

## Comissão 1.3 - Pedometria

# MAPEAMENTO DE CHUVAS INTENSAS NO ESTADO DE MINAS GERAIS<sup>(1)</sup>

Carlos Rogério de Mello<sup>(2)</sup> & Marcelo Ribeiro Viola<sup>(3)</sup>

### RESUMO

Estudos associados a chuvas extremas são constituídos de eventos de interesse prático para a gestão dos recursos naturais, como manejo de bacias hidrográficas e conservação dos solos e da água. A distribuição espacial desses eventos possibilita inferir sobre áreas onde sua ocorrência é acentuada e desprovida de informações técnicas. Os objetivos deste trabalho foram promover, a partir de dados pontuais de 177 estações meteorológicas e com a utilização de técnicas geoestatísticas, o mapeamento de chuvas intensas para o Estado de Minas Gerais e identificar as áreas mais vulneráveis no tocante à ocorrência dessas chuvas nesse Estado. Foi constatado que as maiores intensidades ocorrem nas regiões leste e noroeste de Minas Gerais, o que pode ser explicado pela maior influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul, além de ocorrência de chuvas convectivas. Foi possível, também, constatar e mapear intensidades intermediárias nas regiões sul e central e os menores valores para as regiões norte e nordeste de Minas Gerais. Para maiores durações, verificou-se, para a região sul, ocorrência de altas intensidades, o que está associado à entrada com maior frequência de frentes frias, produzindo chuvas de longa duração.

**Termos de indexação:** erosão do solo, chuvas intensas, semivariograma cruzado, cokrigagem.

### *SUMMARY: MAPPING OF HEAVY RAINFALLS IN THE STATE OF MINAS GERAIS*

*Studies of heavy rainfall are of practical interest for the conservation management of natural resources such as watersheds and soil and water. The spatial distribution of these*

---

<sup>(1)</sup> Recebido para publicação em 02 de fevereiro de 2012 e aprovado em 22 de novembro de 2012.

<sup>(2)</sup> Professor Adjunto do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras. Caixa Postal 3037. CEP 37200-000 Lavras (MG). E-mail: crmello@deg.ufla.br

<sup>(3)</sup> Professor Adjunto da Universidade Federal do Tocantins. Rua Badejós, Cháraras 69 e 72, Lt. 07, Caixa Postal 66. CEP 77402-970 Gurupi (TO). E-mail: mrviola@uft.edu.br

*natural rainfall events allows conclusions about regions where the occurrence of heavy rain is more frequent and to estimate their magnitude for locations without rainfall data sets. Thus, the purpose of this study was to map heavy rainfall data from 177 meteorological stations, using a geostatistical approach, for Minas Gerais, identifying the most vulnerable regions in terms of the occurrence of heavy rain. The highest values were estimated for the East and Northwest regions of the state, which can be explained by the influence of the South Atlantic Converge Zone (SACZ), aside from convective rainfall events. In addition, the lowest and intermediate values were found and mapped, respectively, for the North /Northeast and Mid / South regions of the state. For the rainfall events with longest duration, intensities were high in the Southern region, which can be explained by the more frequent cold weather fronts that induce long-lasting rains.*

*Index terms: soil erosion, heavy rainfall, cross semivariogram, co-kriging.*

## INTRODUÇÃO

A precipitação pluvial constitui-se do principal componente do ciclo hidrológico, sendo responsável pela entrada de água na bacia hidrográfica. Em situações em que sua ocorrência é crítica, ou seja, altas intensidades em determinados períodos, são conhecidas como chuvas intensas. A análise de seus impactos no tocante à erosão do solo e ao transporte de sedimentos, bem como no auxílio à identificação de áreas de risco para ocupação humana, é de fundamental importância para a sociedade.

O escoamento superficial e a desagregação de partículas do solo decorrentes desses eventos tornam a análise da precipitação pluvial um dos produtos mais importantes da engenharia de conservação do solo e da água (Beskow et al., 2009). A aplicação dessa análise está associada ao dimensionamento de obras hidráulicas para controle de cheias, drenagem urbana e do solo, modelagem e controle da erosão em áreas com agricultura intensificada, manejo conservacionista do solo e mapeamento de áreas com maior potencial para ocorrência de erosão do solo e inundações. Nessas situações, torna-se necessário estimar a chuva intensa associada a uma determinada frequência de ocorrência, requerendo o conhecimento da relação entre sua intensidade, duração e frequência (Back et al., 2011).

