

## Abatimento Espacial da Chuva em Porto Alegre

André Luiz Lopes da Silveira

Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS - Caixa Postal 15029  
91501-970 Porto Alegre, RS - [silveira@if.ufrgs.br](mailto:silveira@if.ufrgs.br)

Recebido: 20/10/00 - revisão: 12/12/00 - aceito: 05/03/01

### RESUMO

Os coeficientes de abatimento são parâmetros usados na engenharia de recursos hídricos para redução de chuvas de projeto pontuais na sua extrapolação para áreas maiores. Na falta de estudos, é comum no Brasil a aplicação de funções de abatimento americanas sem nenhuma vinculação com o regime local das chuvas. A causa disto é a ausência de dados pluviográficos com uma densidade espacial adequada que permita a realização de estudos de abatimento. Há locais, entretanto, como Porto Alegre, dada a sua disponibilidade de dados, em que não se justifica a aplicação de estudos americanos.

Este artigo apresenta um estudo neste sentido, com a elaboração e análise de coeficientes de abatimento por dois métodos da literatura científica, um com base na estrutura de correlação espacial da precipitação e outro com base no método geoestatístico de krigagem. Uma análise alternativa baseada nos abatimentos observados nos eventos de precipitação permitiu avaliar estes métodos e sugerir uma equação de abatimento para Porto Alegre em sua área urbana. Uma comparação com as curvas do Weather Bureau americano (USWB) mostrou diferenças significativas.

**Palavras-chave: precipitação pontual; chuva de projeto.**

### INTRODUÇÃO

Os coeficientes de abatimento de chuva são coeficientes redutores da precipitação máxima pontual usados na extrapolação deste valor pontual para toda uma área em seu entorno. Quanto maior a área maior o abatimento devido à menor ocorrência de eventos extremos concomitantes em toda a área.

Estes coeficientes podem ter uma interpretação determinística ou probabilística. O coeficiente de abatimento determinístico faz a relação entre a precipitação média e o pico pontual de precipitação na área, com base em valores reais observados neste evento de chuva.

O coeficiente de abatimento probabilístico, por sua vez, expressa a razão entre o valor da precipitação média na área, com determinada frequência, com a precipitação pontual máxima nesta área, com a mesma frequência. Isto é, a precipitação média e a precipitação pontual máxima nesta área, com mesma frequência, não necessariamente ocorrem no mesmo evento. Um coeficiente de abatimento probabilístico é função da área e da duração da chuva, como qualquer outro coeficiente de abatimento, mas também do período de retorno.

Sejam determinísticos ou probabilísticos os coeficientes de abatimento geralmente são definidos para eventos extremos, ou seja de precipitação máxima, no jargão da hidrologia de projeto. Logicamente que a abordagem probabilística, por atribuir um período de retorno à esta precipitação máxima, define melhor o coeficiente de abatimento.

Convém distinguir a existência de, pelo menos, dois tipos de coeficiente de abatimento probabilístico: 1) coeficiente de abatimento epicêntrico  $\alpha_{ep}$ ; e 2) coeficiente de abatimento não-epicêntrico  $\alpha$ , cujas expressões são dadas abaixo.

$$\alpha_{ep} = \frac{P}{P_{ep}} \Leftrightarrow \alpha = \frac{P}{\bar{P}}$$

onde  $P_{ep}$  é a lâmina precipitada pontual máxima maxiorum;  $\bar{P}$  é a lâmina precipitada pontual máxima média;  $P$  é a lâmina precipitada máxima média na área.

Pelas definições acima, então  $\alpha_{ep} \leq \alpha$ .

Os coeficientes de abatimento podem ser também sazonalizados, mas o usual é considerá-los englobando as chuvas de todo o ano.

Os coeficientes de abatimento probabilísticos costumam diminuir (isto é, indicar mais abati-

mento) com o aumento do período de retorno e a diminuição das durações, além de diminuir com a área da bacia. Há, entretanto, situações especiais, ligadas a chuvas fracas sobre grandes áreas, onde o coeficiente de abatimento probabilístico pode ser maior que um, deixando de ser um verdadeiro coeficiente de abatimento (Lahaye et al., 1980).

A vantagem principal da abordagem não-epicêntrica é que ela sofre menos efeito da incerteza do fato de que o epicentro da chuva de um evento nem sempre passa exatamente sobre um pluviógrafo da rede.

Este artigo objetiva analisar o coeficiente de abatimento de chuvas em Porto Alegre através de dois métodos probabilísticos não-epicêntricos, um com base na estrutura de correlação espacial da precipitação e outro com base no método geoestatístico de krigagem. No processo de análise, compararam-se os resultados dos métodos com os coeficientes observados em eventos reais e com as curvas do *Weather Bureau* americano (USWB).

