

VARIABILIDADE ESPACIAL DO POTENCIAL EROSIVO DAS CHUVAS PARA O ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, BRASIL

Samuel de Assis Silva; Julião Soares de Souza Lima; Gustavo Soares de Souza; Rone Batista de Oliveira

Departamento de Engenharia Rural, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, Caixa Postal 16, CEP: 29500-000, Alegre-ES, samuel-assis@hotmail.com

1 RESUMO

Este trabalho teve como objetivo determinar a variabilidade espacial da erosividade das chuvas a partir de dados de pluviômetro e construir mapas de isolinhas para o Estado do Espírito Santo, Brasil. A erosividade da chuva foi estimada para 55 postos pluviométricos no Estado com base nos dados da ANA, através da equação $EI = 67,355 (r^2/P)^{0,85}$. Os dados foram submetidos, inicialmente, a uma estatística descritiva e exploratória. A dependência espacial foi calculada através do semivariograma para a precipitação média acumulada e as erosividades nos períodos de seca (abril a setembro) e de chuvas (outubro a março). As variáveis apresentaram dependência espacial, sendo que os semivariogramas da erosividade no período das chuvas e do total anual mostraram o mesmo padrão de distribuição espacial. Os mapas de isolinhas indicam maiores erosividades no período da seca na região litorânea.

UNITERMOS: erosividade, krigagem, conservação do solo, geoestatística.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S. S.; OLIVEIRA, R. B. SPATIAL VARIABILITY OF RAINFALL EROSIVE POTENTIAL FOR ESPIRITO SANTO STATE, BRAZIL

2 ABSTRACT

This study aimed to determine the spatial variability of rainfall erosivity from rain gauge data and to construct isoline maps for Espírito Santo State, Brazil. The rainfall erosivity was estimated for 55 rain gauge stations in the State based on ANA's data, using the equation $EI = 67.355 (r^2/P)^{0.85}$. Data were initially submitted to a descriptive and explanatory statistics. Spatial dependence was calculated through the semivariogram for the cumulative average precipitation and erosivity during dry (April to September) and rainfall (October to March) periods. The variables presented spatial dependence and the erosivity semivariograms during the rainfall and total annual periods showed the same spatial pattern distribution. The isoline maps indicated larger erosivity during dry season in the coastal region.

KEYWORDS: erosivity, kriging, soil conservation, geostatistics.

3 INTRODUÇÃO

O solo é um dos recursos naturais mais intensamente utilizados na produção de alimentos e, por isso, pode ter sua capacidade produtiva comprometida pela erosão, por meio do uso e manejo inadequados. Assim, o conhecimento das relações entre os fatores que causam as perdas de solo e os que permitem reduzi-las é de fundamental importância para o planejamento conservacionista (Roque et al., 2001).

A erosão do solo é função de vários fatores e todos interligados. Os principais são: a erosividade ou o potencial erosivo das precipitações (energia cinética de impacto das gotas e do escoamento superficial); a erodibilidade do solo ou susceptibilidade do solo ao impacto e ao escoamento; a topografia, representada pelo comprimento e declividade do solo; a taxa de cobertura do solo pela vegetação; e práticas conservacionistas (Tommaselli et al., 1999). O potencial da chuva em causar erosão é um dos mais importantes fatores entre os diversos ligados à erosão e pode ser avaliado por meio de índices de erosividade que se baseiam nas características físicas das chuvas de cada região (Mello et al., 2007).

A erosividade expressa o potencial da água da chuva para desagregar o solo e transportá-lo por meio do escoamento superficial subsequente. Este potencial da água da chuva é função de sua energia, que depende tanto do tamanho das gotas como da intensidade da precipitação (Lal & Elliot, 1994).

Vários são os parâmetros que podem ser utilizados para estimar a erosividade da chuva; o problema é escolher o mais adequado, uma vez que cada ambiente e evento são únicos nas escalas temporal e espacial e, conseqüentemente, a erosão varia de diferentes maneiras. Aplicações de modelos matemáticos e de modelos estatísticos têm explicado o comportamento dos fenômenos que ocorrem na natureza, em particular na agricultura (Silva et al., 2003).