De acordo com Reboita et al. (2010), o regime pluvial do Estado de Minas Gerais é afetado pela ocorrência de fenômenos atmosféricos importantes, que o caracterizam com um verão chuvoso (novembro-março) e um inverno seco (maio-setembro). Tais fenômenos consistem de chuvas frontais (frentes frias), chuvas convectivas e chuvas geradas pela influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

As frentes frias ocorrem ao longo de todo ano, gerando chuvas de longa duração e intensidades de baixa a média magnitude, predominando no sul de Minas Gerais; são responsáveis por inundações em grandes bacias hidrográficas. Chuvas convectivas são formadas durante o verão em razão do calor e excesso

de umidade, afetando todas as regiões do Estado; são caracterizadas por alta intensidade e ocorrem num curto intervalo de tempo, sendo responsáveis por inundações em pequenas bacias hidrográficas. A ZCAS consiste de um canal de umidade com origem na região Amazônica, que atinge o Sudeste do Brasil. Segundo Kodama (1992), a ZCAS afeta com maior intensidade as regiões com latitudes entre 10 e 18° S, sendo sua formação mais comum entre dezembro e janeiro. Os eventos de precipitação associados à ZCAS podem ser de grande magnitude, com grandes volumes de chuva durante vários dias, com alto potencial erosivo, bem como inundações. É importante ressaltar ainda a influência, detectada por Mello & Silva (2009), da altitude sobre o regime pluvial do Estado de Minas Gerais, o que pode intensificar os eventos de precipitação destacados.

O estudo de chuvas intensas é realizado localmente pelo ajuste de um modelo teórico de probabilidades a séries históricas de precipitações máximas associadas a diferentes durações. Para esses estudos, quando possível, devem ser usados dados oriundos de pluviogramas para garantir melhor precisão. A maneira mais usual e difundida de estimativa de uma chuva intensa consiste do uso de uma equação de chuvas intensas, que deve ser gerada para locais providos de séries históricas pluviográficas (Back et al., 2011).

Segundo Akkala et al. (2010) e Mello & Silva (2009), por causa da grande escassez de registros pluviográficos, um dos principais ramos de pesquisa em conservação do solo e da água consiste da aplicação dos sistemas de informações geográficas, analisando-se técnicas para uma melhor interpolação espacial, a fim de gerar mapas com boa precisão e aplicabilidade.

Estudos aplicando técnicas geoestatísticas para espacialização de variáveis hidrológicas e de atributos do solo vêm sendo produzidos, evidenciando seu melhor desempenho em relação a outras técnicas (Mello et al., 2003, 2008; Gomes et al., 2007; Junqueira Junior et al., 2008; Ávila et al., 2011). O interpolador geoestatístico pondera os vizinhos do ponto a ser

estimado, obedecendo aos critérios de não tendenciosidade e variância mínima, gerando mapas não enviesados, uma vez que essa é a característica mais importante nos mapeamentos de variáveis contínuas (Isaaks & Srivastava, 1989; Vieira et al., 2002). Para isso, é imprescindível uma modelagem consistente do semivariograma experimental (Gomes et al., 2007; Junqueira Junior et al., 2008).

No contexto mencionado, os objetivos deste trabalho foram promover o mapeamento de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais, com base na geostatística multivariada, avaliar áreas críticas com relação à ocorrência dessas, produzir informações úteis ao manejo e conservação do solo e da água e subsidiar o mapeamento de áreas com maior vulnerabilidade à erosão no Estado de Minas Gerais.

## MATERIAL E MÉTODOS

O Estado de Minas Gerais encontra-se na região Sudeste do Brasil, possuindo importante variabilidade climática, de acordo com a classificação de Köppen: climas Cwb e Cwa, característicos das regiões sul e sudeste desse Estado, ambas influenciadas pela serra da Mantiqueira, com invernos frios e verões brandos e chuvosos, o que ocorre também em outras regiões do Estado como consequência da altitude; Aw, nas regiões oeste, noroeste, leste, centro e parte do norte, com invernos brandos e verões quentes e alta concentração das chuvas no verão; e BSw, em parte das regiões norte e nordeste, com características semiáridas (Antunes, 1986). Em termos dos principais acidentes topográficos, o Estado é cortado, além da serra da Mantiqueira ao sul, pela serra do Espinhaço, na sua porção leste até o nordeste, e serra da Canastra, no centro-oeste (Figura 1).

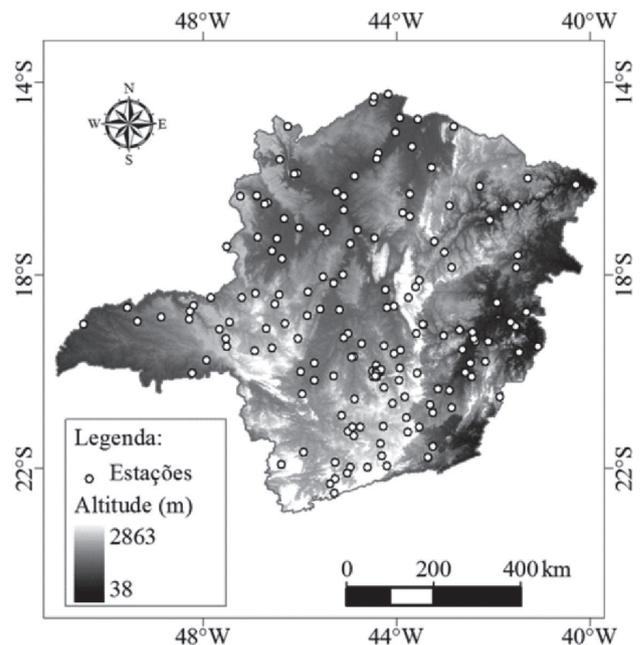
O banco de dados aplicado ao estudo consiste dos parâmetros estatísticos média e desvio-padrão de séries históricas de intensidades máximas, associadas a diferentes durações, publicadas por Freitas et al. (2001), para 177 localidades no Estado de Minas Gerais (Figura 1). Os dados levantados por esses autores estruturam um banco de dados único sobre chuvas intensas nesse Estado por ser composto essencialmente por pluviogramas, que são oriundos de redes hidrometeorológicas da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG).