## ABATIMENTO PROBABILÍSTICO

Há vários métodos para cálculo dos coeficientes de abatimento probabilísticos. Em estudo anterior para Porto Alegre, Silveira (1993) aplicou um método adaptado do apresentado por Niemczynowics (1984) que se baseia no cálculo direto de coeficientes em áreas de influência combinadas da rede de pluviógrafos, usando informações das relações intensidade-duração-frequência (IDFs) pontuais. Entretanto, são teoricamente mais robustos aqueles que se baseiam na relação do abatimento com a estrutura espacial de correlação dos campos de precipitação (Silveira, 1996).

O primeiro a demonstrar esta relação foi Roche (1963), segundo Rodriguez-Iturbe e Mejia (1974), mas estes últimos propuseram um método melhor e mais simples para abordar o abatimento espacial. Eles deduziram que, para um campo gaussiano, o coeficiente de abatimento é dado simplesmente por:

$$\alpha = \bar{\rho}_A^{1/2} \tag{1}$$

sendo A a área considerada e  $\rho_A$  a correlação média sobre A. Esta expressão de  $\alpha$  aplica-se a todos os quantis, o que significa que é um coeficiente de abatimento probabilístico.

Outra abordagem liga os coeficientes de abatimento probabilísticos com a estrutura espacial da precipitação representada pela função variograma da geoestatística. Lebel e Laborde (1988) chegaram a expressões gerais para processos que seguem a lei Normal e a de Gumbel.

## Método de Rodriguez-Iturbe e Mejia

Os campos de chuva via de regra não são gaussianos. Para contornar este problema, Rodriguez-Iturbe e Mejia (1974) propuseram um método original que sintetiza a estrutura de correlação espacial de uma região pela adoção de uma correlação a uma distância característica  $v_c$ , função apenas do tamanho e da forma da região. Calculando-se corretamente esta correlação característica, e para isto a rede pluviométrica deve ser suficientemente densa, a determinação do tipo de função de correlação espacial decrescente com a distância é de menor importância. Estes autores obtiveram praticamente os mesmos resultados, considerando uma função exponencial e uma função de Bessel modificada:

$$\begin{aligned} r(v) &= e^{-hv} \\ r(v) &= vbK_1(vb) \end{aligned} \tag{2}$$

onde  $v$  é a distância e  $h$  e  $b$  são parâmetros. A função  $xK_1(x)$  pode ser calculada com as fórmulas e tabelas de Abramowitz e Stegun (1970).

Para determinar os coeficientes de abatimento, o método propõe, então, duas curvas, uma exponencial e outra por Bessel. Elas representam a função de abatimento  $\alpha$  ( $Ah^2$ ) e  $\alpha$  ( $Ab^2$ ) estabelecidas por:

$$\alpha = \left[ \int_0^d r(v)f(v)dv \right]^{1/2} \tag{3}$$

onde a integral representa o valor esperado da correlação na superfície, sendo  $d$  a distância mais longa;  $f(v)$  é a função de distribuição das distâncias entre dois pontos dentro da superfície e  $r(v)$  representa a função de correlação com a distância. Os referidos autores supuseram  $f(v)$  pouco variável em função da forma da superfície.

As figuras de  $\alpha$  ( $Ah^2$ ) e  $\alpha$  ( $Ab^2$ ) fornecidas por Rodriguez-Iturbe e Mejia (1974) permitem estabelecer os abatimentos procurados.

**Método de Lebel e Laborde**

Lebel e Laborde (1988) calcularam coeficientes de abatimento probabilísticos com outra abordagem que usa a função variograma da geoestatística para representar a estrutura espacial da precipitação. Chegaram a expressões gerais para processos que seguem a lei Normal e de Gumbel. Para quantis extremos, simplificações permitem estabelecer uma única expressão:

$$\alpha = \left[ 1 - \frac{1}{A^2 \sigma_z^2} - \iint_A \gamma(u, u') du du' \right]^{1/2} \tag{4}$$

sendo  $\sigma_z^2$  a variância pontual e  $\gamma(u, u')$ , o variograma, função unicamente da distância entre os pontos  $u$  e  $u'$ .

O método sugere o uso de um modelo simplificado para o variograma, o modelo exponencial:

$$\gamma(v) = \sigma_z^2 \left( 1 - e^{-v/\beta} \right) \tag{5}$$

sendo  $v$  a distância e  $\beta$  o alcance.

Com a integração deste variograma na superfície, o coeficiente de abatimento simplifica-se na seguinte expressão:

$$\alpha = 1 - 0,25 \frac{\sqrt{A}}{\beta} \tag{6}$$

O variograma exponencial é limitado em  $\sigma_z^2$ , o que pressupõe uma relação direta com a função de correlação espacial:

$$r(v) = 1 - \frac{\gamma(v)}{\sigma_z^2} = e^{-v/\beta} \tag{7}$$

Para o alcance é usada a expressão:

$$\beta = at^n \tag{8}$$

sendo  $t$  a duração associada à variável de precipitação e  $a$  e  $n$  os parâmetros.