Dentre as técnicas estatísticas usadas para análise e interpretação de dados climáticos, encontra-se a Geoestatística, que tem como característica principal a análise da distribuição espacial e/ou temporal entre as observações, determinando, por meio do semivariograma, a distância ou período de tempo de dependência entre elas.

Vieira & Lombardi Neto (1995) concluíram que a geoestatística foi útil na interpretação da variabilidade espacial da erosividade e na obtenção de valores estimados para tal variável no Estado de São Paulo, possibilitando a construção de mapas de isolinhas.

Em várias regiões do Brasil os índices de erosividade vêm sendo utilizados no traçado de mapas de linhas isoerosivas. A obtenção dessas linhas é uma alternativa para contornar a escassez de dados que possibilitem a determinação dos índices de erosividade em localidades que carecem de tais informações (Gonçalves et al., 2006). Entretanto, tais índices devem ser estudados para o Estado do Espírito Santo, que possui extensas áreas com potencial agrícola localizadas, muitas vezes, em regiões com topografia acidentada e altos índices pluviométricos.

Nesse contexto, dada a importância da erosividade das chuvas para os processos erosivos e para o planejamento conservacionista do uso da terra, objetivou-se com este estudo determinar a variabilidade da erosividade das chuvas a partir de dados de pluviômetro e construir mapas de isolinhas para o Estado do Espírito Santo.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Localizado no Sudeste Brasileiro, o Estado do Espírito Santo ocupa uma área de aproximadamente 46.077,5 km², representando 0,54% do território nacional. Seu território compreende duas regiões naturais distintas: o litoral - que se estende por 400 km - e o planalto (Espírito Santo, 2007).

O Estado é o segundo maior produtor de café do Brasil, aparecendo em primeiro lugar na produção de café conilon. A fruticultura apresenta como um dos setores mais promissores da agricultura capixaba, sendo o maior exportador de mamão papaya do País, caminhando também para a exportação de morango, goiaba, coco e polpas. Também, com destaque no setor florestal, na produção pecuária, na área de pesca e aqüicultura, bem como em outras áreas agrícolas como a produção de olerícolas e flores (Espírito Santo, 2007).

Ao longo da costa Atlântica encontra-se uma faixa de planície que representa 40% da área total do Estado, e à medida que se penetra em direção ao interior, o planalto dá origem a uma região serrana, com altitudes superiores a 1.000 metros. O clima é tropical úmido, com temperaturas médias anuais de 23° e volume de precipitação superior a 2200 mm por ano, especialmente concentrada no verão.

A avaliação da erosividade das chuvas foi efetuada a partir de dados de precipitação oriundos das estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) espalhadas por todo o território do Estado do Espírito Santo.

Os dados para realização desse estudo foram obtidos a partir das estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) distribuídas por todo o território do Estado, com séries históricas entre 33 a 72 anos de observações de precipitação pluvial de 24 horas expressas em altura de lâmina d'água (mm), totalizando 55 postos pluviométricos com dados consistentes. Os dados foram avaliados levando-se em conta os valores de precipitação de cada mês da série em cada posto.

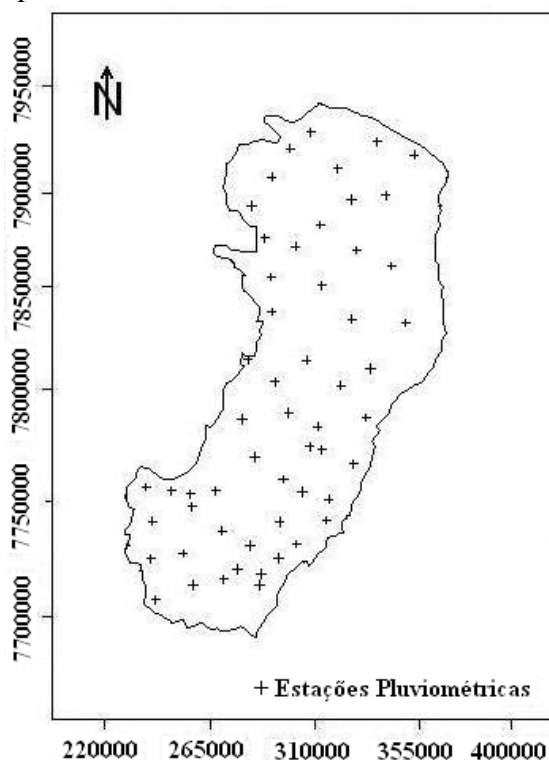


Figura 1. Distribuição das estações pluviométricas no Estado do Espírito Santo.

