

Agregação do Coeficiente de Abatimento Espacial à Relação Intensidade-Duração-Frequência das Precipitações Sobre a Região Metropolitana de Belo Horizonte

Elaine Cristina Xavier Santos

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas - Rua Santa Catarina, 1354
30170-081 Belo Horizonte, MG - Fone (31) 3337-3355 - elainexavier11@hotmail.com

Mauro Naghettini

Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos – UFMG - Av. do Contorno, 842/8º andar
30110-060 Belo Horizonte, MG - Fone (31) 3238-1002 - naghet@dedalus.lcc.ufmg.br

Recebido: 17/09/02 - revisão: 14/01/03 - aceito: 10/02/03

RESUMO

Em geral, os chamados métodos “indiretos” para a determinação de vazões de enchentes pressupõem o conhecimento prévio da precipitação média espacial, de uma certa duração, sobre a bacia de drenagem em estudo. Na prática da engenharia, é freqüente tomar-se a precipitação pontual, geralmente obtida a partir de curvas IDF locais, como uniformemente distribuída sobre a área em questão. Sabe-se, entretanto, que a precipitação não se distribui uniformemente sobre uma dada área, variando entre outros fatores, com o relevo e forma da bacia, assim como com a duração e a intensidade da chuva. Esse artigo sumariza os estudos realizados para a determinação dos chamados coeficientes de abatimento espacial (ou fatores de redução para área) de precipitações intensas de diversas durações sobre a Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH. Esses são fatores inferiores à unidade, os quais têm como fim obter a altura ou intensidade da precipitação média espacial a partir da redução da precipitação pontual. A metodologia aqui empregada baseia-se no coeficiente de correlação espacial entre precipitações pontuais, bem como nas características dos episódios de chuva e na forma da área considerada. Os resultados obtidos, variáveis não só com a área, mas também com a duração e o período de retorno da precipitação, puderam, então, ser agregados à relação existente entre a intensidade, duração e freqüência de chuvas sobre a RMBH. Esse artigo também apresenta comparações com outros estudos similares, algumas verificações para eventos de curta duração observados sobre a área em questão e uma breve discussão sobre a variação das dimensões características dos campos de precipitação com a gênese e duração dos episódios chuvosos.

Palavras-chave: coeficiente de abatimento espacial; curvas intensidade-duração-freqüência.

INTRODUÇÃO

Em bacias hidrográficas desprovidas de registros fluviométricos, a quantificação de vazões singulares (ou mesmo de hidrogramas) de cheias características é feita usualmente por meio de modelos de síntese da relação chuva-vazão, pelo chamado “método indireto”. Em geral, nestes casos, uma altura ou intensidade de chuva, de duração previamente especificada e de dado tempo de retorno, é denominada “chuva de projeto” e é empregada como dado de entrada nos modelos de transformação chuva-vazão. Neste evento hipotético, freqüentemente construído por meio das chamadas curvas IDF (intensidade-duração-freqüência) locais, pode-se considerar como intrínseca a suposição de que a altura ou intensidade da “chuva de projeto” corresponde à precipitação média sobre a totalidade da área de drenagem. Entretanto, também é freqüente a prática de se empregar a precipitação pontual como representativa da precipitação média espacial, a despeito das evidências de que a precipitação não se distribui uniformemente por toda a área da ba-

cia. De fato, a precipitação média espacial pode variar não só com o relevo e a forma da bacia, mas principalmente com a intensidade, a tipologia e a duração do episódio chuvoso. Portanto, a “vazão de projeto”, obtida a partir da consideração de uniformidade da distribuição espacial da chuva, é certamente maior do que a que se esperaria sob cenários mais realistas.

Em alguns poucos países e somente em anos recentes, deu-se início a programas especiais de monitoramento dos campos de precipitação (e.g.: a iniciativa NEXRAD, do U.S. Weather Bureau, para medições de alturas de chuva sobre extensas áreas dos Estados Unidos com o uso de radar), os quais podem produzir importantes informações acerca da distribuição espacial da precipitação sobre uma dada área (Durrans et al., 2002). Entretanto, na maioria dos casos, a insuficiência ou a ausência de tais programas conduz à prática de se estimar a precipitação espacial por meio de correção da precipitação pontual. Essa prática é consubstanciada pela aplicação de um fator de redução espacial, inferior à unidade, conhecido pelas denominações de “coeficiente de

abatimento” ou “fator de redução para área” (FRA), em analogia às iniciais ARF do termo em inglês “Areal-Reduction Factor”.

De modo conciso, o FRA é um coeficiente de redução da precipitação pontual, cuja finalidade é a de se obter a precipitação média sobre a área no entorno do ponto de observação ou do ponto de estimativa da precipitação pontual. O FRA varia de 0 até 1 e depende das características do episódio de chuva, tais como tempo de retorno, abrangência espacial e duração, bem como das características da bacia, como comprimento, forma e localização geográfica (Asquith & Famiglietti, 2000).

A abrangência regional e as características da relação IDF, tal como estimada para as precipitações sobre a Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH por Pinheiro e Naghettini (1998), bem como o surgimento de metodologias inovadoras para a estimativa do FRA (Sivapalan & Blöschl, 1998), representaram as motivações principais do estudo que aqui se descreve. De fato, neste estudo, foi possível não só empregar a metodologia mencionada para o cálculo do FRA de precipitações intensas de diferentes durações, como também estendê-la de modo a incorporar as variações do FRA à relação IDF válida para a RMBH. Dessa forma, pode-se referir à combinação desses elementos como a relação IDFA (Intensidade-Duração-Frequência-Área) para as precipitações intensas de durações subdiárias sobre a RMBH. O presente artigo procura descrever o estudo em pauta e está organizado da seguinte forma: as primeiras seções buscam fornecer ao leitor uma breve revisão de algumas metodologias de cálculo do FRA, com destaque para aquela proposta por Sivapalan & Blöschl (1998). As seções intermediárias apresentam uma descrição sumária da área de estudo e da rede pluviográfica ali existente, a aplicação propriamente dita da metodologia selecionada, bem como os resultados encontrados. As seções finais referem-se a uma crítica dos resultados, passando por uma análise preliminar da relação entre a gênese da chuva e sua correspondente abrangência espacial média até o relato das principais conclusões do estudo.

VARIAÇÃO DA ALTURA DE CHUVA COM A ÁREA DE ABRANGÊNCIA

Em geral, o FRA pode ser estimado por meio de duas abordagens distintas para a redução da altura de chuva com a área. Essas abordagens, nominalmente a da chuva centrada e a da área fixa, são brevemente descritas a seguir.

Chuva centrada: definida pela razão entre a altura da precipitação média sobre uma área e a altura da precipitação máxima. Essa abordagem é frequentemente utilizada em estudos de PMP (Precipitação Máxima Provável), nos quais faz-se necessário realizar a transposição de padrões isoietais de uma área para outra.