**ABATIMENTO EM PORTO ALEGRE**

**Dados utilizados**

O abatimento foi avaliado na região urbana da bacia do Dilúvio. Os postos P1, P2, P3, P4, P5, P7, P8, P9 e P10 compõem o conjunto representativo da precipitação urbana (Silveira, 1997). As coordenadas da bacia e a localização dos postos podem ser visualizadas na Figura 1. A rede pluviográfica da Figura 1, operada pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS), funcionou concomitantemente, para a maioria dos postos, basicamente entre os anos de 1978 a 1982, com passo de tempo de 30 minutos, com registro de 192 eventos de chuva.

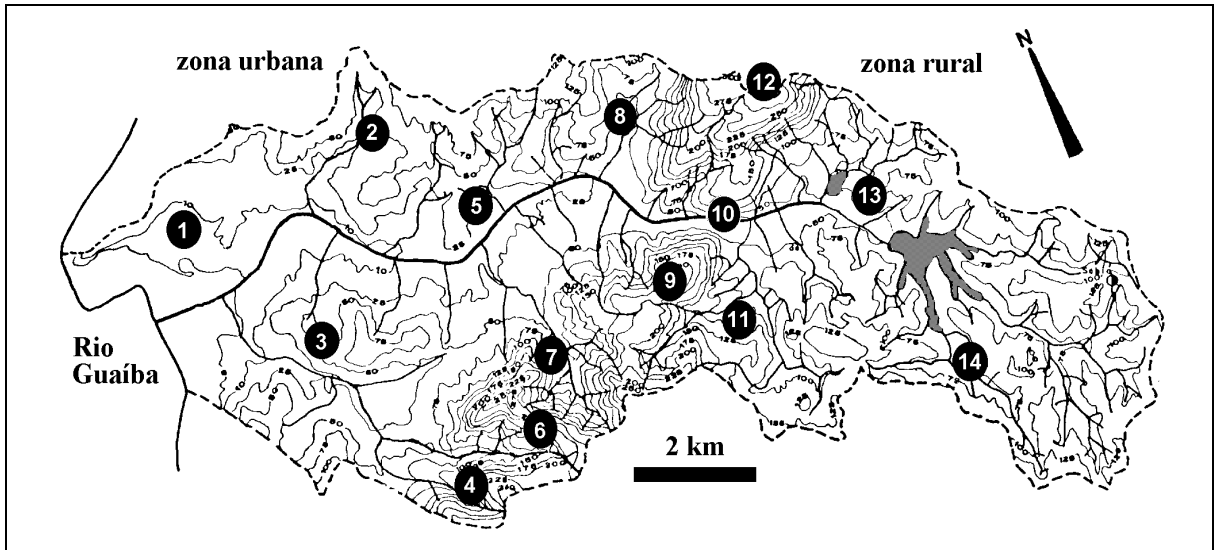


Figura 1. Bacia do Arroio Dilúvio em Porto Alegre (situada entre as coordenadas 51°04' e 51°15' de longitude oeste e 30°01' e 30°08' de latitude sul).

### Aplicação do método de Rodriguez-Iturbe e Mejia

Em primeiro lugar estimou-se a distância característica de correlação. Como os postos mencionados situam-se aproximadamente dentro de uma região quadrada de 6 km de lado, o valor de  $v_c$  seria de 3,1 km, resultado do produto de 0,5214, a distância média teórica de todos os pares de pontos dentro de um quadrado de lado unitário, pela razão entre a diagonal do quadrado “real” pela do quadrado unitário.

Restringindo-se o interesse aos períodos de retorno de 1, 2, 3, 4 e 5 anos, o passo seguinte foi a estimativa das correlações para a distância de 3,1 km para estes quantis. Uma pesquisa de todos os pares de postos cuja distância média está próxima de  $v_c$  apontou que deveríamos considerar as correlações dos pares P1-P2, P3-P4, P3-P5, P5-P8 e P7-P10. Os valores médios destas correlações (Tabela 1) foram calculadas com a expressão fornecida por Gottschalk (1989), com base nos dados dos 192 eventos onde as duplas de postos acima funcionaram.

A Tabela 1 mostra que, na faixa de períodos de retorno de 1 a 5 anos os valores de correlação média não variam significativamente na mesma duração. De uma duração para outra, nota-se uma certa variação entre 30 e 90 minutos, e além há uma certa estabilidade. Os valores correspondentes à duração de 480 minutos, no entanto, devem ser interpretados com prudência pois o número de eventos com esta duração real é bem menor que os das outras durações.

Considerando-se estes aspectos resolveu-se admitir as correlações características médias da Tabela 2.