Considerando a inexistência de dados pluviográficos para o Estado do Espírito Santo que permitissem estimativas do fator erosividade das chuvas (R) por procedimentos mais complexos e a existência dos dados pluviométricos da ANA, optou-se por utilizar o método proposto por Bertoni & Lombardi Neto (1999) para o cálculo desse fator. A utilização desse método por Rosa (1995), Vieira et al. (1995) e Aquino et al. (2006), para a estimativa do fator R em algumas localidades brasileiras, também justifica seu emprego para computar o índice de erosividade no estado do Espírito Santo. Tal fato não compromete a generalidade das informações obtidas nesse estudo.

Assim, a erosividade da chuva foi estimada pelo uso da seguinte equação proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1999):

$$EI = 67,355 \left(\frac{r^2}{P} \right)^{0.85}$$

em que: EI é a média mensal do índice de erosão (MJ mm ha⁻¹ h ano); r é a precipitação média mensal (mm) e P é a precipitação média acumulada anual (mm).

Para o objetivo desse trabalho, além da erosividade anual, dividiu-se o ano em dois períodos distintos: o das secas, de abril a setembro, e o das chuvas, de outubro a março, conforme critério descrito por Nery et al. (2002). A erosividade para esses períodos foi obtida somando-se os valores mensais dos meses correspondentes.

Primeiramente, os dados foram submetidos a uma estatística descritiva e exploratória e testada a sua normalidade pelo teste Shapiro-Wilks, a 5% de probabilidade. Na sequência, a dependência espacial entre valores de precipitação pluviométrica e entre a erosividade da chuva foi calculada pela semivariância, dentro da qual se buscou avaliar o atendimento da hipótese de estacionalidade assumida (Vieira et al. 1983; Gonçalves et al., 2001) por meio de ajuste do semivariograma estimado pela seguinte equação:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

em que: N(h) é o número de pares de valores [Z(x_i), Z(x_i + h)] separados por um vetor h, e x_i é uma posição espacial da variável Z. À nuvem de pontos [γ(h), h] ajusta-se uma função matemática, cujos parâmetros são conhecidos como: efeito pepita, correspondendo ao valor da interseção no eixo das semivariâncias; patamar, igual ao valor da variância dos dados; e alcance, que representa a distância na qual o semivariograma atinge o valor do patamar (Vieira et al., 1983).

Os modelos teóricos para ajuste dos semivariogramas foram testados o esférico, o exponencial e o gaussiano. A escolha do modelo seguiu os critérios adotados pelo *software* GS⁺ (Robertson, 1998), que utiliza a menor soma do quadrado dos resíduos (SQR) e o maior coeficiente de determinação (R²). O ajuste dos dados a partir do semivariograma possibilitou definir os seguintes parâmetros: efeito pepita (C₀), patamar (C₀+C), alcance (a) e o índice de dependência espacial (IDE). O IDE é calculado pela relação [C/(C₀+C)], conforme critérios

estabelecidos por Zimback (2001), e assume os seguintes intervalos: fraco para valores de IDE < 25%; moderado entre 25% ≤ IDE ≤ 75% e forte para IDE >75%.

Os semivariogramas utilizados neste trabalho foram escalonados pela variância dos dados como sugeriram Vieira et al. (1991), para facilitar sua comparação. Observada a existência de dependência espacial definida pelo semivariograma, os valores vizinhos serão tão semelhantes que haverá possibilidade de estimar valores para qualquer local onde a variável não foi medida, usando-se a krigagem ordinária que estima valores sem tendência e com desvios mínimos em relação aos valores conhecidos, ou seja, com variância mínima (Vieira, 2002).