Conforme Back et al. (2011), em estudos sobre distribuições de probabilidades aplicadas a chuvas intensas, a distribuição Gumbel é a que tem produzido melhor ajuste. Os parâmetros estatísticos (momentos de 1ª e 2ª ordens) foram aplicados para ajustar essa distribuição com base no método dos momentos, possibilitando estimar os valores associados a diferentes tempos de retorno. Essa distribuição foi

ajustada às séries históricas de intensidades máximas de chuvas com 30, 360, 720 e 1.440 min de duração para estimativa dos valores associados aos tempos de retorno de 5, 50 e 100 anos. As combinações desses tempos de retorno e tempos de duração estão associadas às chuvas intensas mais frequentemente aplicadas ao dimensionamento de obras hidráulicas para controle da erosão e do escoamento superficial em estradas, áreas urbanas e rurais (Huffman et al., 2011).

Para aplicação das técnicas geostatísticas, deve-se, inicialmente, proceder com uma análise exploratória dos dados, verificando tendenciosidades e valores discrepantes. Dessa maneira, foram gerados gráficos de tendências para averiguar a aplicabilidade das técnicas geostatísticas e dos gráficos *box plot*, que possibilitam identificar os valores discrepantes e sua posterior remoção quando diferirem consideravelmente de seus vizinhos (Libardi & Melo Filho, 2006).

Após a análise exploratória, os semivariogramas experimentais foram gerados e ajustados, considerando, além da variável primária (chuva intensa), uma variável secundária que, no caso deste estudo, foi aplicada à altitude das estações meteorológicas extraída do modelo digital de elevação, apresentado na figura 1. O semivariograma final é conhecido como “semivariograma cruzado” e, segundo Vieira (2000), deve possuir a aparência de um semivariograma comum. A função de semivariância cruzada é dada por:



**Figura 1. Modelo digital de elevação do Estado de Minas Gerais e distribuição espacial das estações meteorológicas utilizadas neste estudo (Freitas et al., 2001).**

$$\gamma(h) = \frac{1}{2 \cdot N(h)} \cdot \sum_{i=1}^{N(h)} (Z_1(x_{1i} + h) - Z_1(x_{1i})) \cdot (Z_2(x_{2i} + h) - Z_2(x_{2i})) \quad (1)$$

em que  $\gamma(h)$  é a semivariância cruzada entre a variável principal  $Z_1$  e variável secundária  $Z_2$ ,  $N(h)$  é o número de valores de  $Z_1$  e  $Z_2$ ,  $x_{1i}$  e  $x_{2i}$  referem-se às posições de amostragem das variáveis  $Z_1$  e  $Z_2$ , respectivamente, e  $h$  é o vetor de separação entre uma amostra e outra das respectivas variáveis. Essa abordagem multivariada da geoestatística foi aplicada em razão do fato de que o Estado de Minas Gerais possui extensas cadeias de montanhas, o que faz com a altitude seja fator geomorfológico capaz de afetar o regime pluvial de várias regiões do Estado, conforme verificado por Mello & Silva (2009), melhorando a qualidade final dos mapas em relação a outros interpoladores (Viola et al., 2010).

Um ponto-chave da geoestatística consiste no ajuste de um modelo teórico de semivariograma às semivariâncias experimentais, pois esse irá fornecer os parâmetros necessários ao interpolador geoestatístico para espacialização dos dados. As semivariâncias cruzadas foram geradas no programa ArcMap e os parâmetros do semivariograma exponencial foram ajustados com base no método dos mínimos quadrados, desenvolvendo-se uma rotina numérica com base no método de Gauss-Newton. A análise do modelo ajustado foi feita com base na validação cruzada (Vieira, 2000), considerando o erro médio das estimativas e o grau de dependência espacial (GD), adaptado de Cambardella et al. (1994):

$$GD(\%) = \left( \frac{C_1}{C_1 + C_0} \right) \times 100 \quad (2)$$

em que  $C_1$  é a contribuição (patamar - efeito pepita) e  $C_0$ , o efeito pepita do semivariograma. Segundo Cambardella et al. (1994), pode-se adotar a seguinte classificação:  $GD \leq 25\%$  (fraco), entre 25 e 75 % (moderado) e  $>75\%$  (forte). O efeito pepita é um parâmetro do semivariograma teórico que está associado à descontinuidade desse para distâncias menores que a menor distância amostrada, correspondendo a uma incerteza do ajuste do semivariograma para a pequena escala (Vieira, 2000). Após essa etapa de modelagem do semivariograma cruzado, utilizou-se o interpolador geoestatístico cokrigagem na espacialização dos dados no programa ArcMap, gerando o mapeamento dessas chuvas intensas para o Estado de Minas Gerais.