A etapa seguinte preocupou-se em calcular os parâmetros de decaimento com a distância 3,1 km e as correlações correspondentes. Para as duas funções consideradas (exponencial e Bessel) obteve-se os valores da Tabela 3.

Utilizando-se as figuras de  $\alpha (Ah^2)$  e  $\alpha (Ab^2)$  disponíveis no artigo de Rodriguez-Iturbe e Mejia (1974), chega-se aos coeficientes de abatimento da Tabela 4.

A escolha da função  $r(v)$ , como sustentaram os autores do método, efetivamente, teve pouco efeito. Entretanto, não se deve esquecer que o verdadeiro problema é conhecer a precisão da estimativa da correlação na distância característica, feita a partir dos dados observados. Em se tratando do

**Tabela 1. Correlações dos quantis para  $v_c = 3,1$  km.**

Duração	Período de retorno				
	1 ano	2 anos	3 anos	4 anos	5 anos
30 min	0,7841	0,7847	0,7850	0,7851	0,7852
60 min	0,8212	0,8217	0,8219	0,8220	0,8221
90 min	0,8491	0,8495	0,8497	0,8498	0,8499
120 min	0,8429	0,8433	0,8435	0,8436	0,8437
240 min	0,8485	0,8489	0,8491	0,8492	0,8493
360 min	0,8443	0,8449	0,8452	0,8453	0,8454
480 min	0,7623	0,7630	0,7638	0,7641	0,7642

**Tabela 2. Correlações a  $v_c = 3,1$  km.**

Duração	30 min	60 min	≥90 min
$r(v=3,1 \text{ km})$	0,785	0,822	0,845

**Tabela 3. Parâmetros de decaimento espacial.**

Duração	30 min	60 min	t≥90 min
h (exponencial)	0,0781	0,0632	0,0542
b (Bessel)	0,191	0,166	0,156

**Tabela 4. Coeficientes de abatimento espacial (%) pelas funções exponencial – Bessel.**

Duração	Área			
	10 km <sup>2</sup>	20 km <sup>2</sup>	30 km <sup>2</sup>	40 km <sup>2</sup>
30 min	95-95	92-91	90-89	88-87
60 min	96-96	94-93	92-91	90-89
≥90 min	96-96	95-93	94-91	92-90

abatimento de um quantil (como é o presente caso) esta estimativa depende da lei pontual do fenômeno (lei gama, no caso, conforme ajustes de Silveira, 1996).

### Aplicação do método de Lebel e Laborde

Este método, conforme apresentado anteriormente, reduz a expressão da correlação espacial  $r(v)$  a:

$$r(v) = e^{-\frac{v}{\beta}} \tag{9}$$

onde  $\beta$  é o alcance do variograma, cujo valor pode ser estimado por:

$$\beta = at^n \tag{10}$$

sendo t a duração e a e n parâmetros a ajustar.

Para Porto Alegre, as correlações observadas na rede de postos urbanos da bacia do Dilúvio, nas séries com durações de 30, 60, 90 e 120 minutos, permitiram calcular:

$a = 6,82$  e erro padrão de 1,09;

$n = 0,215$  e erro padrão de 0,038.

Com estes valores de  $a$  e  $n$ , foram calculados os valores de  $\beta$  da Tabela 5. Verifica-se que os alcances são de ordem de grandeza superior à região coberta pela rede pluviográfica analisada. Pode-se notar também que o inverso dos parâmetros  $h$  da Tabela 3 dão resultados semelhantes para  $\beta$ .

Aplicando-se os valores de  $\beta$  da Tabela 5 na Equação (6), obtêm-se os valores registrados na Tabela 6. Equivale a aplicar a equação:

$$\alpha = 1 - \frac{\sqrt{A}}{27,3t^{0,215}} \quad (11)$$

onde a área  $A$  é dada em  $\text{km}^2$  e  $t$  em minutos.

Os resultados da Tabela 6 são semelhantes aos obtidos anteriormente (Tabela 4). A grosso modo indicam um abatimento de 10% para áreas entre 30 e 40  $\text{km}^2$  e períodos de retorno de 1 a 5 anos.

### Coefficientes de abatimento “reais” da rede

As metodologias acima, para melhor serem avaliadas quanto à sua representatividade, podem ter comparados seus resultados com os coeficientes de abatimento calculados diretamente dos eventos de precipitação. Evidentemente, como os modelos de abatimento de Rodriguez-Iturbe e Mejia (1974) e Lebel e Laborde (1988) foram ajustados com dados dos mesmos eventos, a comparação acima restringe-se a uma verificação de como estes modelos aproximam-se ou distanciam-se de abatimentos observados ou reais.