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j \gamma(x_i, x_j) + \mu = \gamma(x_i, x_0), \quad 1 = 1, N \quad \sum_{j=1}^N \gamma_j = 1$$

em que: $\gamma(x_i, x_j)$ é a semivariância estimada, usando o modelo ajustado ao semivariograma, correspondente à distância entre os pontos localizados na posição x_i e x_j e $\gamma(x_i, x_0)$ é a semivariância correspondente à distância entre os pontos localizados na posição x_i e x_0 . Valores de peso λ e um valor do multiplicador de Lagrange (μ) associado com a minimização da variância são gerados e com os valores de λ_i podem-se estimar valores (Z) no espaço amostrado para qualquer posição x_0 .

Com os valores estimados, foram construídos mapas de isolinhas, em função da coordenada geográfica, alocando os valores de R dos diferentes postos, utilizando a seguinte equação:

$$Z^*(X_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(X_i)$$

em que: $Z^*(x_0)$ é o valor estimado para local x_0 não-amostrado, $Z(x_i)$ o valor amostrado, n igual ao número de amostras vizinhas utilizadas nas estimativas e λ_i é o valor dos pesos aplicados em cada $Z(x_i)$.

Após a estimativa dos dados de erosividade resultantes da krigagem, foram obtidos mapas de isolinhas para o Estado do Espírito Santo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As principais estatísticas para a precipitação e para as erosividades correspondentes aos períodos das secas, das chuvas e anual são mostradas na Tabela 1. As medidas de tendência central (média e mediana) apresentaram-se bem próximas para as variáveis em estudo, indicando uma distribuição onde os dados apresentam reduzido afastamento em relação a um valor central. Tais resultados são confirmados pelos valores de simetria próximos de zero. Para o coeficiente de curtose, que mostra a dispersão (achatamento) da distribuição em relação a um padrão, geralmente a curva normal, os dados apresentaram distribuição platicúrtica, porém com achatamento reduzido da curva de distribuição normal, uma vez que esses valores encontram-se próximos de zero. A normalidade dos dados foi confirmada pelo teste Shapiro-Wilks ($p < 0,05$).

Tabela 1. Estatística e distribuição de frequência dos dados de erosividade das chuvas para o Estado do Espírito Santo.

Variáveis	Parâmetros Estatísticos								
	Média	Mediana	S	CV(%)	Mín	Máx	C _k	C _s	w
P	2288,96	2087,92	941,30	41,12	745,59	4619,84	-0,71	0,43	ns
R _{Anual}	6957,21	6052,52	746,09	12,05	5091,09	7958,38	-0,45	0,61	ns
R _{Seca}	2005,06	1849,44	587,21	29,29	989,34	3556,16	-0,17	0,67	ns
R _{Chuva}	4952,15	4838,08	623,41	12,59	3901,09	6329,17	-0,51	0,49	ns

P – precipitação média acumulada (mm); R – erosividade em MJ mm ha⁻¹ h; Mín – valor mínimo; Máx – valor máximo; s – Desvio padrão; CV (%) – Coeficiente de variação; C_k – Coeficiente de curtose; C_s – Coeficiente de assimetria e ns: Distribuição normal pelo teste Shapiro-Wilks a 5% de probabilidade.

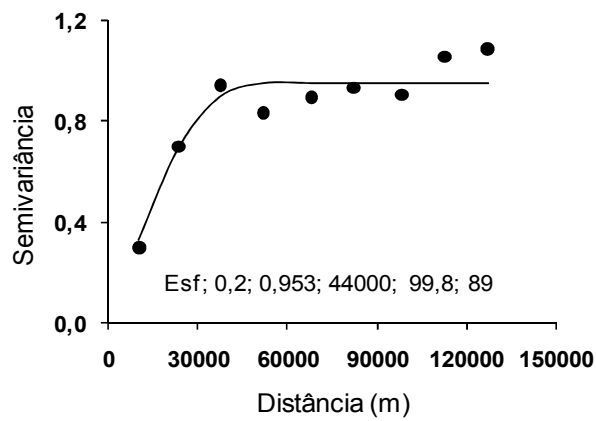
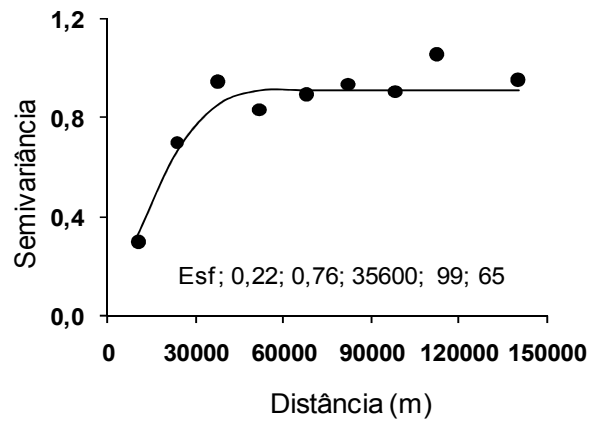
Os coeficientes de variação (CV) aumentaram à medida que a erosividade diminuiu, obtendo o valor máximo para o período das secas, o que está relacionado com a ocorrência de valores altos e baixos de precipitação dentro de um mesmo mês no período de seca. Valores semelhantes foram observados por Vieira et al. (1995), analisando a variabilidade espacial da erosividade para o Estado de São Paulo.