Área fixa: resulta da análise de frequência das alturas de precipitação máximas anuais médias sobre uma área fixa provida de uma densa rede pluviográfica. Segundo essa abordagem, os valores máximos anuais em diferentes pluviógrafos muito raramente irão ocorrer na mesma data, implicando que os resultados obtidos por esse método refletem o comportamento agregado médio das diversas tormentas, em contraposição ao de um evento em particular. Nesse caso, a precipitação média espacial irá depender da localização e da direção do movimento da tormenta sobre a área. Em geral, essa abordagem resulta em valores menores de precipitação espacial do que os obtidos pelo método da chuva centrada, e, devido à sua concepção, é a mais utilizada nos modelos teóricos propostos para a estimativa do FRA.

METODOLOGIAS PARA ESTIMAÇÃO DO FATOR DE REDUÇÃO PARA ÁREA

Apresenta-se a seguir um sumário de alguns importantes trabalhos relacionados à transformação da precipitação pontual em precipitação espacial, todos tendo como base a abordagem da área fixa. Entre esses, um dos pioneiros é o chamado TP 29 (Technical Paper 29), publicado pelo U.S. Weather Bureau (1957), no qual curvas de redução foram empiricamente determinadas para áreas de até cerca de 1000 km² e precipitações de 30 minutos a 24 horas observadas em redes pluviográficas das regiões leste e central dos Estados Unidos. As curvas propostas sintetizam a conclusão de que o FRA depende principalmente da duração da tormenta e da área de abrangência, não tendo sido explicitada a sua dependência do período de retorno considerado.

Posteriormente, Roche (1963) apresentou um modelo teórico para a redução de ponto para área em campos isotrópicos de precipitação, dentro do qual levam-se em conta os coeficientes de correlação entre as diferentes estações da rede. A dificuldade de se construir algumas curvas inerentes à metodologia, assim como a descon sideração da duração e período de retorno como fatores influentes sobre a redução, fizeram com que o modelo proposto por Roche (1963) não encontrasse muitas aplicações ou desenvolvimento posterior à sua publicação.

Rodriguez-Iturbe & Mejía (1974) desenvolveram uma metodologia geral para a estimativa do FRA em campos estacionários e isotrópicos, na qual a redução da precipitação pontual para média sobre a área depende unicamente do valor esperado do coeficiente de correlação espacial para uma distância característica de abrangência. Este trabalho teve desenvolvimentos posteriores e representa a base teórica da metodologia de Sivapalan & Blöschl (1998), objeto de descrição na seção que se segue. Diversos outros métodos de estimativa do FRA têm sido propostos, com grande parte deles contendo limitações e atributos muito próprios da região de aplicação e uns poucos com aplicabilidade ge-

nérica. Entre os últimos, destaca-se o proposto por Asquith & Famiglietti (2000), no qual a estimativa do FRA considera a distribuição espacial da precipitação efetivamente observada no entorno de um registro local. A abordagem proposta por Asquith & Famiglietti (2000) tem como atributos não exigir a ponderação à priori das observações pontuais, não demandar a estimativa explícita do coeficiente de correlação espacial e nem da área representativa de um evento particular. Entretanto, o método requer uma rede pluviográfica muito densa e apresenta a desvantagem de não se poder associar um período de retorno à precipitação média espacial resultante. Esses fatores certamente limitam a aplicabilidade desta abordagem.

As especificidades da rede pluviográfica da RMBH, assim como as condicionantes metodológicas quanto ao modelo paramétrico da distribuição de probabilidades das precipitações intensas, são fatores que influenciaram na seleção da abordagem de Sivapalan & Blöschl (1998) para o fim do estudo aqui em foco.

O MÉTODO DE SIVAPALAN E BLÖSCHL

O trabalho desenvolvido por Sivapalan & Blöschl (1998) é uma extensão da proposta de Rodriguez-Iturbe & Mejía (1974). Em ambos, o fator de redução da área é obtido com base em um coeficiente κ^2 que representa a redução da variância da precipitação pontual para a espacial. Segundo Rodriguez-Iturbe & Mejía (1974), κ^2 pode ser interpretado como o fator de redução para transformar a precipitação pontual em precipitação espacial e depende do coeficiente de correlação espacial da precipitação e da área em si. Em termos formais, κ^2 é dado por:

$$\kappa^2 = \frac{R_{\max}}{0} \int_0^{R_{\max}} \rho_p(r) f_R(r) dr \quad (1)$$

onde $\rho_p(r)$ denota a estrutura de correlação do campo de chuva, a qual tem como parâmetro o coeficiente de correlação espacial λ , $f_R(r)$ representa a função densidade de probabilidade da distância r entre os pontos dentro da área em estudo e R_{\max} corresponde à maior distância dentro da área. A metodologia de Sivapalan & Blöschl (1998) é construída com base na suposição de que a área para abatimento tem forma quadrada, caso para o qual tem-se a dedução de $f_R(r)$ por Ghosh (1951), sendo R_{\max} a diagonal do quadrado. Doravante no presente artigo, o índice p está associado a variáveis da precipitação pontual e o índice A corresponde a variáveis da precipitação espacial. O correlograma espacial é o gráfico que mostra a variação do coeficiente de correlação dos dados de precipitação de estações, tomadas duas a duas, com a distância entre elas. Rodriguez-Iturbe & Mejía (1974) propõem que o correlograma espacial possua decaimento exponencial, dado pela seguinte equação:

$$\rho_p(r) = \exp\left(\frac{-r}{\lambda}\right) \quad (2)$$

O valor de κ^2 pode ser obtido através do cálculo numérico da integral indicada na Equação (1). A Figura 1 mostra o resultado dessa integração, considerando que a área em foco tenha forma quadrada.

O ponto central do trabalho desenvolvido por Sivapalan & Blöschl (1998) é a obtenção da distribuição original (ou distribuição mãe) da precipitação espacial através da precipitação pontual. Admite-se que o modelo paramétrico exponencial é adequado para a distribuição-mãe das intensidades da precipitação pontual; essa hipótese, sob a ótica da teoria clássica de valores extremos, implica que a distribuição dos valores máximos anuais da precipitação pontual é o modelo extremal do tipo I ou Gumbel. Por outro lado, é uma decorrência da teoria de probabilidades que a soma de diversas variáveis aleatórias exponencialmente distribuídas resulta em uma nova variável aleatória cuja distribuição de probabilidade é o modelo Gama de dois parâmetros. Pode-se interpretar que a precipitação média espacial sobre uma área fixa resulta da soma ponderada das precipitações pontuais o que, sob as hipóteses distributivas mencionadas, conduz à conclusão de que a distribuição dos valores médios da precipitação sobre uma área é representada por um modelo Gama. Na sequência, pode-se deduzir a distribuição de valores extremos da intensidade de precipitação espacial pela aplicação da teoria clássica de valores extremos à cauda superior da distribuição Gama. Considerando os fatos que a função densidade Gama não possui limite à direita e que sua cauda superior é do tipo exponencial, a aplicação da teoria clássica de valores extremos permite inferir que o modelo extremal resultante é também a distribuição de Gumbel.