Devido à variabilidade espacial inerente dos eventos de precipitação, onde nem sempre há um epicentro definido com decréscimo radial de chuva, mesmo os abatimentos calculados de eventos observados têm valores algo dependentes do procedimento de cálculo utilizado. Por isso os chamaremos aqui de coeficientes de abatimento “reais” entre aspas.

O procedimento de cálculo iniciou com a seleção dos intervalos que continham os epicentros

**Tabela 5. Valores de  $\beta$ .**

Duração	30 min	60 min	90 min	120 min
$\beta$ (km)	14,2	16,4	17,9	19,1

**Tabela 6. Coeficientes de abatimento espacial (%) obtidos por variograma.**

Duração	Área			
	10 $\text{km}^2$	20 $\text{km}^2$	30 $\text{km}^2$	40 $\text{km}^2$
30 min	94	92	90	89
60 min	95	93	92	90
$\geq 90$ min	96	94	92	91

dos 192 eventos disponíveis, tendo sido realizada uma seleção para cada duração (30, 60, 90, 120, 240, 360 e 480 min). Uma seleção consiste na definição da lâmina precipitada no posto epicentro e das chuvas dos outros postos concomitantes. Em seguida, com base na IDF do posto que era epicentro e da intensidade de chuva neste, promoveu-se outra seleção para analisar somente os eventos de 1 a 5 anos de período de retorno.

Para cada evento assim selecionado, calculou-se, a partir do epicentro (por definição com abatimento unitário), o abatimento local pontual de cada posto não epicêntrico. Para se obter uma linha de abatimento, ordenou-se então, por ordem de distância, os abatimentos pontuais em relação ao epicentro. A linha de abatimento assim construída é uma poligonal que pode oscilar em torno de sua tendência de decréscimo. Para suavizá-la efetuou-se uma integração com a distância, obtendo-se uma poligonal sempre decrescente e o abatimento médio até cada distância. Admitiu-se simetria radial e o abatimento calculado foi ligado à área circular cujo raio era a distância. Os abatimentos assim calculados são epicêntricos, ou seja, são abatimentos análogos aos  $\alpha_{ep}$ .

A reunião de todos os pontos de todas as curvas de abatimento individuais de cada duração, mostram uma dispersão significativa. Entretanto, é possível ajustar uma função matemática decrescente, representando a curva média esperada de abatimento. Optou-se por fazer este ajuste com a expressão matemática que surge do método de Lebel e Laborde (1988), possibilitando assim uma comparação direta com os parâmetros deste método. A curva ajustada permite também uma comparação com os abatimentos do método de Rodriguez-Iturbe e Mejia (1974), de resto muito seme-

lhantes aos dos autores acima. Obteve-se, portanto, sete curvas empíricas de abatimento “real”, uma para cada duração, cujos parâmetros estão na Tabela 7. O ajuste foi por mínimos quadrados. A Figura 2 ilustra sob o nome “calculado” o ajuste para a duração 30 min juntamente com o ajuste segundo Lebel e Laborde.

As curvas empíricas resultaram em abatimentos maiores, isto é, passaram por baixo das curvas calculadas pelo método de Lebel e Laborde (1988).

Nota-se um menor alcance  $\beta$  nos abatimentos reais empíricos, o que indica haver um abatimento mais pronunciado do que os indicados pelos métodos aplicados. Isto faz que uma equação similar à Equação (11) tenha os seguintes parâmetros da Equação (12) abaixo.

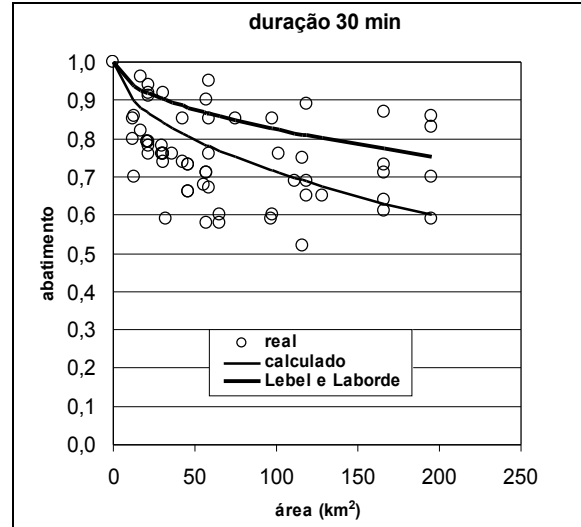
$$\alpha = 1 - \frac{\sqrt{A}}{24,6t^{0,104}} \quad (12)$$

Por outro lado, dada a dispersão que pode ser vista em gráficos como o da Figura 2, verifica-se que os abatimentos de Lebel e Laborde (1988) e, por semelhança também os de Rodriguez-Iturbe e Mejia (1974), localizam-se mais exatamente na faixa superior dos abatimentos observados, mas ainda totalmente dentro das nuvens de pontos. Isto poderia ser explicado pela natureza epicêntrica dos coeficientes empíricos e pela natureza não-epicêntrica implícita dos coeficientes de abatimento calculados pelos métodos acima. Mas pode ser também um indicativo de que são métodos conservadores, por superestimação das correlações interpostas que suas equações introduzem.