Segundo a classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980) em baixa (CV < 12%), média (12% ≤ CV ≤ 60%) e alta (CV > 60%), os CV das variáveis encontra-se no intervalo de 12 a 60% , sendo, portanto, considerado de média variação.

Os dados apresentaram grande amplitude, observados pelos valores máximos e mínimos, com maior atenção para a erosividade no período de seca, indicando existência de grande variabilidade, com erosividade variando de 989,34 a 3556,16 MJ mm ha⁻¹ h. Esta variabilidade é em decorrência da ausência de chuvas em alguns meses do período da seca, como discutido anteriormente, contribuindo para um maior CV do que no período das chuvas.

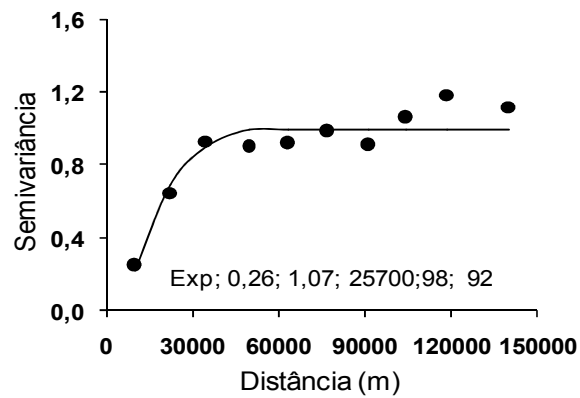
Os resultados da análise geoestatística (Figura 2) indicam que as variáveis apresentam dependência espacial, com aumento gradual das semivariâncias até determinada distância, em que o valor se estabiliza (patamar), ajustando-se a elas o modelo esférico com alcance variando de 25.700 m (período de chuva) a 120.500 m (período de seca).

Nesses casos, os pontos localizados numa área de raio menor ou igual ao alcance são mais similares e estão dependentes espacialmente entre si e podem ser usados para estimar valores para qualquer ponto entre eles.



(A)

(B)



(C)

(D)

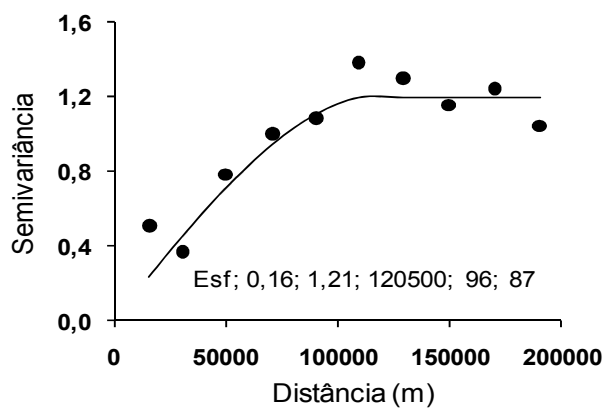


Figura 2. Modelos e parâmetros (C ; C_0+C ; A_0 ; IDE; R^2) do semivariograma das variáveis: precipitação média acumulada (A), erosividade anual (B), erosividade para o período de chuva (C) e erosividade para o período de seca (D) no Estado do Espírito Santo.

A precipitação média acumulada e a erosividade anual apresentaram padrão espacial semelhante. Este fato está relacionado com o mesmo modelo de ajuste (esférico) e alcances bem próximos, variando de 36.000 m a 44.000 m, o que é corroborado pela interligação entre esses fatores, uma vez que estes são dependentes entre si.