Com o objetivo de se obter um mapa de Minas Gerais georreferenciado, com unidades em metros, livre de fusos, adotou-se a Projeção Cônica Albers de Igual Área. Segundo Campos et al. (2008), essa projeção é a mais indicada para trabalhos dessa natureza, pois possui a característica de preservar a área com mínima distorção.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas 12 situações estudadas, já caracterizadas acima, o modelo exponencial apresentou bons ajustes ao semivariograma experimental cruzado, podendo ser recomendado para representar as situações de chuvas intensas em Minas Gerais. O grau de dependência espacial médio dos modelos foi de 62,93 %, variando de 50,20 a 72,73 %, apresentando-se, portanto, no nível moderado de estrutura de dependência espacial. O evento que apresentou o maior grau de dependência foi a chuva intensa de 720 min associada a um tempo de retorno de cinco anos, enquanto o que apresentou o menor foi a chuva intensa de 30 min para um tempo de retorno de 50 anos.

Em termos das diferentes durações, as chuvas intensas vinculadas à duração de 1.440 min apresentaram, em média, o maior grau de dependência (67,66 %), seguidas pelas chuvas de 720 min (66,46 %), 360 min (60,54 %) e 30 min (57,05 %). Esse comportamento está associado ao fato de que chuvas com maior duração têm origem em sistemas atmosféricos que afetam grandes áreas, como chuvas frontais (frentes frias) e principalmente, no caso de Minas Gerais, pela ZCAS. Ambos os fenômenos geram extensão maior da dependência e menor variabilidade dos valores entre as estações meteorológicas. Eventos com 30 min de duração normalmente são mais localizados, fruto de chuvas convectivas e, portanto, com menor continuidade espacial e maior variabilidade dos dados entre as estações.

Nenhuma das situações analisadas produziu fraca ( $< 25\%$ ) ou forte ( $> 75\%$ ) estrutura de dependência espacial, o que está relacionado ao fato de que, primeiramente, o fenômeno chuva intensa apresenta-se estruturado espacialmente, conforme verificado por Mello et al. (2008). Porém, a amostragem em pequena escala (menores distâncias) não foi satisfatória o suficiente para se obterem baixos valores para o efeito pepita, mesmo tratando-se de um semivariograma cruzado, podendo ser observado em algumas regiões específicas, como no sudoeste, no Triângulo Mineiro e no nordeste de Minas Gerais (Figura 1).

Carvalho et al. (2004), analisando os modelos de semivariograma exponencial, esférico e gaussiano, aplicados à precipitação pluvial média anual no Estado de São Paulo, constataram superioridade importante do modelo exponencial. No trabalho de Mello et al. (2008), os quais estudaram o comportamento da dependência espacial de chuvas intensas em Minas Gerais, também foi observado melhor desempenho do modelo exponencial. Mapeando o potencial erosivo das chuvas em Minas Gerais, Mello et al. (2007) também observaram a predominância do modelo exponencial sobre o modelo esférico. Com base nos resultados deste estudo e em trabalhos anteriores que estudaram a temática da chuva intensa, especialmente no Estado de Minas Gerais, é possível constatar e recomendar, para estudos futuros que envolvam o mapeamento de

chuvas intensas e variáveis correlatas, o modelo de semivariograma exponencial, inclusive na condição de um semivariograma cruzado com a altitude como variável secundária.

Na figura 2, estão apresentados os semivariogramas cruzados ajustados para cada situação de chuvas intensas trabalhadas para o Estado de Minas Gerais, constando-se boa aderência dos modelos ao semivariograma experimental. Uma análise complementar dos semivariogramas consiste no comportamento do efeito pepita. É interessante avaliar que os semivariogramas ajustados para as chuvas intensas com tempo de retorno de cinco anos

apresentaram os valores mais baixos do efeito pepita e praticamente os maiores graus de dependência espacial. Essa situação possivelmente está associada ao fato de que os eventos de chuvas intensas com menor tempo de retorno ocorrem com mais frequência e, portanto, são captados pela série histórica. Chuvas intensas associadas aos maiores tempos de retorno (50 e 100 anos) não fazem parte dos valores observados na série histórica, uma vez que essas são inferiores a 20 anos. Os valores aplicados ao estudo variográfico consistem de estimativas realizadas com base na distribuição de probabilidades de Gumbel e não fazem parte da série histórica propriamente dita.

