dimensões e propriedades comuns dos mecanismos de chuvas convectivas, responsáveis pelas altas intensidades e curta duração das chuvas em diferentes partes do mundo. Dessa forma, propõe que a Equação (3) possa ser útil para todos os países em desenvolvimento onde os dados de pluviógrafos não sejam adequadamente disponíveis. Convém ressaltar que Bell (1969) utilizou séries parciais, ou seja, séries compostas de valores superiores a um limite inferior.

A equação obtida por Uehara et al. (1980) a partir de dados de 26 postos obtidos de Pfafstetter (1957) apresentou-se um pouco diferente da proposta por Bell (1969), o que evidencia a predominância do efeito da geografia como também do clima local, porém, as séries utilizadas são ainda muito curtas para uma conclusão mais substancial.

A desvantagem do método de Chen (1983) em relação ao de Bell (1969) é que no primeiro são necessários três parâmetros (P_1^{10} , P_{24}^{10} e P_1^{100}) obtidos de relações entre dados pluviográficos, enquanto que no segundo apenas um (P_1^{10}). A modificação proposta por Hernandez (1991) apresenta-se vantajosa em relação ao método de Chen (1983) por que substitui dois dos três parâmetros baseados em informações pluviográficas pelos baseados em informações pluviométricas. O maior inconveniente é ter que conhecer a altura de chuva com duração de 1 hora para um período de retorno de 100 anos, quando se dispõe de pequenas séries de dados observados e essa substituição de parâmetros facilita sua utilização em locais onde a informação pluviométrica é mais abundante em relação a informação pluviográfica.

Como vários autores concordam em que se pode assumir uma relação constante entre a altura de chuva máxima de 24 horas e a de um dia, a Equação (9) pode ser substituída pela relação entre $P_{1d}^{100} / P_{1d}^{10}$. Desta forma, o único dado de pluviógrafo necessário para a aplicação da fórmula é o da altura de chuva de período de retorno de 10 anos e duração de uma hora, ou seja, P_1^{10} .

Porém, a vantagem do método de Chen (1983) e de Hernandez (1991) em relação aos de Bell (1969) e Uehara (1980) está na amplitude maior de aplicação, pois os primeiros métodos permitem a determinação de precipitações de até 1 dia de duração, enquanto que nos dois últimos esta duração está limitada até duas horas.

Genovez et al. (1994) calcularam as médias dos desvios absolutos adimensionais (valor absoluto da diferença entre o valor calculado e o valor observado, dividido pelo valor observado) das alturas de chuva calculadas usando as equações de chuva generalizadas de Chen, de Chen modificada por Hernandez, de Bell e a de Bell adaptada por Uehara et al. para o Brasil e para o Estado de São Paulo, em porcentagem. Os valores das alturas pluviométricas obtidas para várias durações e períodos de retorno, com estas equações, foram comparados entre si.

A escolha de uma das cinco equações dependerá dos objetivos a serem alcançados e dos

dados disponíveis. Convém lembrar que as equações baseadas na metodologia de Bell só permitem calcular as alturas de chuva para durações de até 2 horas. A equação de Chen modificada permite a sua utilização mesmo quando se dispõe de uma pequena série de dados pluviográficos, o que torna mais difícil a estimativa de chuvas de curta duração para grandes períodos de retorno.

Da forma como Genovez et al. (1994) utilizaram as equações IDF generalizadas, concluíram que estas equações só devem ser utilizadas quando houver carência de dados observados ou para estimativas preliminares. Convém ressaltar que mesmo quando se fez a troca de "X" por "W", foram utilizados os mesmos coeficientes obtidos por Chen (1983), ou seja, não foram estimados novos valores de a_1 , b e c . Os autores também recomendaram que o estudo fosse refeito com um número maior de postos pluviográficos e, se possível, com séries maiores de dados observados.

Considerando o fato de sua equação ter sido testada em outras partes do mundo (África do Sul e Austrália) e também nas dimensões e propriedades comuns dos mecanismos de chuvas convectivas, Bell (1969) sugere que a equação proposta por ele possa ser utilizada em outras partes do mundo que não disponham de dados adequados de pluviógrafos.