A erosividade no período de seca indica maior continuidade espacial com o alcance de 120.500 m, tendo portanto, maior precisão na estimativa dessa variável para locais onde não existe estações pluviométricas.

De acordo com a classificação de Zimback (2001), o IDE apresentou forte dependência espacial com valores superiores a 96%. Isso indica elevada precisão na estimativa de valores em locais não medidos até o alcance do semivariograma.

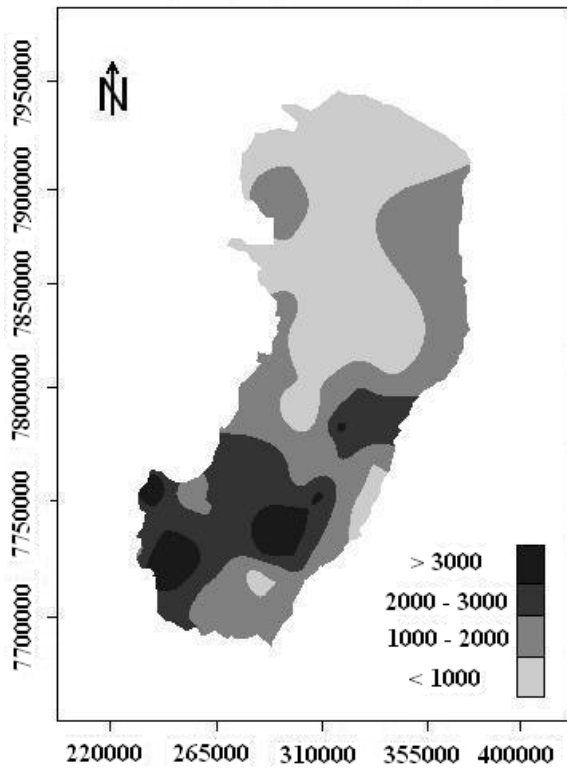
Um fato bastante importante a ser notado na Figura 2, e que também foi observado por Vieira et al. (1995) em seus estudos, é que os semivariogramas para o período das chuvas e total anual, quando escalonados, sobrepõem-se quase perfeitamente, indicando que as suas variabilidades espaciais são parecidas e que a contribuição do período das secas para a erosividade anual é pequena e não muda, significativamente, sua variação espacial, sendo esta dependente da erosividade do período das chuvas.

Na Figura 3 estão apresentados os mapas de precipitação e dos índices de erosividade anual, do período de chuvas e do período de seca para o Estado do Espírito Santo.

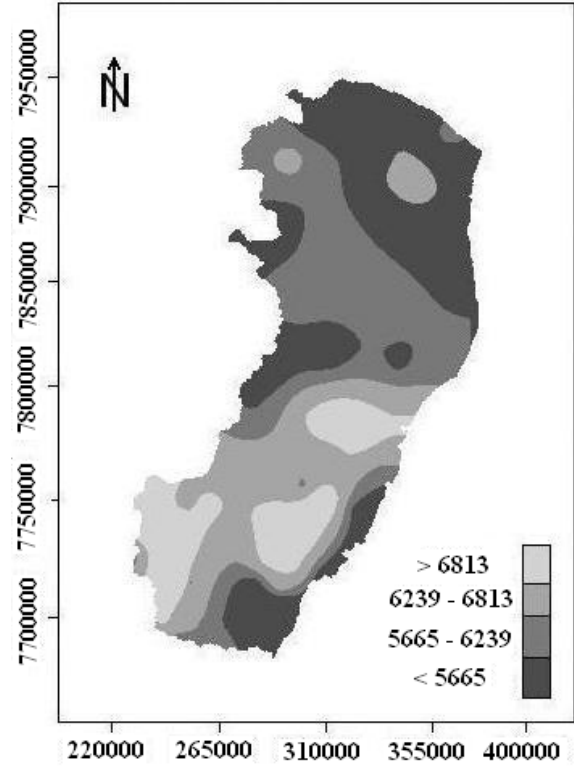
A análise dos dados empregados para a confecção do mapa de isolinhas demonstra uma redução da precipitação pluviométrica no sentido sul para norte, sendo a região de domínio dos menores valores corresponde ao extremo norte do Estado, próximo à divisa com o Estado da Bahia, enquanto que os maiores valores de precipitação são observados na região sul e região serrana do Estado, que pode estar relacionado com as maiores altitudes. Comportamento semelhante é constatado para a erosividade anual, onde a sua distribuição apresenta uma tendência geral de redução no seu valor num gradiente que decresce de sul para norte.