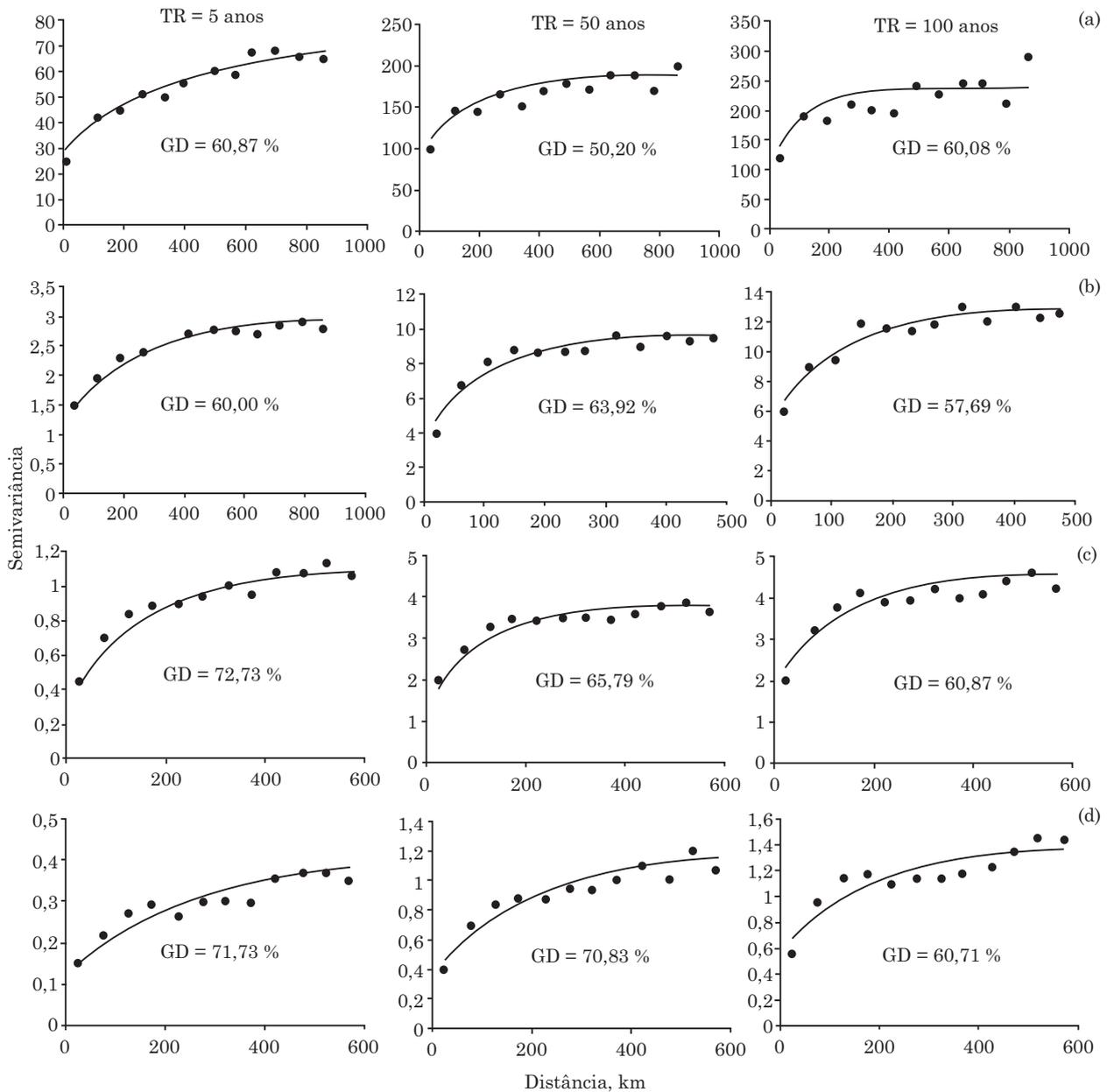


Figura 2. Semivariogramas cruzados ajustados para cada uma das situações de chuvas intensas analisadas no Estado de Minas Gerais: (a) 30 min de duração; (b) 360 min; (c) 720 min; e (d) 1.440 min.

É importante discutir o comportamento do alcance do semivariograma, uma vez que esse está associado à existência da dependência espacial e da aplicação dos princípios da autocorrelação espacial. Esses variaram de 100 a 450 km para as durações de 30, 360 e 720 min e de 300 a 550 km para a duração de 1.440 min, evidenciando a extensão da estrutura de dependência espacial, que nas situações de eventos de longa duração cobre continuamente grande parte do Estado.