A utilização das equações propostas por estes autores, com parâmetros estimados para outras partes do mundo, bem como das equações baseadas nessas equações e com parâmetros locais, segundo os estudos de Genovez et al. (1994), apresentaram, em geral, desvios inferiores a 15%. Na média o desvio não foi considerado insatisfatório, principalmente se for levado em consideração que se está estimando uma intensidade de chuva para um local sem uma série adequada de dados de pluviógrafo. O que preocupa é que para certos locais, determinadas durações e período de retorno, o desvio tenha chegado a 45%. Por outro lado, não se pode menosprezar essas equações IDF generalizadas devido a: a) as equações de Bell e Chen foram utilizadas com os coeficientes estimados para outras partes do mundo; b) as equações de Bell com coeficientes estimados para o Brasil e para São Paulo basearam-se nos dados disponíveis na época em que foram obtidas, ou seja, em poucos locais (8 postos na equação para o Estado de São Paulo e 26 postos no caso do Brasil, sendo que destes, 11 se localizam no Estado do Rio de Janeiro); c) a equação de Chen com a utilização do fator "W" no lugar do "X", não teve seus parâmetros estimados para essa nova situação, mas sim foram mantidos os mesmos parâmetros anteriores à modificação. A utilização de um

maior número de postos pluviográficos, com séries observadas maiores, e a estimativa dos parâmetros da equação utilizando dados locais, deve melhorar os resultados.

Quando estimaram os valores dos gráficos da Figura 1, Genovez e Pegoraro (1998) observaram que praticamente ocorreram coincidências com relação aos valores das porcentagens médias de P_1^T/P_{24}^T do eixo da abscissa, sendo que aproximadamente se obteve para 7 postos o valor de 46,3%, para 6 postos o valor de 59,5%, para 4 postos o valor de 52,1% e para 3 postos o valor de 69,4%. Os valores da relação P_1^T/P_{24}^T iguais a 32,1, 34,7 e 38% só foram obtidos em 3 postos, sendo um valor para cada posto. Estes três últimos postos, que são respectivamente: F4-026, F4-040 e F4-045, estão localizados próximos à Serra do Mar e portanto, influenciados pelos efeitos orográficos. Como essa metodologia só deve ser usada para chuvas convectivas, esses três postos foram descartados. Desta forma, observou-se que os 23 postos do estudo agruparam-se em 4 diferentes pontos, sendo que cada um representa mais de um posto. Baseado nisto, os autores sugerem que a Figura 1 seja refeita usando um maior número de postos de regiões próximas, para se obter uma melhor definição das curvas.

Relações entre chuvas intensas de diferentes durações

O estudo de chuvas intensas com duração de um dia ou superiores embora não possam ser utilizados diretamente, com o propósito de estimar chuvas intensas de durações inferiores a 24 horas, pode servir de base para estimativas desses valores. Essa possibilidade origina-se em estudos realizados que mostraram a existência de relações constantes entre os totais precipitados em um dia e totais precipitados em períodos mais curtos, conforme apresentado em Uehara et al. (1980), Lobo e Magni (1987), Torrico (1974) e Genovez et al. (1994).

O valor da relação $\bar{P}_{1d}/\bar{P}_{24}$ tem que ser maior ou igual a 1,0, sendo que bastaria que uma chuva de grande altura pluviométrica ocorresse abrangendo dois dias diferentes para que fosse maior que 1,0. Mas obviamente isto dependerá do tamanho do período de observação analisado.

Das relações entre chuvas intensas de diferentes durações, como se pode ver na Tabela 4, Chen (1983) observou que, para os Estados Unidos as relações entre as alturas de chuvas de diferentes durações, embora possam ser consideradas

independentes do período de retorno, variam com o valor de P_t^T / P_{24}^T . Também obteve que o valor médio de P_t^T / P_{24}^T para os Estados Unidos é de 40%. Para os valores inferiores a 1 hora de duração, as relações entre P_t^T / P_1^T independem do valor de P_t^T / P_{24}^T , para os Estados Unidos.

Da análise dos resultados obtidos por Genovez et al. (1994), ficou evidente que se deve escolher o valor da relação P_t^T / P_{1d}^T em função do valor de P_t^T / P_{1d}^T do posto, quando isso for possível. Considerando que foram analisados somente 9 postos pluviográficos, os valores obtidos para as relações P_t^T / P_{1d}^T devem ser usados com cautela. Para uma melhor definição, deveriam ser analisados mais postos pluviográficos e com maiores séries de dados.

Estes valores são muito próximos aos obtidos por Lobo e Magni (1987), que não consideraram a variação com P_t^T / P_{1d}^T , mas são superiores aos valores de Chen (1983) para P_t^T / P_{1d}^T igual a 40% (valor médio para os Estados Unidos).