Nesses termos, pode-se afirmar que os riscos de erosão seguem o mesmo comportamento e se elevam na porção centro-sul do Estado, coincidindo com um relevo mais declivoso e irregular. Isso é um indicativo de que maior atenção deve ser dada a essas regiões, utilizando práticas que visem reduzir o risco de erosão, uma vez que a erosividade das chuvas é um dos principais fatores responsáveis pela erosão dos solos e esta, aliada a um relevo declivoso, tende a elevar os valores de perda de solo nessas regiões.

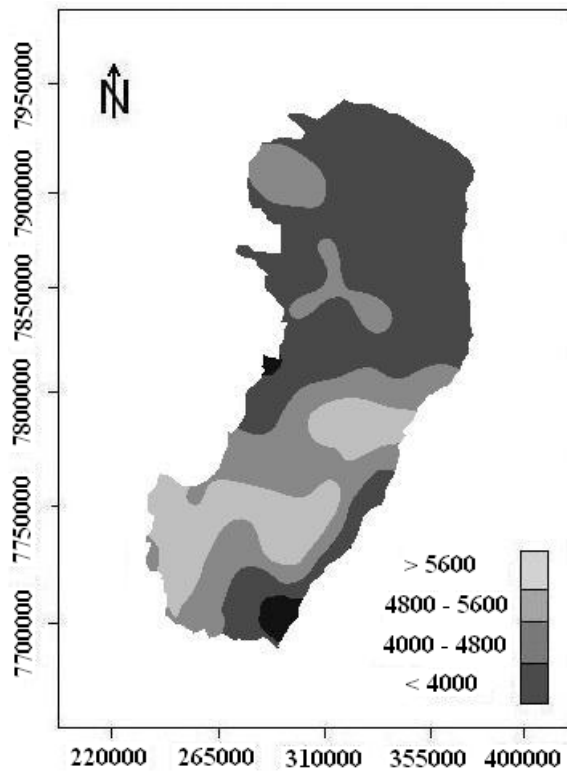
Silva (2004) concluiu que a erosividade anual é altamente dependente do total precipitado, tendo encontrado coeficiente de determinação de 0,97 entre essas grandezas, mapeando a erosividade no Brasil.



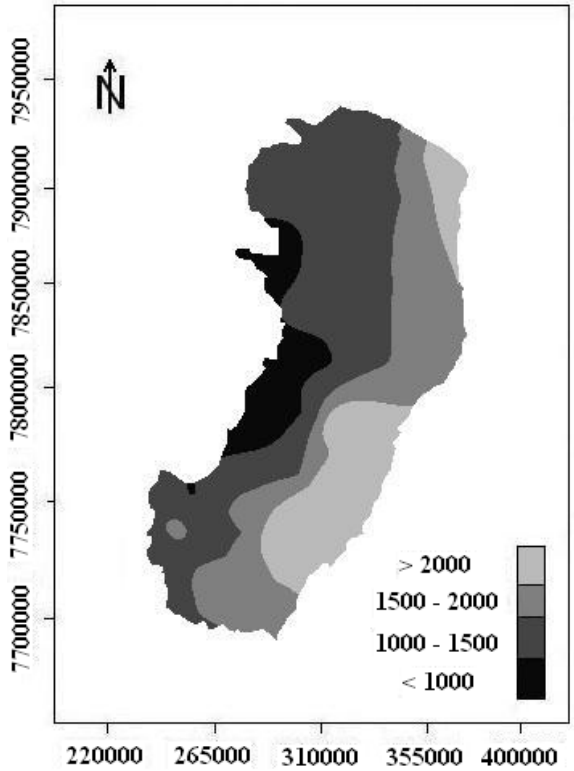
(A)



(B)



(C)



(D)

Figura 3. Mapas de isolinhas para as variáveis: precipitação média acumulada (mm) (A), erosividade anual (B), erosividade para o período de chuva (C) e erosividade para o período de seca (D) em MJ.mm ha⁻¹ h no Estado do Espírito Santo.