**Naturezas epicêntrica e não epicêntrica**

Os coeficientes de abatimento reais acima calculados são de natureza epicêntrica, isto é, são do tipo  $\alpha_{ep}$ .

Deve-se esperar  $\alpha_{ep} \bar{P}_{ep} = \alpha \bar{P}$ , o que corresponde a dizer que há uma expectativa de que  $\alpha_{ep} \leq \alpha$ , pois  $\bar{P}_{ep}$  é normalmente maior que  $\bar{P}$ . O valor de  $\bar{P}$  corresponde à lâmina precipitada pontual máxima média e pode ser estimado com base na IDF urbana calculada por Silveira (1996). O valor de  $\bar{P}_{ep}$  é a média dos máximos pontuais epicêntricos (sobre um dos postos da rede a cada evento) que pode ser estimada a partir dos dados dos eventos reais que serviram ao cálculo dos coefi-



**Figura 2. Abatimentos para 30 min.**

**Tabela 7. Valores de  $\beta$  “reais” empíricos.**

Duração (min)	30	60	90	120	240	360	480
$\beta$ (km)	8,7	9,4	10,0	9,3	12,4	11,2	11,1

cientes de abatimento reais. A comparação, entretanto, conduziu a uma virtual igualdade entre  $\bar{P}_{ep}$  e  $\bar{P}$ , conforme mostra a Tabela 8. Foram tomados por base os períodos de retorno dos  $\bar{P}_{ep}$ , avaliados pela IDF urbana acima referida. A razão desta semelhança na bacia do Dilúvio é difícil de discernir, mas uma pista seria pelo fato de não haver praticamente intermitência espacial nos eventos e que os epicentros destas alternam de localização equilibradamente entre os postos da rede. Pode ser também que os epicentros reais não tenham caído sistematicamente sobre postos da rede.

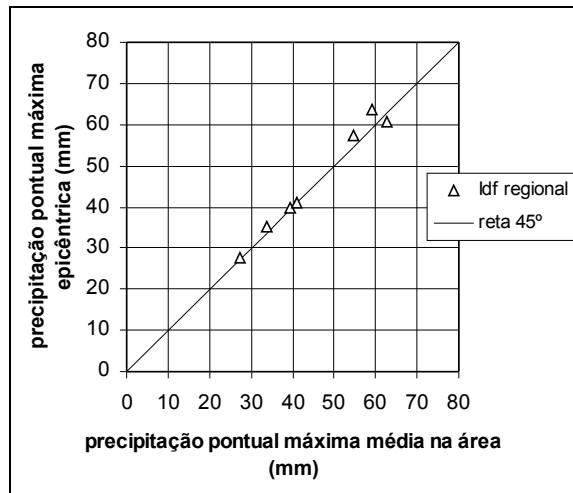
A Figura 3 ilustra os pares de pontos ( $\bar{P}$ ,  $\bar{P}_{ep}$ ) em torno da reta 45°, que seria a igualdade perfeita. Constata-se então que em termos práticos  $\alpha_{ep} = \alpha$  e, em consequência, os coeficientes de abatimento (do tipo  $\alpha$ , não epicêntricos) calculados pelos métodos de Lebel e Laborde (1988) e Rodriguez-Iturbe e Mejia (1974) são conservadores.

**Coefficientes de abatimento do Weather Bureau**

O manual do DAEE/CETESB (1980), assim como outras publicações de hidrologia costumam sugerir o uso das curvas de abatimento do *Weather*

**Tabela 8.** Valores de  $\bar{P}_{ep}$  e  $\bar{P}$ .

t (min)	$\bar{P}_{ep}$ (mm)	$\bar{P}$ (mm)	T (anos)
30	27,2	27,5	2,4
60	33,7	35,1	2,1
90	39,5	39,9	2,4
120	40,9	41,0	1,8
240	54,5	57,5	3,1
360	59,1	63,6	2,0
480	62,8	60,6	1,5

**Figura 3.** Precipitações pontuais máximas.

Bureau (USWB). Assim, é interessante fazer uma comparação com os resultados obtidos no presente estudo. As Figuras 4 e 5 servem a este propósito.

Em primeiro lugar, tanto a Equação (11), oriunda dos métodos aplicados, como a Equação (12), que reflete um ajuste ao abatimento "real" médio, têm as curvas de abatimento de 30 e 60 minutos bastante próximas, em comparação com as respectivas curvas do USWB. Isso indica que, para Porto Alegre, não se introduz uma intermitência significativa entre essas duas durações, o que pode ter existido nas localidades estudadas pelo USWB nos Estados Unidos.