Na Tabela 5 pode-se observar que os valores P_t^T / P_{1d}^T igual a 40% são muito próximos aos valores correspondentes da Tabela 4. Já para P_t^T / P_{1d}^T igual a 60% os valores obtidos, neste estudo, são superiores aos de Chen.

É necessário um estudo que considere um maior número de postos pluviógrafos para definir melhor os valores das relações, mas fica claro que a variação dos valores com P_t^T / P_{24}^T ou P_t^T / P_{1d}^T deve ser considerada, pois a diferença é grande. Por outro lado, como estas relações são úteis exatamente quando não se dispõe de dados pluviográficos, é preciso estudar maneiras para se obter o valor de P_t^T quando não se dispõe de dados locais, como por exemplo uma regionalização desses valores. Também não foi observada uma variação da relação P_t^T / P_{1d}^T com o período de retorno, o que confirma os resultados de Bell (1969) e Chen (1983).

Genovez et al. (1994) calcularam as médias dos desvios absolutos adimensionais (valor absoluto da diferença entre o valor calculado e o valor observado, dividido pelo valor observado), em porcentagem, dos valores das alturas pluviométricas obtidas para várias durações e períodos de retorno, comparados aos valores obtidos a partir

das relações médias P_t^T / P_{1d}^T e das relações P_t^T / P_{1d}^T em função do valor de P_t^T / P_{1d}^T de cada posto, apresentados na Tabela 5.

O método que utilizou as relações P_t^T / P_{1d}^T em função do valor P_t^T / P_{1d}^T de cada posto, apresentou uma média do desvio absoluto adimensional \bar{D} igual a 7,8%. Os resultados obtidos foram comparados aos obtidos usando as equações de chuva generalizadas de Chen, de Chen modificada por Hernandez, de Bell e a de Bell adaptada por Uehara et al. para o Brasil e para o Estado de São Paulo, em porcentagem. Deve-se ressaltar que as diferenças entre \bar{D} para os métodos são inferiores a 2% (com exceção do método que usou os valores médios da relação P_t^T / P_{1d}^T , cujo \bar{D} foi de 14,3%), o que não permite que seja indicado um método como realmente o melhor. Em termos práticos, pode-se dizer que os métodos apresentaram resultados iguais, para os dados analisados.

A escolha de uma das cinco equações ou de um dos dois conjuntos de relações P_t^T / P_{1d}^T dependerá dos objetivos a serem alcançados e dos dados disponíveis.

A aplicação da metodologia de Bell, ou de Chen ou das relações P_t^T / P_{1d}^T para áreas menores, ao invés de se aplicar uma única metodologia a grandes áreas, devem levar a uma sensível melhora dos resultados.

Para os 9 postos pluviográficos estudados, embora se tenha necessidade de ampliar o número de postos analisados para se definir melhor alguns coeficientes, foi possível observar que: a) os valores médios da relação entre as chuvas de menor duração e as chuvas diárias, obtidas dos pluviômetros, confirmam os valores obtidos por outros autores e são apresentados na Tabela 5; b) os valores da relação entre as chuvas de menor duração e a chuva diária do pluviômetro variam com a relação P_t^T / P_{1d}^T e quando for possível obter o valor de P_{1d}^T , esta variação deve ser considerada.

As relações entre precipitações de diferentes durações, apresentados nesse estudo do DNOS, além de utilizarem períodos muito curtos, foram obtidas para uma média nacional. Ora, o Brasil tem dimensão continental e, portanto, é caracterizado por diferentes climas. Não se pode ignorar que o regime pluviométrico do sertão do Piauí ou de Pernambuco diferem dos regimes pluviométricos do litoral paulista, de clima subtropical e que sofre influência orográfica, ou da região

Amazônica, com seu clima tropical quente e úmido, ou ainda da serra gaúcha, com clima próximo ao temperado.

A média nacional mascara a média regional por incorporar características alheias aos microclimas locais. Esses valores médios nacionais adotados, deveriam ser revistos para os de médias regionais, contemplando-se, desta forma, as precipitações predominantes em cada região. A diversidade existe, não pode ser ignorada em função dos limites políticos, deve prevalecer a análise do clima regional.

Mapas de isoietas e dados de chuvas associados a freqüência

Nos mapas de isoietas e nos dados de chuvas associados a freqüência deve-se observar o período de dados analisado, para verificar se os dados são representativos do regime pluviométrico local.