O comportamento do alcance está associado ao fato de que chuvas com maior duração estão associadas à atuação de frentes frias e, ou, da ZCAS, pois ambos os fenômenos atuam sobre extensas áreas. Além disto, o alcance pode também estar relacionado com a distância entre estações meteorológicas, podendo interferir no comportamento desse e no próprio ajuste do modelo teórico de semivariograma, uma vez que a amostragem em menores distâncias não foi satisfatória, conforme discutido anteriormente. Ressalta-se que a disponibilidade de dados pluviográficos em menores escalas consiste no principal problema em estudos que envolvem o mapeamento de precipitação e erosividade, no Brasil (Mello et al., 2007; Moreira et al., 2008).

Na figura 3, apresentam-se os mapas de chuvas intensas, obtidos por cokrigagem, com a altitude como variável secundária, para o Estado de Minas Gerais, associados aos diferentes tempos de retorno. Tais mapas encontram-se na Projeção Albers Conica Igual Área (unidades em metros), com *Datum* Horizontal SAD 69. As intensidades estão apresentadas em  $\text{mm h}^{-1}$ .

Analisando-se os mapas dessa figura, é possível observar duas regiões com chuvas intensas de maior magnitude para as menores durações (30 e 360 min), sendo uma a noroeste e outra a leste do Estado. Esse comportamento pode ser justificado por vários fatores, em especial pela atuação mais intensificada da ZCAS sobre essas chuvas, haja vista que estão entre as latitudes de 14 e 18° S.

Além da atuação mais intensificada da ZCAS na região leste de Minas Gerais, é importante destacar possível influência orográfica em algumas partes dessa região. Esse fator consiste de mecanismo de ascensão de massas de ar úmidas e quentes sobre barreiras naturais, resfriando-se e condensando na medida em que ganham altitude e, posteriormente, precipitando-se de forma concentrada às cadeias de montanhas. Cupolillo (1997), conduzindo estudo sobre a estiagem no Estado de Minas Gerais, constatou que a topografia exerce forte influência no regime pluvial, favorecendo fortes precipitações nas vertentes de sistemas como Espinhaço, Mantiqueira e Canastra. Ainda sobre a região leste do Estado, a proximidade dessa em relação ao Oceano Atlântico faz com essa região receba ventos úmidos de origem marítima, o que aumenta a concentração de umidade, favorecendo também a formação de eventos convectivos durante o verão.

De acordo com Curi et al. (2008), os quais estudaram a vulnerabilidade dos solos à erosão e contaminação no Estado de Minas Gerais, os solos da região leste de Minas Gerais normalmente apresentam-se associados a relevos mais movimentados, sendo, portanto, menos profundos que os solos das regiões noroeste e Triângulo Mineiro, significando que são mais vulneráveis no tocante à erosão e às consequências advindas dessa. Essa situação é agravada pelo fato de que essa região apresentou as maiores intensidades de precipitação para praticamente todas as durações, permitindo inferir que essa seja a região mais susceptível de Minas Gerais à erosão, deslizamentos de encostas e inundações.

A região com as menores chuvas intensas associadas a pequenas durações é aquela acima da latitude 18° S (regiões norte e nordeste), com a região sul numa situação intermediária. Com o aumento da duração das chuvas intensas, especificamente para a duração de 1.440 min, verifica-se que a região sul passa a apresentar áreas com altas intensidades, aproximando-se ou até superando ligeiramente a região leste. Essa situação é especialmente importante em termos de projetos associados à drenagem do solo, em que os critérios básicos adotados são de chuvas com duração de 1.440 min e recorrência de cinco a 10 anos. Segundo Reboita et al. (2010), chuvas com essa duração podem estar associadas à incidência de frentes frias, sendo caracterizadas por longas durações e intensidades de baixa a moderada. O sul de Minas Gerais é mais fortemente afetado por precipitações oriundas de sistemas frontais, embora possa ser afetado pela ZCAS; no entanto, com menor intensidade que nas demais regiões.

A constatação de importante variabilidade espacial de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais evidencia a aplicação de diferentes valores para cálculos de estruturas mecânicas para contenção de erosão e escoamento superficial a serem realizados em diferentes localidades. Dessa forma, infere-se que em projetos em que são aplicadas chuvas de projeto com pequenas durações, especialmente aqueles para controle da erosão, as regiões críticas encontram-se nas regiões leste e noroeste do Estado, especialmente em sub-regiões da primeira. Com aumento da duração requerida pelo projeto, as regiões central e sul também podem ser consideradas como críticas.