No trabalho de Sivapalan & Blöschl (1998), são duas as premissas utilizadas para verificar a variabilidade da precipitação sobre a área. A primeira refere-se à estacionariedade espacial da chuva, indicando que a intensidade média para uma dada área equivale à média espacial das intensidades pontuais. Essa hipótese de trabalho é crucial na construção do método proposto e permite verificar a forma com que os parâmetros da distribuição de valores extremos da chuva média espacial dependem do fator de redução da variância. A segunda premissa é a consideração de isotropia do campo de precipitações, o que implica que, a partir de um ponto central de referência, as características físicas e distributivas são mantidas em qualquer direção radial.

Sob as hipóteses distributivas e premissas mencionadas, o FRA é obtido através da razão entre a intensidade de precipitação espacial i_A e a intensidade de precipitação pontual i_p . As intensidades de precipitação pontual e espacial são dadas pela função inversa das respectivas distribuições de valores extremos. O período de retorno T , é inserido nessa razão por meio da relação $F = 1 - 1/T$ onde F representa a

probabilidade de um dado quantil não ser superado. A relação i_A/i_p é dada pela Equação (3):

$$\text{FRA}[\kappa^2(A/\lambda^2), t_r, T] = \frac{A(t_r, \kappa) - B(\kappa, T)}{C(t_r, T)} \quad (3)$$

onde:

$$A(t_r, \kappa) = b(t_r) c(t_r) \kappa^2 f_2(\kappa^{-2})$$

$$B(\kappa, T) = -\frac{\kappa^2}{f_1(\kappa^{-2})} \ln \left\{ \ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right\}$$

$$C(t_r, T) = b(t_r) c(t_r) - \ln \left\{ \ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right\}$$

e t_r é a duração da precipitação, $b(t_r)$ e $c(t_r)$ são os parâmetros da distribuição de valores extremos da precipitação pontual, κ^2 é o fator de redução da variância, T é o período de retorno, A é a área e $f_1(\kappa^{-2})$ e $f_2(\kappa^{-2})$ são propriedades da distribuição Gama. O fator de redução da variância depende do comprimento de correlação espacial λ e é determinado por meio do gráfico da Figura 1. As chamadas funções de forma $f_1(\kappa^{-2})$ e $f_2(\kappa^{-2})$ são propriedades da distribuição Gama e foram determinadas empiricamente por Sivapalan & Blöschl (1998). Estas funções são dadas pelas seguintes equações:

$$f_1(\kappa^{-2}) = 1 - 0,17 \ln \kappa^{-2} \quad (4)$$

$$f_2(\kappa^{-2}) = 0,39 + 0,61(\kappa^{-2})^{0,8} \quad (5)$$

Por meio da estimativa do FRA empírico de eventos isolados, é possível avaliar os resultados, tal como obtidos pela aplicação da metodologia de Sivapalan & Blöschl (1998). O FRA empírico pode ser estimado a partir de estudos da distribuição espacial de eventos isolados de precipitação e as respectivas alturas de precipitação, de diversas durações, observadas nas estações situadas sobre uma dada região. Para a seleção dos eventos de precipitação, considera-se que esses são estacionários durante o intervalo de tempo em que ocorreram; conforme menção anterior, essa consideração facilita a análise por não considerar a movimentação do campo de precipitação sobre a área em estudo.

Consideradas as hipóteses de trabalho e as alturas de precipitação observadas nas diversas estações, constroem-se inicialmente as isoietas sobre a região estudada. Na construção dessas isolinhas, podem ser utilizados diferentes métodos de interpolação; pela sua simplicidade, o método mais empregado é o da interpolação linear dos dados de altura de precipitação. Ponderando-se as alturas de precipitação dentro das isoietas pelas suas respectivas áreas de cobertura, pode-se, então, estimar a precipitação média sobre a área em questão. Finalmente, o FRA empírico é obtido pela razão entre a altura de precipitação média sobre a área e a altura de precipitação máxima do evento observado. O pe-

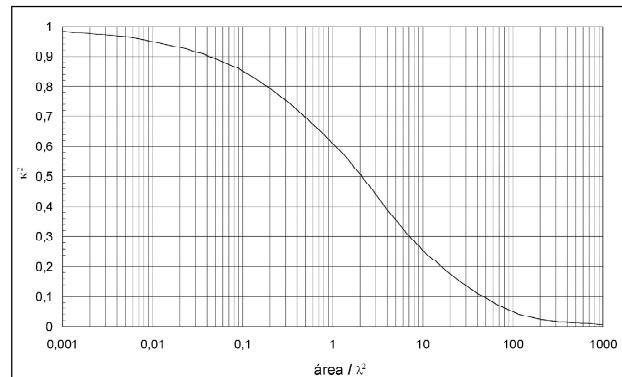


Figura 1. Fator de redução da variância κ^2 para áreas quadradas.

ríodo de retorno do evento analisado é estimado por meio da curva IDF local. Sivapalan & Blöschl (1998) obtiveram resultados comparáveis entre os fatores de redução de área teórico e empírico pela aplicação de sua metodologia a alguns eventos raros de duração diária, observados em duas regiões distintas da Áustria; remete-se o leitor ao trabalho mencionado para detalhes sobre estas aplicações.

DESCRIÇÃO E PLUVIOMETRIA DA REGIÃO METROPOLITANA DE BH

A Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) está localizada na porção central do Estado de Minas Gerais e compreendida entre os paralelos $19^\circ 30'$ e $20^\circ 50'$ de latitude sul e os meridianos $43^\circ 30'$ e $44^\circ 40'$ de longitude oeste Greenwich. Abrange uma área de $5.852,3 \text{ km}^2$ sendo integrada por 24 municípios e drenada pelas sub-bacias dos rios das Velhas e Paraopeba, afluentes da margem direita do rio São Francisco. Para o presente estudo, a área contida pelo perímetro da região, ilustrada na Figura 2, foi aproximada por uma forma quadrada.

A aplicação da metodologia de Sivapalan & Blöschl (1988) para a determinação do FRA sobre a RMBH seguiu duas direções, em conformidade com a disponibilidade de dados pluviométricos e pluviográficos. Inicialmente, para a determinação do FRA para precipitação diárias, foram utilizadas 16 estações pluviométricas situadas dentro ou próximas dos limites da RMBH. Essas estações possuem registros históricos de comprimentos variáveis, com um valor médio de 40 anos, compreendido entre o mínimo de 16 e o máximo de 59 anos de observações pluviométricas; apesar desses registros nem sempre se encontrarem em anos concorrentes, todos foram empregados para a finalidade do presente estudo.