Curiosamente observa-se também que, por um lado, as curvas de abatimento produzidas pela Equação (11) aproximam-se da curva de 60 min do USWB (Figura 4), mas por outro lado, as mesmas curvas produzidas pela Equação (12) aproximam-se da curva de 30 min do USWB (Figura 5).

Como o USWB calculou coeficientes de abatimento médios de eventos reais, a Figura 5 permite uma comparação mais fidedigna que a da

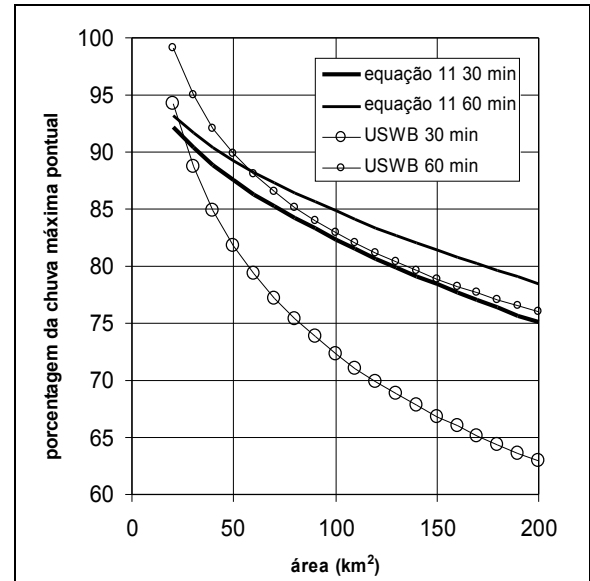
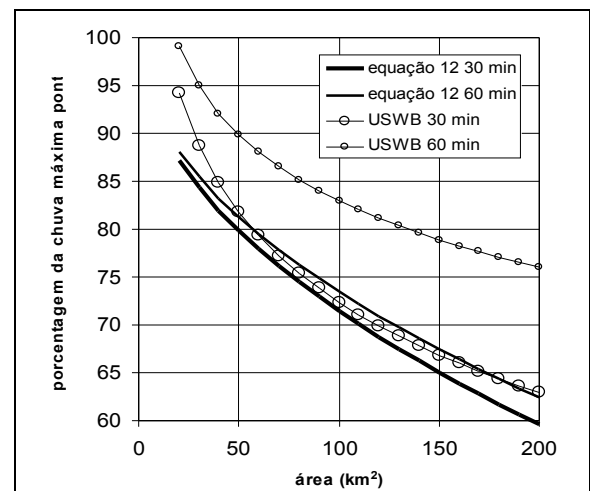
**Figura 4.** Abatimento da Equação (11) e do USWB.**Figura 5.** Abatimento da Equação (12) e do USWB.

Figura 4. Mesmo assim, a comparação que pode ser feita é meramente ilustrativa, pois deve-se esperar diferenças marcantes nos regimes pluviométricos de Porto Alegre e de localidades americanas. Ainda assim nota-se uma semelhança nos abatimentos das chuvas de 30 min. Entretanto, tomando-se a Equação (12) como válida para o abatimento real para Porto Alegre, verifica-se que o uso da curva de abatimento de 60 min do USWB subestimaria este abatimento, sugerindo valores conservadores.

Com a Equação (11) e a Figura 4, o raciocínio é outro. Uma vez que se ache conveniente o

caráter conservador desta equação, decorrente do método de Lebel e Laborde (1988), pode-se considerar que há uma relativa concordância com a curva do USWB para a duração de 30 min. Mas, para a duração de 60 min, o abatimento sugerido pelo USWB seria bem maior (com coeficientes de abatimento com valores menores).

## CONCLUSÃO

O emprego de uma abordagem probabilística, através dos métodos de Lebel e Laborde (1988) e de Rodriguez-Iturbe e Mejia (1974) permitiu avaliar o comportamento dos coeficientes de abatimento na bacia do Dilúvio em Porto Alegre.

Os métodos aplicados baseiam-se na estrutura espacial da precipitação. O primeiro explora a relação entre a correlação espacial e o abatimento. O segundo utiliza um variograma no lugar da função de correlação espacial. Ambos deram resultados semelhantes. Isto não deve surpreender, entretanto, porque, mesmo que sejam métodos diferentes, há uma ligação estreita entre eles. O variograma, quando adimensionalizado pela variância do campo, representa normalmente o complemento, em relação à unidade, da função de correlação espacial.

Para o intervalo de períodos de retorno investigado, de 1 a 5 anos, a estrutura espacial não muda significativamente para cada duração da chuva, o que equivale a dizer que nesta situação os coeficientes de abatimento variam fundamentalmente com a área de abrangência e com a duração da chuva.