## CONCLUSÕES

Para chuvas intensas com menores durações, constataram-se maiores intensidades nas regiões Triângulo Mineiro, noroeste e leste de Minas Gerais, sendo esta última a que apresentou os maiores valores de chuvas intensas e, portanto, é a mais crítica em termos de susceptibilidade à erosão e inundações. Analisando-se as chuvas intensas de maior duração, foram

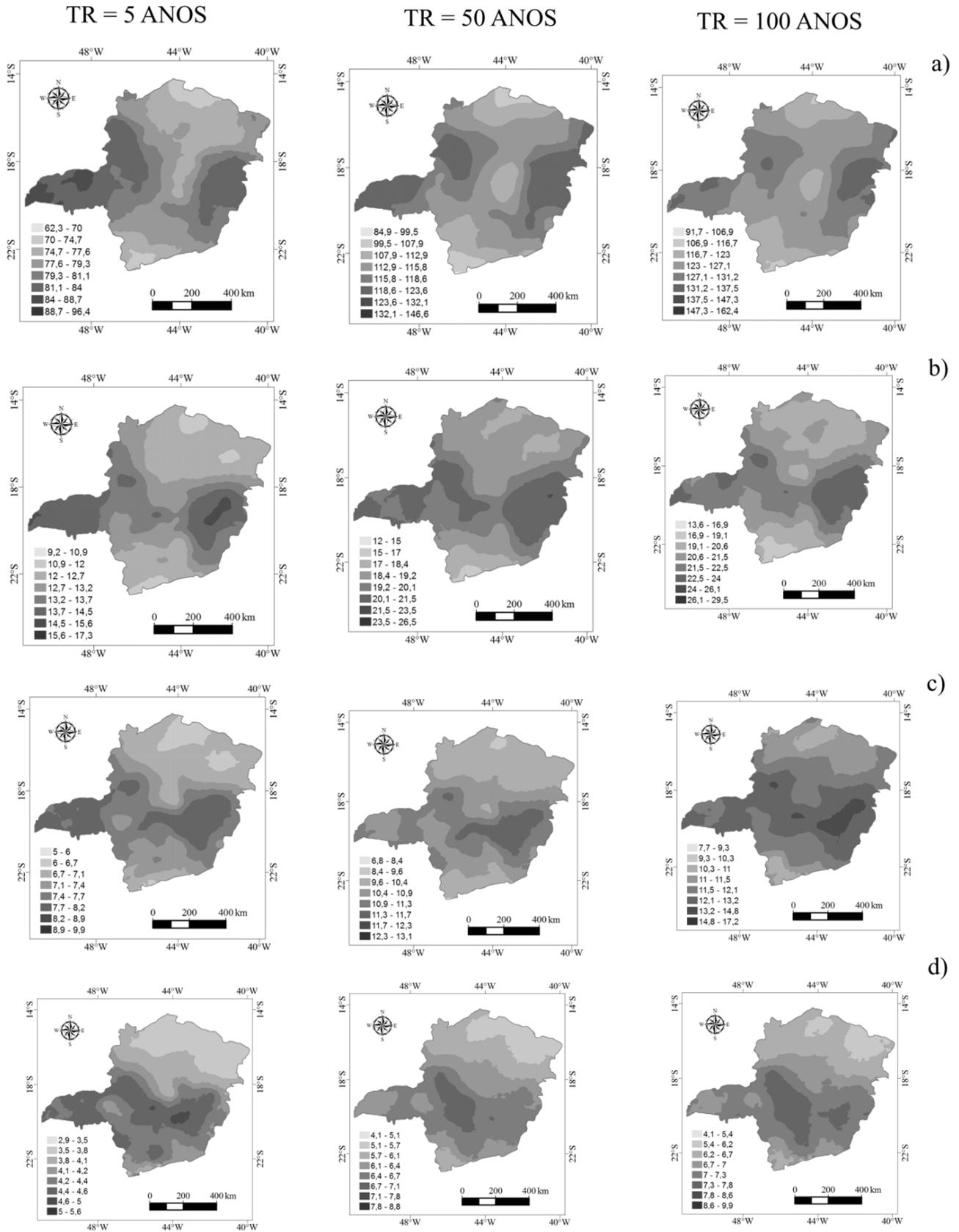


Figura 3. Mapas de cokrigagem com a altitude como variável secundária, para diferentes chuvas intensas para o Estado de Minas Gerais: (a) 30 min de duração; (b) 360 min; (c) 720 min; e (d) 1.440 min.

observadas altas intensidades também para as regiões central e sul de Minas Gerais. Contudo, para todas as durações de chuvas intensas estudadas, as regiões norte e nordeste apresentaram as menores intensidades.