Para a determinação do FRA das chuvas de durações subdiárias, foram utilizados os eventos de precipitação registrados simultaneamente em diferentes pluviógrafos. Por essa razão, fez-se necessária a busca pelo maior número

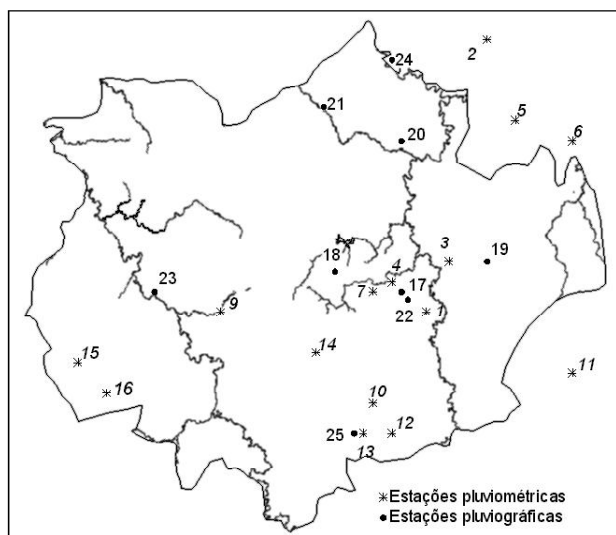


Figura 2. Estações pluviométricas e pluviográficas situadas na RMBH.

possível de observações pluviográficas concomitantes, o que levou ao período comum de 1990 a 2000. As Tabelas 1 e 2 listam as estações pluviométricas e pluviográficas utilizadas nesse estudo e a Figura 2 mostra como elas se localizam dentro da região.

EQUAÇÃO IDF PONTUAL

Usualmente, para maior facilidade de aplicação e consulta, as conclusões de estudos de precipitações extremas são expressas na forma de equações IDF (intensidade-duração-frequência), as quais sintetizam as relações entre a intensidade, a duração e a frequência de precipitações intensas. Essas equações são obtidas, na maioria das vezes, por meio de análise de frequência das séries de máximos anuais de dados pluviográficos observados em um dado local. Em geral, esses dados constituem séries muito curtas, as quais produzem grandes incertezas nas estimativas de parâmetros e quantis de período de retorno elevado. Dentre as alternativas metodológicas existentes, podem ser citadas as técnicas de regionalização, em conjunto com o emprego das chamadas séries de duração parcial. De fato, a aplicação de métodos de regionalização permite combinar e agregar as informações extraídas de dados pontuais, disseminados espacialmente em uma região homogênea, possibilitando, assim, estimativas mais confiáveis de parâmetros e quantis de uma função de distribuição de probabilidades. Pinheiro e Naghettini (1998) utilizaram as idéias acima mencionadas para estimar a equação IDF válida para a área de abrangência da RMBH. Nesse trabalho, a equação IDF regional foi estimada por meio de uma metodologia baseada no princípio da chamada “cheia índice” (ou *Index-Flood*), com o emprego de momentos-L e séries de duração parcial. De acordo com

Tabela 1. Relação das estações pluviométricas situadas na RMBH.

Estação pluviométrica	Ano inicial de estudo	Ano final de estudo
01 - Miner. Morro Velho	1941	1999
02 - Jaboticatubas	1941	1999
03 - Sabará	1941	1999
04 - Instituto Agrônomo	1941	1971
05 - Taquaraçu	1942	1999
06 - José de Melo	1944	1999
07 - Avenida do Contorno	1940	1968
08 - Lagoa Santa	1941	1971
09 - Betim	1976	1998
10 - Rio do Peixe	1940	1999
11 - Conc. do Rio Acima	1941	1957
12 - Codorna	1976	1999
13 - Miguelão	1976	1999
14 - Ibirité	1945	2000
15 - Fazenda Vista Alegre	1970	1999
16 - Alto da Boa Vista	1972	2000

Tabela 2. Relação das estações pluviográficas situadas na RMBH.

Estação pluviográfica	Ano inicial de estudo	Ano final de estudo
17 - Raja Gabaglia	1990	1995
18 - Usina de Gás	1990	2000
19 - Caeté	1990	2000
20 - Vespasiano	1990	2000
21 - Pedro Leopoldo	1990	2000
22 - Caixa de Areia	1990	2000
23 - P. N. Paraopeba	1990	1996
24 - Ponte Raul Soares	1990	1996
25 - Lagoa Grande	1990	2000

os resultados obtidos por esse trabalho, a precipitação média anual é utilizada para explicar a variabilidade espacial da intensidade média dos eventos máximos de precipitação pontual, para cada duração e local especificado.

A equação IDF para qualquer ponto dentro da RMBH é dada por:

$$i_{T,t_r} = 0,76542t_r^{-0,7059}P^{0,5360}\mu_{T,t_r} \quad (6)$$

para $T < 200$ anos; e $10 \text{ min} < t_r < 24 \text{ h}$ onde i_{T,t_r} é a intensidade de precipitação em mm h^{-1} de duração t_r , no local j , associada ao período de retorno T ; t_r a duração da precipitação (horas); P a precipitação total anual média do local j ; e μ_{T,t_r} as quantis adimensionais, funções de T e t_r , provenientes das funções inversas das distribuições regionais de Gumbel ajustadas às intensidades adimensionalizadas, correspondentes às durações consideradas. Pinheiro e Naghettini

(1998) apresentam as tabelas para os quantis adimensionais, assim como o mapa de isoietas anuais para a estimativa de P .

Na Equação (3), $b(t_r)$ e $c(t_r)$ denotam, respectivamente, as formas analíticas de explicitação dos parâmetros de escala e posição como funções da duração t_r . Tendo em vista a necessidade de obtenção dessas expressões para a curva IDF da RMBH, a Equação (6) foi reformulada de modo a incorporar a forma analítica da dependência dos quantis μ_{T,t_r} da duração t_r . Por tratar-se da função inversa da distribuição de Gumbel, μ_{T,t_r} pode ser expresso pela equação:

$$\mu_{T,t_r} = R(t_r) - S(t_r) \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (7)$$

onde, $R(t_r)$ e $S(t_r)$ são, respectivamente, os parâmetros de posição e escala como funções da duração t_r . Essas funções foram obtidas por análise de regressão entre os parâmetros de posição e escala, tabelados por Pinheiro e Naghettini (1998), e as durações correspondentes. Substituindo-as na Equação (7) e, em seguida, na Equação (6), resultam as seguintes expressões:

$$F_1(i) = \exp \{ -\exp[-b(t_r)(i - c(t_r))] \} \quad (8)$$

A Equação (8) corresponde à distribuição de valores extremos da chuva pontual na RMBH, na qual os parâmetros de escala e posição $b(t_r)$ e $c(t_r)$ são dependentes da duração t_r e dados por:

$$b(t_r) = \frac{1}{(0,1661t_r^{-0,7059} + 2,29 \times 10^{-3} t_r^{0,2951})} p^{0,536} \quad (9)$$

$$c(t_r) = (0,5993t_r^{-0,7059} + 2,29 \times 10^{-3} t_r^{0,2951}) p^{0,536} \quad (10)$$

ESTRUTURA DE CORRELAÇÃO DO CAMPO DE PRECIPITAÇÃO NA RMBH

Em uma dada região, a estrutura de correlação do campo de precipitação pode ser sintetizada por meio do correlograma espacial, tal como proposto por Rodriguez-Iturbe & Mejía (1974) e Sivapalan & Blöschl (1998). Para o caso da RMBH, a Figura 3 exemplifica o correlograma espacial para as precipitações diárias, tendo sido construído com base nos registros pluviométricos existentes. Por meio do correlograma espacial, é possível verificar como o coeficiente de correlação entre as estações decresce com o aumento da distância entre elas, tendo em conta o efeito agregado de um grande conjunto de episódios chuvosos. A Figura 3 apresenta também o ajuste da função paramétrica de decaimento exponencial, dada pela Equação (2), aos pontos amostrais; note que, nesse caso, o parâmetro λ , corres-