Ainda na Figura 3, quanto a forma, o mapa de erosividade para o período de chuvas é semelhante ao da erosividade anual, confirmando o bom escalonamento para os semivariogramas correspondentes. Esses valores, semelhantes aos encontrados por Vieira et al. (1995), indicam que a variabilidade espacial da erosividade nos períodos de chuva definem a variabilidade da erosividade anual.

Para a erosividade do período de seca, observa-se indícios de paralelismo das isolinhas no sentido norte – sul. No entanto esses indícios não foram suficientes para invalidar as hipóteses de estacionaridade, como pode ser visto pelo semivariograma com patamar bem definido (Figura 2D).

No período de seca, as maiores erosividades foram encontradas na região litorânea, ou seja, em baixas altitudes. Isso é um indício de que, devido a dependência da erosividade em relação a precipitação, os maiores índices pluviométricos são observados na região litorânea no período dito como de seca. Com comportamento inverso da distribuição das chuvas para o período chuvoso.

6 CONCLUSÕES

O coeficiente de variação aumentou à medida que a erosividade diminuiu, sendo os maiores valores observados para o período de seca.

Semivariogramas para a precipitação média acumulada e para o período das chuvas, quando escalonados, sobrepõem-se quase perfeitamente, mostrando semelhança na variabilidade espacial, indicando que a variabilidade da erosividade nos períodos de chuva define a da erosividade anual.

Os mapas de isolinhas mostraram que a precipitação média acumulada, erosividade anual e do período de chuva apresentam uma tendência geral de redução no seu valor num gradiente que decresce de sul para norte.

A erosividade no período de seca tem maior ocorrência na região litorânea, devido às maiores precipitações nessa época.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AQUINO, C. M. S.; OLIVEIRA, J. G. B.; SALES, M. C. L. Estimativa da erosividade das chuvas (R) nas terras secas do Estado do Piauí. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 37, n. 3, p. 287-291, 2006.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1999.

CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York: John Wiley, 1991. 900 p.

GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V.; MATA, J. D. V. Análise exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 23, n. 5, p. 105-111, 2001.

GONÇALVES, F. A. et al. Índices e espacialização da erosividade das chuvas para o Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 320-328, 2006.

ESPÍRITO SANTO (Estado). Informações Gerais. Disponível em: <http://www.es.gov.br/site/espírito_santo/infos_gerais.aspx#area>. Acesso em 11 jun. de 2007.

LAL, R.; ELLIOT, W. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. **Soil erosion: research methods**. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 1994, p. 180-208.

MELLO, C. R. et al. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 4, p. 134-141, 2007.

NERY, J. T.; MARTINS, M. L. O. F.; SANT'ANA, J. L. N. Variabilidade da precipitação no Brasil meridional. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 24, n. 6, p. 1687 – 1695, 2002.

ROBERTSON, G. P. **GS+**: Geostatistics for the environmental sciences – GS+ user's guide. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152 p.

ROQUE, C. G. et al. Fator erosividade da chuva de Piraju (SP): distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 147-156, 2001.

ROSA, R. O uso de sistemas de informação geográfica para estimativa de perda de solo por erosão laminar. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA FÍSICA E APLICADA, 1995, Goiânia, **Anais...** Goiânia: Cegraf, 1995, p. 8-16.

SILVA, A. M. da. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, v.57, p.251-259, 2004.

SILVA, J. W.; GUIMARÃES, E. C.; TAVARES, M. Variabilidade temporal da precipitação mensal e anual na estação climatológica de Uberaba-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 3, p. 665-674, maio/jun. 2003.

TOMMASELLI, J. T. G.; FREIRE, O.; CARVALHO, W. A. Erosividade da chuva da região oeste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 2, p. 269-276, 1999.

VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 54, n. 2, p. 405-12, 1995.

VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, F.; BURROWS, I. Mapeamento das precipitações máximas prováveis para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 93-98, 1991.

VIEIRA, S. R. et al. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ, V. et al. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2, p. 1-45.

VIEIRA, S. R. et al. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v. 51, n. 3, p. 1-75, 1983.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p. 319-44.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência)–Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.