## LITERATURA CITADA

- ANTUNES, F.Z. Caracterização climática do Estado de Minas Gerais. *Inf. Agropec.*, 12:9-17, 1986.
- AKKALA, A.; DEVABHAKTUNI, V. & KUMAR, A. Interpolation techniques and associated software for environmental data. *Environ. Progr. Sustain. Energy*, 29:134-141, 2010.
- ÁVILA, L.F.; MELLO, C.R.; MELLO, J.M. & SILVA, A.M. Padrão espaço-temporal da umidade volumétrica do solo em uma bacia hidrográfica com predominância de Latossolos. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:1801-1810, 2011.
- BACK, A.J.; HENN, A. & OLIVEIRA, J.L.R. Heavy rainfall equations for Santa Catarina, Brazil. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:2127-2134, 2011.
- BESKOW, S.; MELLO, C.R.; COELHO, G.; SILVA, A.M. & VIOLA, M.R. Estimativa do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica com base em modelagem dinâmica e distribuída. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:169-178, 2009.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KERLEN, D.L.; TURCO, R.F. & KONOPKA, A.E. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47:1501-1511, 1994.
- CARVALHO, J.R.P.; VIEIRA, S.R. & VENDRUSCULO, L.G. Uso da técnica de mínimos quadrados ponderados para ajuste de modelos as semivariograma. Campinas, Embrapa Informática Agropecuária, 2004. 15p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 11)
- CAMPOS, S.R.S.; CARVALHO, L.M.T.; SCOLFORO, J.R.; OLIVEIRA, A.D.; MARTINHAGO, A.Z.; VEIGA, R.D. & LIMA, R.B. Banco de dados. In: SCOLFORO, J.R.; CARVALHO, L.M.T. & OLIVEIRA, A.D., eds. Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado de Minas Gerais. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2008. p.43-72.
- CUPOLILLO, F. Período de estiagem durante a estação chuvosa no Estado de Minas Gerais: espacialização e aspectos dinâmicos. Viçosa, MG, Universidade Federal Viçosa, 1997. 148p. (Dissertação de Mestrado)
- CURI, N.; MARQUES, J.J.; MARQUES, A.F.S.M. & FERNANDES, E.I. Solos, geologia, relevo e mineração. In: SCOLFORO, J.R.; CARVALHO, L.M.T. & OLIVEIRA, A.D., eds. Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado de Minas Gerais. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2008. p.73-88.
- FREITAS, A.J.; SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F.; PINTO, F.A.; PEREIRA, S.B.; GOMES FILHO, R.R.; TEIXEIRA, A.F.; BAENA, L.G.N.; MELLO, L.T.A. & NOVAES, L.F. Equações de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, Companhia de Saneamento de Minas Gerais/Universidade Federal de Viçosa, 2001. 65p.
- GOMES, N.M.; FARIA, M.A.; SILVA, A.M.; MELLO, C.R. & VIOLA, M.R. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo associados ao uso e ocupação da paisagem. *R. Bras. Eng. Agríc. Amb.*, 11:427-435, 2007.
- HUFFMAN, R.L.; FANGMEIER, D.D.; ELLIOT, W.J.; WORKMAN, S.R. & SCHWAB, G.O. Soil and water conservation engineering. 6.ed. St. Joseph, American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2011. 523p.
- ISAAKS, E.H. & SRIVASTAVA, R.M. An introduction to applied geostatistic. Oxford, Oxford University Press, 1989. 561p.
- JUNQUEIRA JUNIOR, J.A.; SILVA, A.M.; MELLO, C.R. & PINTO, D.B.F. Continuidade espacial de atributos físico-hídricos do solo em sub-bacia hidrográfica de cabeceira. *Ci. Agrotec.*, 32:914-922, 2008.
- KODAMA, Y.M. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ), Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. *J. Meteor. Soc. Japan.*, 70: 813-835, 1992.
- LIBARDI, P.L. & MELO FILHO, J.F. Análise exploratória e variabilidade dos parâmetros da equação da condutividade hidráulica, em um experimento de perfil instantâneo. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:197-206, 2006.
- MELLO, C.R. & SILVA, A.M. Modelagem estatística da precipitação mensal e anual e no período seco para o estado de Minas Gerais. *R. Bras. Eng. Agríc. Amb.*, 13:68-74, 2009.
- MELLO, C.R.; VIOLA, M.R.; MELLO, J.M. & SILVA, A.M. Continuidade espacial de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais. *Ci. Agrotec.*, 32:532-539, 2008.
- MELLO, C.R.; SÁ, M.A.C.; CURI, N.; MELLO, J.M.; VIOLA, M.R. & SILVA, A.M. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. *Pesq. Agropec. Bras.*, 42:537-545, 2007.
- MELLO, C.R.; LIMA, J.M.; SILVA, A.M.; MELLO, J.M. & SILVA, M.S. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:925-933, 2003.
- MOREIRA, M.C.; PRUSKI, F.F.; OLIVEIRA, C.T.E.; PINTO, F.A.C. & SILVA, D.D. NetErosividade MG: Erosividade da chuva em Minas Gerais. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1349-1353, 2008.
- REBOITA, M.S.; GAN, M.A.; ROCHA, R.P. & AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *R. Bras. Meteorol.*, 25:185-204, 2010.
- VIEIRA, S.; MILLETE, J.; TOPP, G.C. & REYNOLDS, W.D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V. & COSTA, L.M., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2. p.1-46.
- VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, C.E.G.R., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1. p.1-54.
- VIOLA, M.R.; MELLO, C.R.; PINTO, D.B.F.; MELLO, J.M. & ÁVILA, L.F. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. *R. Bras. Eng. Agríc. Amb.*, 14:970-978, 2010.