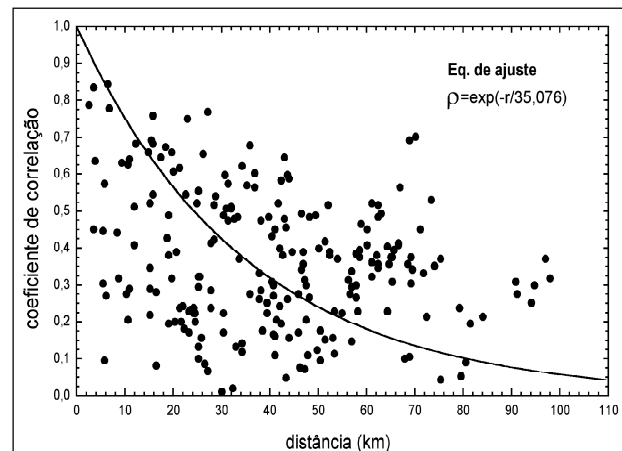


Figura 3. Coeficiente de correlação versus distância entre as estações para precipitação diárias.

pondente ao valor esperado da variável exponencial e denominado “comprimento de correlação espacial” ou “alcance”, foi estimado em 35,076 km. Os dados da rede pluviográfica da RMBH foram também submetidos à análise de estrutura de correlação do campo de chuva e produziram os comprimentos λ listados na Tabela 3, correspondentes às durações 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 14 e 24 horas. O comprimento de correlação pode ser interpretado como uma medida da abrangência espacial média do campo de chuva, sendo interessante observar o seu incremento para durações crescentes.

Na construção do correlograma espacial para a duração de precipitação de 1 hora, não foi possível ajustar a função de decaimento exponencial porque, para essa duração, a abrangência média do campo de precipitação tende a ser menor que a distância média entre as estações pluviográficas estudadas. Por conseguinte, não há meio de como correlacionar os dados entre as estações, uma vez que um certo evento de precipitação só poderia ser observado em apenas algumas delas.

Com o objetivo de estimar os comprimentos de correlação para durações inferiores a 2 horas, foi efetuada uma análise de regressão para explicar a dependência de λ da duração t_r . Para evitar um comprometimento prévio com determinados modelos paramétricos de regressão, utilizou-se aqui, para esse fim, a técnica LOWESS (“Locally Weighted Regression and Smoothing Scatterplots”), proposta por Cleveland (1979). Os resultados da aplicação desse modelo não paramétrico encontram-se ilustrados na Figura 4. Em seguida, a tendência da extremidade inferior do modelo não paramétrico foi mantida e, dessa forma, foram obtidos, por extrapolação, os valores dos comprimentos de correlação espacial para durações inferiores a 2 horas, tal como listados na Tabela 3.

Silveira (2001) determinou, para os dados de precipitação da cidade de Porto Alegre, o comprimento de correlação espacial por meio da metodologia proposta por

Tabela 3. Resultados da determinação do comprimento de correlação espacial obtidos por meio do correlograma espacial e após a aplicação da função de ajuste não paramétrica.

Duração	Comprimento de Correlação Espacial (km)		Diferença
	Valores obtidos pelo correlograma espacial	Valores obtidos pelo modelo não paramétrico	
15 min	-	15,00*	-
30 min	-	15,81*	-
45 min	-	16,62*	-
1 h	-	17,43*	-
2 h	19,318	20,14	-0,84
3 h	24,072	22,83	1,27
4 h	24,195	25,60	-1,40
5 h	30,093	27,84	2,26
6 h	29,218	29,55	-0,35
8 h	30,907	35,28	-4,38
9 h	38,860	38,29	0,62
10 h	41,719	40,05	1,65
14 h	42,300	42,85	-0,54
24 h	44,659	44,67	-0,07

*valores obtidos por extrapolação do modelo não paramétrico

Rodriguez-Iturbe & Mejía (1974). Para as durações de 30 min, 1 hora e maiores do que 1,5 hora, foram obtidos os comprimentos de correlação de 12,8 km, 15,8 km e 18,4 km respectivamente. A despeito das notáveis diferenças entre os regimes pluviológicos das localidades de Porto Alegre e Belo Horizonte, é interessante notar que os resultados apresentados por Silveira (2001) diferem pouco dos comprimentos de correlação aqui encontrados, após extrapolação pelo modelo de regressão não paramétrico.

No cálculo do FRA para durações subdiárias, foram utilizados os valores do comprimento de correlação espacial obtidos após o ajuste do modelo não paramétrico.

RESULTADOS

Em síntese, a aplicação da metodologia de cálculo do FRA de Sivapalan & Blöschl (1998) requer, além da área, as estimativas dos comprimentos de correlação espacial λ e dos parâmetros $b(t_r)$ e $c(t_r)$, as quais, para o caso da RMBH, são fornecidas pela Tabela 3 e Equações (9) e (10), respectivamente. Essas estimativas, quando substituídas na Equação (3), produzem valores de FRA como funções da área de abrangência e do período de retorno. Para cada duração estudada, fez-se variar a área de abrangência de 0 a 600 km² e o período de retorno de 2 a 100 anos, de modo a obter as estimativas do FRA apresentadas na Tabela 4.

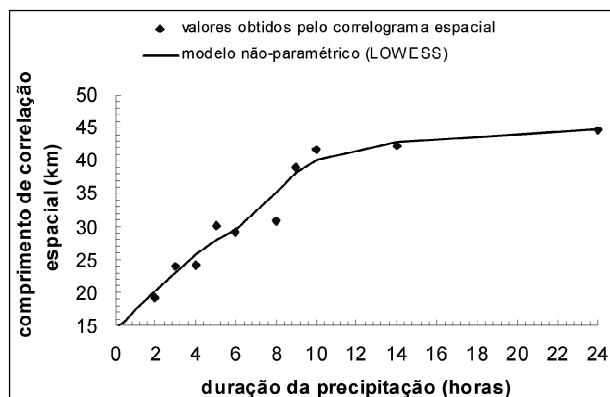


Figura 4. Variação do comprimento de correlação espacial com a duração da precipitação.

As estimativas do FRA para a RMBH também podem ser obtidas analiticamente por meio da equação:

$$ARF = \frac{\frac{1}{x} w \kappa^2 f_2(\kappa^{-2}) - \frac{\kappa^2}{f_1(\kappa^{-2})} \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]}{\frac{1}{u} w - \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]} \quad (11)$$

onde κ^2 é o valor obtido pela Figura 1, em função da área e do comprimento de correlação espacial λ , ambos com as mesmas unidades; T o período de retorno em anos; $f_1(\kappa^{-2})$, $f_2(\kappa^{-2})$ = obtidos pelas Equações (4) e (5); $w = 0,5993 t_r^{-0,7059} + 2,29 \times 10^{-3} t_r^{0,2951}$; $x = 0,1661 t_r^{-0,7059} + 2,29 \times 10^{-3} t_r^{0,2951}$; e t_r a duração da chuva (horas).