Muitos mapas de isoietas são obtidos a partir de poucos postos, o que pode levar a valores não significativos para algumas regiões, principalmente se os postos não forem bem distribuídos e representativos das diferentes condições climáticas da área em estudo. Podem, por exemplo, atribuir baixas alturas de chuva para locais de alta pluviosidade. A comparação de mapas de isoietas, mesmo que de diferentes épocas e durações da chuva representada, pode dar uma boa idéia da qualidade do mapa a ser utilizado, evidenciando a tendência da variação das chuvas. Um outro aspecto importante a ser observado é o método utilizado na interpolação das isoietas. Segundo Oliveira e Chaudhry (1995) os métodos geoestatísticos permitem uma maior precisão na determinação das isoietas, por possibilitarem prever informações no espaço em pontos não cobertos pela rede pluviométrica. Fazem um estudo comparativo dos métodos Kriging e cokriging.

Genovez et al. (2000) apresentam novos mapas de isoietas de precipitação máxima diária para o Estado de São Paulo, que foram obtidos a partir de 556 postos pluviométricos, permitindo a estimativa de intensidades de chuvas de menores durações, utilizando as relações entre chuvas intensas de diferentes durações ou as equações de chuvas intensas generalizadas.

CONCLUSÃO

A determinação da intensidade máxima da chuva de uma certa duração, associada a um certo

período de retorno, para o Estado de São Paulo, pode ser feita através de equações de chuvas intensas locais, de relações entre chuvas intensas de diferentes durações e de equações de chuvas intensas generalizadas.

A precisão da estimativa da intensidade depende da proximidade do local do estudo com o local onde exista uma boa série de dados de pluviôgrafo ou pluviômetro observada, do intervalo de aplicabilidade da equação de chuva intensa disponível e principalmente do(s) tamanho(s) da(s) série(s) de dados utilizados para se obter os parâmetros da equação de chuva intensa. As equações IDF apresentam melhores resultados quando obtidas a partir de séries mais longas de observação.

Os métodos que se baseiam nas relações entre chuvas intensas de diferentes durações tem validade regional, embora os valores médios destas relações sejam muito próximos para várias partes do mundo. Para estimativas locais é conveniente que sejam estabelecidos novos coeficientes, relacionados às características locais dos microclimas. Estas relações são valores médios e, em geral, não se dispõe da distribuição estatística dos valores calculados e na maioria das vezes nem mesmo do desvio padrão dos dados calculados.

Os métodos baseados em equações generalizadas e coeficientes empíricos em momento algum podem substituir as informações pluviográficas do local em estudo, mas podem fornecer uma estimativa razoável para regiões em que os dados de pluviógrafos são escassos. A existência de dados pluviométricos no local ou próximo a ele podem ser de fundamental importância para uma melhor estimativa das intensidades de chuva.

A equação de chuvas intensas generalizadas de Chen apresenta um bom resultado, principalmente quando os valores dos parâmetros a_1 , b e c são estimados para a região em estudo, como foi feito na Figura 1 para o Estado de São Paulo. Para este caso, na média, o erro é inferior a 10%, mas para alguns postos e alguns valores de intensidades, chegaram a 27%. Convém lembrar que, se o tamanho da série de dados de pluviógrafos do local em questão for pequena (o que inviabilizaria a determinação de P_1^{10} e P_1^{100}), a equação de chuvas intensas generalizadas utilizando o parâmetro "W" (da Equação 9) e estimando os parâmetros a_1 , b e c deve ser utilizada, pois o erro é pouco superior ao da equação com o parâmetro "X", mas é possível estimar o valor de "W" a partir das alturas de chuva máximas diárias.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam manifestar os seus mais sinceros agradecimentos ao Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE-SP) - Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos (FCTH) - Seção de Coleta e Análise de Dados e ao Instituto Agronômico da Secretaria de Agricultura e Abastecimento de São Paulo pela dedicação e esforço na coleta dos dados hidrológicos.