O método de Lebel e Laborde (1988) e, por semelhança de resultados, o método de Rodriguez-Iturbe e Mejia (1974), sintetizam-se na Equação (11), que é uma lei de abatimento não epicêntrico probabilístico, válida para períodos de retorno entre 1 e 5 anos. A comparação desta lei com a lei dos abatimentos avaliados diretamente sobre os eventos reais de chuva (abatimentos "reais", Equação 12) revelou que a abordagem probabilística ameniza os abatimentos, agindo conservadoramente. Este comportamento, a princípio, não pode ser creditado à natureza não-epicêntrica dos abatimentos da Equação (11) e da natureza epicêntrica da Equação (12). Uma avaliação dos dados concluiu que os coeficientes de abatimento epicêntricos (que normalmente têm valores numéricos menores que os não epicêntricos) são equivalentes aos abatimentos não epicêntricos na bacia do Dilúvio.

Entre as Equações (11) e (12) é mais conveniente optar pela primeira, pois possui uma base teórica mais robusta enquanto que a segunda é uma tendência média empírica de uma amostra de abatimentos bastante dispersa. As Equações (11) e (12)

dão resultados significativamente diferentes das curvas de abatimento do USWB, mostrando que a aplicação destas últimas seriam injustificáveis em Porto Alegre.

## AGRADECIMENTOS

Ao MCT/CNPq e Finep, MEC/Capes, financiadores do PRONEX, ao CNPq pela bolsa pesquisa e à Finep pelo financiamento do Recope-Rehidro.

## REFERÊNCIAS

- ABRAMOWITZ, M.; STEGUN, I. A. (1970). Handbook of Mathematical Functions, p. 1046 ed. *Dover Publications Cie., U.S.A.*
- DAEE/CETESB (1980). *Drenagem Urbana, Manual de Projeto, Departamento de Águas e Energia Elétrica e Companhia de Tecnologia de Saneamento*, São Paulo.
- GOTTSCHALK, L. (1989). *Regional Exceedance Probabilities*, *Nordic Hydrology*, 20, p. 201-214.
- LAHAYE, J. P.; MEUNIER, M.; TARTES, R. (1980). *Méthodes d'étude des pluies de courte durée*, *La Météorologie*, Série VI (20), França.
- LEBEL, T.; LABORDE, J. P. (1988). *A geostatistical approach for areal rainfall statistics assessment, Stochastic Hydrology and Hydraulics*, v.2, p. 245-261.
- NIEMCZYNOWICS, J. (1984). *Na investigation of the areal and dynamic properties of rainfall and its influence on runoff generating processes*, Report n°1005, University of Lund, Suécia, p. 215.
- ROCHE, M. (1963). *Hydrologie de Surface*, Gauthier-Villars, Paris, p. 430.
- RODRIGUEZ-ITURBE, I.; MEJIA, J. M. (1974). *On the transformation of point rainfall to areal rainfall*, *Water Resources Research*, 10, p. 729-735.
- SILVEIRA, A. L. L. (1993). *Étude des Relations Intensité-Durée-Frequence, Distribution Spatiale et Coefficients d'Abattement des Précipitations du Bassin du Dilúvio à Porto Alegre - Brésil*, Mémoire DEA National d'Hydrologie, Université Montpellier II, Montpellier, França, p. 142.
- SILVEIRA, A. L. L. (1996). *Contribution à l'Étude Hydrologique d'un Bassin Semi-Urbanisé dans le Brésil Subtropical, Bassin de l'Arroio Dilúvio à Porto Alegre*, Tese de Doutorado, Université Montpellier II, Montpellier, França, p. 240.
- SILVEIRA, A. L. L. (1997). *Provável Efeito Urbano nas Relações IDF das Chuvas de Porto Alegre*, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 2, n°2, jul/dez, p. 93-107.



## ***Areal Reduction Factors for Rainfall in Porto Alegre***

### **ABSTRACT**

*Areal Reduction Factors (ARFs) are quantities used in water resources engineering to convert point rainfall to an areal mean rainfall. In the absence of local information, it is common in Brazil to use ARFs derived in the USA that may be unrelated to local rainfall conditions, simply because the network densities of recording rain-gauges are generally inadequate. However at certain localities, such as Porto Alegre, there are sufficient data to justify the calculation of ARFs that are more appropriate than those from the USA.*

*This paper presents such a study, setting out the ARF analysis using two methods given in the literature: one based on the spatial correlation of rainfall and the other based on the kriging methods of geostatistics. An alternative analysis based on observed ARFs of rainfall events allowed methods to be evaluated, and a reduction factor was calculated reducing rainfall in Porto Alegre to an areal mean for the corresponding metropolitan area. Comparison with curves given by the United States Weather Bureau showed significant differences.*

*Key-words: design storm; point rainfall.*