Na presente aplicação, a metodologia proposta por Sivapalan & Blöschl (1998) foi estendida para durações subdiárias. Essa extensão, em conjunto com as características da equação IDF válida para a RMBH, permite agregar as variações de intensidade, duração e frequência para as precipitações intensas médias espaciais sobre a região. De fato, combinando as Equações (6) e (11), tem-se a Expressão (12), a seguir, a qual pode ser interpretada como a relação IDFA (Intensidade-Duração-Frequência-Área) para a RMBH:

$$i_{T,t_r,A} = i_{T,t_r,j} FRA_{T,t_r,A} \quad (12)$$

onde $i_{T,t_r,A}$ = intensidade (mm h⁻¹) da precipitação média sobre a área A , centrada no ponto j , de período de retorno T (anos) e duração t_r (horas); $i_{T,t_r,j}$ = intensidade (mm h⁻¹) da precipitação no ponto j , para T e t_r , dada pela Equação (6); e $FRA_{T,t_r,A}$ = coeficiente de abatimento ou fator de redução para a área A , T e t_r , dado pela Equação (11).

VERIFICAÇÃO

Dentre os diversos eventos que foram objetos de verificação, exemplifica-se aqui o episódio de chuva de duração

Tabela 4. Fator de redução para área para a RMBH.

Área (km ²)	T (anos)				
	2	10	20	50	100
Duração: 15 minutos					
0	1	1	1	1	1
10	0,94	0,93	0,93	0,93	0,93
50	0,88	0,86	0,86	0,85	0,85
100	0,84	0,81	0,81	0,8	0,8
200	0,79	0,75	0,75	0,74	0,73
600	0,69	0,63	0,63	0,61	0,61
Duração: 30 minutos					
0	1	1	1	1	1
10	0,95	0,93	0,93	0,93	0,93
50	0,89	0,86	0,86	0,86	0,86
100	0,85	0,82	0,82	0,81	0,81
200	0,8	0,76	0,76	0,75	0,74
600	0,7	0,65	0,64	0,63	0,62
Duração: 45 minutos					
0	1	1	1	1	1
10	0,95	0,94	0,94	0,93	0,93
50	0,89	0,87	0,87	0,86	0,86
100	0,85	0,83	0,82	0,82	0,81
200	0,8	0,77	0,76	0,76	0,75
600	0,71	0,66	0,65	0,64	0,63
Duração: 1 hora					
0	1	1	1	1	1
10	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95
50	0,91	0,89	0,89	0,89	0,88
100	0,88	0,86	0,85	0,85	0,84
200	0,83	0,81	0,8	0,79	0,79
600	0,74	0,7	0,69	0,68	0,68
Duração: 2 horas					
0	1	1	1	1	1
10	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95
50	0,91	0,89	0,89	0,89	0,88
100	0,88	0,86	0,85	0,85	0,84
200	0,83	0,81	0,8	0,79	0,79
600	0,75	0,7	0,69	0,68	0,68
Duração: 4 horas					
0	1	1	1	1	1
10	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96
50	0,93	0,91	0,91	0,91	0,91
100	0,9	0,88	0,88	0,87	0,87
200	0,86	0,84	0,83	0,83	0,82
600	0,78	0,75	0,74	0,73	0,73

14 horas e tempo de retorno estimado de 10 anos, ocorrido em 11/12/1992 sobre partes da RMBH. O padrão isoietal desse evento encontra-se delineado na Figura 5, para o qual determinou-se o FRA empírico conforme roteiro anteriormente descrito. Em seguida, os resultados para diversas áreas de abrangência foram comparados às estimativas do FRA teórico, obtidas por meio da Equação (11). A Figura 6 apre-

Tabela 4. Continuação.

Área (km ²)	T (anos)				
	2	10	20	50	100
Duração: 6 horas					
0	1	1	1	1	1
10	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96
50	0,94	0,92	0,92	0,92	0,92
100	0,91	0,9	0,89	0,89	0,89
200	0,88	0,86	0,85	0,85	0,85
600	0,81	0,78	0,77	0,76	0,76
Duração: 8 horas					
0	1	1	1	1	1
10	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97
50	0,95	0,94	0,93	0,93	0,93
100	0,93	0,91	0,91	0,91	0,9
200	0,89	0,87	0,87	0,87	0,86
600	0,84	0,81	0,8	0,79	0,79
600	0,85	0,82	0,81	0,81	0,8
Duração: 10 horas					
0	1	1	1	1	1
10	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97
50	0,95	0,94	0,94	0,94	0,94
100	0,93	0,92	0,92	0,92	0,91
200	0,91	0,89	0,89	0,89	0,88
600	0,85	0,83	0,82	0,81	0,81
Duração: 14 horas					
0	1	1	1	1	1
10	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97
50	0,96	0,95	0,95	0,94	0,94
100	0,94	0,93	0,92	0,92	0,92
200	0,91	0,9	0,9	0,89	0,89
600	0,86	0,83	0,83	0,82	0,82
Duração: 24 horas					
0	1	1	1	1	1
10	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97
50	0,96	0,95	0,95	0,95	0,94
100	0,94	0,93	0,93	0,92	0,92
200	0,92	0,9	0,9	0,9	0,89
600	0,86	0,84	0,83	0,83	0,83

senta a comparação gráfica entre os valores teórico e empírico do fator de redução para áreas de 0 a 1000 km². Nesse exemplo de verificação, assim como em outros episódios de chuva sobre a área em questão, foi possível verificar que os valores teóricos ajustam-se de forma razoável aos dados empíricos, conferindo, assim, a plausibilidade física necessária ao modelo proposto.

Diversas outras metodologias podem ser utilizadas para determinar os valores do FRA de uma dada região. Apresenta-se na Tabela 5 a comparação entre os valores do FRA obtidos pela Equação (11) e pelas metodologias TP-29 do U.S. Weather Bureau (1957), de Asquith & Famiglietti (2000) e por Silveira (2001). Esse último autor determinou o FRA

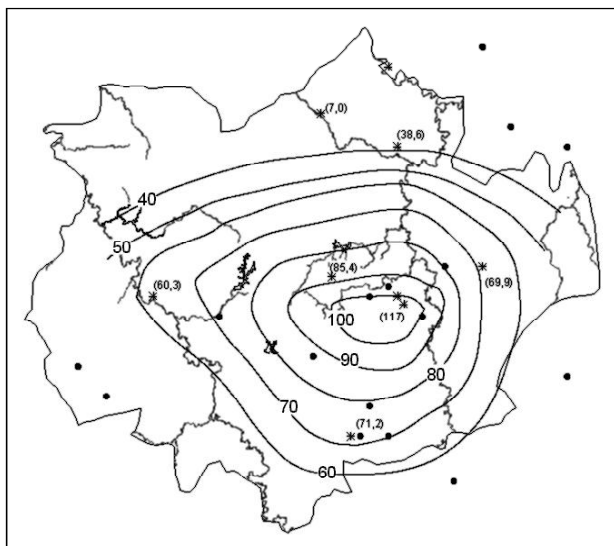


Figura 5. Distribuição isoietal do evento de chuva de duração 14 horas ocorrido em 11/12/1992 sobre a RMBH. Os valores em parênteses referem-se as alturas de chuva observadas nos pluviômetros durante a duração total do evento.