REFERÊNCIAS

- BANZATTO, D. A., BENINCASA, M. (1986) "Estimativa das precipitações máximas prováveis com duração de um dia, para o Estado de São Paulo" Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Boletim Técnico n. 7, Jaboticabal, 36p.
- BELL, F. G. (1969) "Generalized rainfall - duration - frequency relationships" *Journal of the Hydraulics Division - ASCE*, Vol. 95, n. HY1, p. 311-27.
- CHEN, C. (1983) "Rainfall Intensity - duration - frequency formulas" *Journal of Hydraulic Engineering - ASCE*, Vol. 109, n. 12, p. 1603-21.
- CETESB (1986) "Drenagem Urbana: manual de projeto" Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo, 3^a ed. 464p.
- DAEE (1972) *Atlas Pluviométrico do Estado de São Paulo* (Período: 1941-1970). CTH / Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, São Paulo, 17p.
- DAEE (1975) *Atlas Diagnóstico Básico do Plano de Irrigação do Estado de São Paulo: Atlas de Desenvolvimento*. Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, São Paulo, 2^a edição. 30p.
- FROEHLICH, D. C. (1993) "Short-duration-rainfall intensity equations for drainage design" *Journal of Irrigation and Drainage - ASCE*, Vol. 119, n. 5, Sep/Oct.
- GENOVEZ, A. M.; ZUFFO, A. C.; BORRI GENOVEZ, A. I. (1994) "Relação Entre Chuvas Intensas de Diferente Durações e Avaliação das Equações de Chuvas Intensas Generalizadas" XVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, IAHR, Santiago, Chile, Vol. 3, p. 279-90.
- GENOVEZ, A. M.; L. F. C. DE OLIVEIRA; A. I. BORRI GENOVEZ (2000) "Chuvas Intensas no Estado de São Paulo: Isoetas de Precipitação Máxima Diária" *A Água em Revista*, CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. (aceito para publicação).
- GENOVEZ, A. M.; R. C. F. PEGORARO (1998) "Análise e avaliação de equações de chuvas Intensas generalizadas" XVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, IAHR, Oaxaca, México, Vol. 1, p. 369-79, nov.
- HERNANDEZ, V. (1991) "Ainda as equações de chuvas intensas - pode-se generalizar?" IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, p. 193-203.
- LOBO, G. A., N. L. G. MAGNI (1987) "Estudo sobre proporções entre chuvas intensas de diferentes durações" In: VII Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, Salvador, *Anais* 2, p. 103-14.
- MAGNI, N. L. G., F. MERO (1982) "Precipitações intensas no Estado de São Paulo" *Boletim CTH-DAEE* 4, São Paulo, 95p.
- OLIVEIRA, J. N.; F. H. CHAUDHRY (1995) "Uso de métodos geoestatísticos na determinação de isoetas a partir de dados pluviométricos" In: XI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Vol. 1, p. 13-19.
- PFAFSTETTER, O. (1957) "Chuvas Intensas no Brasil" Departamento Nacional de Obras de Saneamento - DNOS, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 419p.
- SETZER, J. (1973) "Chuvas de intensidade máxima no Estado de São Paulo" *Revista DAE*, São Paulo, n. 33, Vol. 93, p. 52-9.
- SOUZA PINTO, N. L., A. C. T. HOLTZ, J. A. MARTINS, F. L. S. GOMIDE (1976) "Hidrologia Básica" Ed. Edgard Blücher Ltda, São Paulo. 278p.
- TORRICO, J. J. T. (1974) "Práticas hidrológicas" Rio de Janeiro, TRANSCON, 120p.
- UEHARA, K.; K. ZAHED FILHO; SILVEIRA, L. N. L.; PALERMO, M. A. (1980) "Pequenas bacias hidrográficas do Estado de São Paulo - Estudo de vazões médias e máximas" FDTE / Escola Politécnica da USP, São Paulo, Vol. 2, 780p.
- WEISS, L. L. (1964) "Ratio of true to fixed-interval maximum rainfall" *Journal of Hydraulics Division, ASCE*, Vol. 90, n. HY1, Jan.
- ZUFFO, A. C. (1993) "Relações Estatísticas entre precipitações intensas e vazões máximas: Método GRADEX" Dissertação de Mestrado EPUSP – São Paulo, 261p.

***High-Intensity Rainfalls in the State
of São Paulo: Available Studies and
Comparative Analysis***

ABSTRACT

Many engineering projects use high intensity rainfall data. Unfortunately short-duration data are insufficient in many parts of the world. Often the data available are not enough to provide reasonable estimates. There are a great number of studies about rainfall Intensity - Duration - Frequency (IDF) relationships for the state of São Paulo, Brazil. These studies include the local IDF equations (also called high-intensity rainfalls equations) or general IDF equations, rainfall intensity relationships for different durations and isoline maps. The main objective of this paper is to present most of the studies already performed, trying to emphasize the length of the observed data series employed, period covered and finally, applicability interval. Later, a comparative analysis between the different methodologies is presented, in order to obtain the rainfall intensity for given duration and return period. The intention is to provide information to allow the best choice among the different available methods of obtaining rainfall intensity, which will obviously depend on the site of study.