para os dados de precipitação de Porto Alegre utilizando as metodologias propostas por Rodriguez-Iturbe & Mejía (1974) e por Lebel & Laborde (1988), sendo que nesta foi usada a função variograma da geo-estatística para descrição da estrutura de correlação do campo de chuva. Embora as diferentes estimativas da Tabela 5 não difiram muito, deve-se ressaltar que a análise comparativa dos resultados é pouco reveladora pelo fato de algumas metodologias possuírem requisitos de características morfológicas e meteorológicas muito próprios da região para a qual foram propostas. Por outro lado, é importante notar que as estimativas do FRA aqui apresentadas possuem comportamento similar às aquelas propostas por outros autores, com a vantagem de se poder associá-las a diferentes períodos de retorno.

DISCUSSÃO

A gênese e o desenvolvimento dos conglomerados de nuvens e de possíveis precipitações dependem, entre outros fatores, do teor e alimentação da umidade atmosférica, dos mecanismos de ascensão das massas de ar úmido na atmosfera e também dos processos microfísicos de crescimento das gotículas de água em suspensão. A interação desses fatores dá-se de forma complexa e determina algumas características importantes, tais como a extensão espacial do conglomerado de nuvens, o campo, a intensidade e a duração das eventuais precipitações decorrentes. Não obstante a interação desses fatores, as precipitações são comumente classificadas em orográficas, convectivas e frontais em conformidade somente com os mecanismos de ascensão do ar

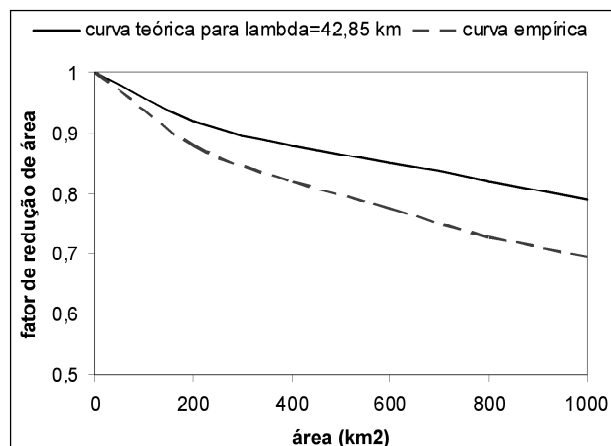


Figura 6. Comparação entre as estimativas empírica e teórica do fator de redução para áreas de até 1000 km², correspondentes ao evento de chuva de duração 14 horas ocorrido em 11/12/1992 sobre a RMBH.

úmido na atmosfera, os quais parecem preponderar na definição das características acima mencionadas. De fato, as precipitações convectivas e orográficas possuem, com grande frequência, curta duração, alta intensidade e, segundo Wallace & Hobbs (1977), associam-se a conglomerados de nuvens cujas dimensões máximas podem se estender por centenas de metros até menos de 20 km. Por outro lado e segundo esses mesmos autores, as precipitações frontais são relativamente menos intensas, perduram por períodos geralmente maiores do que 10 horas e têm conglomerados de nuvens com áreas que podem se estender de algumas dezenas a alguns milhares de km². Essa seção do artigo tem como objetivo relacionar os tipos de precipitação sobre a RMBH aos resultados obtidos para os fatores de redução para área.

Inicialmente, de volta ao modelo de regressão não-paramétrico entre o comprimento de correlação espacial e a duração, objeto da Figura 4, verifica-se a presença de três trechos com declividades distintas. O primeiro tem duração variando entre 15 min e 7 horas, o segundo para durações entre 8 e 10 horas e, finalmente, o terceiro trecho para as durações maiores do que 10 horas. No primeiro trecho há uma proporcionalidade evidente entre as variações da duração e do comprimento de correlação; note-se que nesse trecho de chuvas de curta duração, o comprimento de correlação varia entre 15 e 30 km, com um provável predomínio de precipitações convectivas e orográficas, em conformidade com o exposto em Wallace & Hobbs (1977). No segundo trecho, onde a duração oscila em torno de 9 horas, não há a mesma proporcionalidade anterior. De fato, nesse trecho ocorre uma visível mudança de declividade da curva não paramétrica; talvez se tenha aqui uma região de transição sem o predomínio de uma tipologia chuvosa específica. Chuvas com duração maior do que 10 horas e comprimento de correlação acima de 40 km referem-se ao terceiro trecho, no qual verifica-se declividade sensivelmente menor da cur-

Tabela 5. Comparação entre diferentes estimativas do FRA para a RMBH.

Área (km ²)	FRA da RMBH para T = 2 anos e tr = 24 hrs	TP-29 (US Weather Bureau, 1957) tr = 24 hrs	Asquith, Famiglietti, 2000 para tr = 1 dia e T ≥ 2 anos	Silveira, 2001 correlograma espacial tr < 90 min	função variograma tr ≥ 90 min
10	0,98	0,99	0,90	0,96	0,96
50	0,96	0,96	0,85	0,92	0,90
100	0,94	0,94	0,82	-	-
200	0,92	0,92	0,79	-	-
600	0,86	0,91	-	-	-

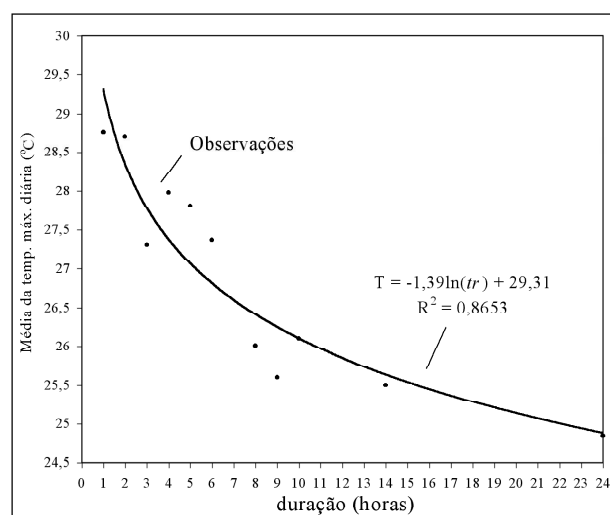
va não paramétrica. Para essas durações, é provável que se tenha o predomínio de chuvas frontais, as quais possuem campos de precipitação de dimensões relativamente mais estáveis, e, conseqüentemente, os comprimentos de correlação são menos variáveis com as durações.

Como subsídio ao argumento anterior, lança-se mão da idéia de que a temperatura do ar máxima observada nos dias chuvosos pode ser um indicador de episódios frontais e não frontais. A Figura 7 apresenta um gráfico entre os valores médios das temperaturas máximas diárias, observadas nas datas de ocorrências de diversos eventos chuvosos, e suas respectivas durações; verifica-se aqui uma tendência clara de decréscimo da temperatura máxima diária média para durações crescentes.

De modo geral, como observado por Wallace & Hobbs (1977), as chuvas convectivas ocorrem em dias mais quentes, assim como as chuvas frontais provocam decréscimo de temperatura nas regiões por onde se movimentam. Tais características gerais podem ser verificadas na Figura 7, demonstrando que há, de fato, um predomínio de chuvas não frontais para as menores durações, com temperatura média em torno de 28°C, enquanto nos dias mais frios, com temperaturas médias em torno de 26°C, são mais freqüentes as chuvas frontais de maior duração.

CONCLUSÕES

No presente artigo, foram descritos os estudos realizados para determinação dos fatores de redução de área ou coeficientes de abatimento espacial para as precipitações de durações subdiárias sobre a Região Metropolitana de Belo Horizonte. Aplicou-se aqui a metodologia proposta por Sivapalan & Blöschl (1998), a qual foi estendida para durações menores do que 1 dia. Em virtude das características da equação IDF válida para a RMBH, a extensão da metodologia para diversas durações permitiu agregar as variações de intensidade, duração, freqüência e área das precipitações intensas sobre a região. De fato, a agregação dessas informações configura uma grande vantagem do método aqui usado em relação a outras metodologias de determinação dos chamados fatores de redução de área, constituindo-

**Figura 7. Duração da chuva e o valor médio das temperaturas máximas diárias dos dias de ocorrência.**

se em ferramenta importante e prática para análise e/ou dimensionamento de estruturas de drenagem da RMBH.

Como decorrência do cálculo dos coeficientes de abatimento espacial, estudou-se também a variação do alcance ou comprimento de correlação espacial com as durações das precipitações. Foi possível verificar que, de fato, o comprimento de correlação espacial está relacionado às dimensões do campo de chuva e cresce de modo não uniforme à medida que as durações aumentam. Relacionando esse fato aos três tipos de precipitação freqüentes sobre a RMBH, é plausível a idéia de que o crescimento do alcance de eventos não frontais com suas respectivas durações é mais significativo do que o observado em precipitações resultantes da passagem de sistemas frontais.

A metodologia, tal como aqui empregada, exigiu as premissas de isotropia e estacionariedade do campo de precipitações, assim como os requisitos de distribuição original exponencial, correlograma com decaimento exponencial e área quadrada. Sivapalan & Blöschl (1998) enfatizam que, com exceção da hipótese de estacionariedade, todas as outras premissas podem ser reformuladas, o que garante o caráter genérico de eventuais aplicações da metodologia proposta. No caso da RMBH, a hipótese distributiva e a de

exponencialidade do correlograma espacial foram verificadas. Por outro lado, o requisito de forma foi julgado aceitável e a premissa de isotropia foi aceita por dificuldades de comprovação. De fato, em se tratando de uma região de relevo acentuado, a premissa de isotropia pode não ser aplicável à RMBH. Entretanto, a rede pluviográfica hoje existente na RMBH não é suficientemente densa para comprová-la. Em estudos futuros, o eventual adensamento da rede pluviográfica e/ou experiências de observações de campos de precipitação, como as citadas por Durrans et al. (2002), certamente podem trazer subsídios para o aprimoramento deste e de outros modelos matemáticos capazes de representar o comportamento espacial da chuva sob condições de anisotropia e não estacionariedade.

REFERÊNCIAS

- ASQUITH, W. H. & FAMIGLIETTI, J. S. (2000). Precipitation areal-reduction factor estimation using an annual-maxima centered approach. *J. Hydrol.*, 230, p.55-69.
- CLEVELAND, W. S. (1979). Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. *Journal of American Statistical Association*, vol.74, p.829-836.
- DURRANS, S. R. & JULIAN, L. T. YEKTA (2002). Estimation of Depth-Area Relationships using Radar-Rainfall Data. *Journal of Hydrologic Engineering*, vol.7(6), p.356-367.
- GHOSH, B. (1951). Random distances within a rectangle and between two rectangles, *Bull. Calcutta Math. Soc.*, 43, p.17-24, *apud* Sivapalan, M., Blöschl, G. Transformation of point rainfall to areal rainfall – Intensity-duration-frequency curves, *J. Hydrol.*, 204, p.150-167, 1998.
- LEBEL, T. & LABORDE, J. (1984). A geostatistical approach for areal rainfall statistics assessment. *Stochastic Hydrology and Hydraulics*, vol.2, p.245-261.
- PINHEIRO, M. M. G. e NAGHETTINI, M. (1998). Análise regional da frequência e distribuição temporal das tempestades na Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol.3, n°4, p.73-87.
- ROCHE, M. (1963). *Hydrologie de surface*. Gauthier-Villars, Paris.
- RODRÍGUEZ-ITURBE, I. & MEJÍA, J. M. (1974). On transformation from point rainfall to areal rainfall. *Water Resources Research*, 10(4), p.729-735.
- SILVEIRA, A. L. L. (2001). Abatimento espacial da chuva em Porto Alegre. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol.6, n°2, p.5-13.
- SIVAPALAN, M. & BLÖSCHL, G. (1998). Transformation of point rainfall to areal rainfall – Intensity-duration-frequency curves. *J. Hydrol.*, 204, p.150-167.
- U. S. WEATHER BUREAU (1957). Rainfall intensity-frequency regime 1. The Ohio valley; 2. Southeastern United States. Tech. Paper No.29, US Department of Commerce, Washington, DC.
- WALLACE, J. M. & HOBBS, P. V. (1977). *Atmospheric Science – An Introductory Survey*, Academic Press, San Diego.

Incorporating Areal-Reduction Factors to the Intensity-Duration-Frequency Relationship of Storms Over the Metropolitan Region of Belo Horizonte

ABSTRACT

The so-called "indirect methods" for flood discharge estimation generally presuppose previous knowledge of the areally-averaged precipitation for a given duration over the drainage area concerned. It is a frequent practice among engineers to take point precipitation, from on-site IDF curves, as uniformly distributed over the area in question. However, it is known that precipitation does not fall uniformly over a given area and does vary with its relief and shape, as well as with storm duration and intensity, among other factors. This paper summarizes the studies for estimating the areal-reduction factors (ARF) to be applied to the storms over the Metropolitan Region of Belo Horizonte, in southeastern Brazil. The methodology used is based on the spatial correlation coefficient between point precipitation depths, on the characteristics of the rainfall events, and on the area itself. The resulting ARF estimates, which are variable not only according to area but also according to storm duration and associated return period, could then be incorporated to the existing IDF relationship of the study area. This paper also shows comparisons with other studies, some results verification for observed short-duration storms and a brief discussion on linking some spatial characteristics of rainfall fields to storm type and duration.

Key-words: areal reduction factor; intensity-duration-frequency relations.