

## Análise espaço-temporal do potencial erosivo anual da chuva no Estado do Espírito Santo

### *Spatio-temporal analysis of erosive potential annual of the rainfall in the state of the Espírito Santo*

Vagner Mauri Quinto<sup>1</sup>, Julião Soares de Souza Lima<sup>2</sup>, Nilton Cesar Fiedler<sup>3</sup>, Larissa Honorio de Macedo Thuler<sup>3</sup>

**Resumo** – Este trabalho teve como objetivo estudar a variabilidade espaço-temporal do potencial erosivo médio anual das chuvas no Estado do Espírito Santo em um período de 10 anos (1999 a 2008) e outro de 3 anos (2009 a 2011), bem como elaborar os seus respectivos mapas de isolinhas de erosividade. A erosividade das chuvas foi estimada para todo o Estado do Espírito Santo por meio do modelo proposto por Bertoni e Lombardi Neto (1999), utilizando-se os dados dos 81 postos pluviométricos da ANA em atividade. Os dados foram submetidos a análise descritiva e a dependência espacial e a interpolação foram realizadas no software GS<sup>+</sup>, sendo os mapas gerados editados no software ArcGis<sup>®</sup> 10.0. A erosividade média anual apresentou dependência espacial para os dois períodos estudados, sendo os maiores valores obtidos no período de 2009 a 2011. Os valores de erosividade média anual apresentaram crescimento da região Norte para a região Sul do Estado nos dois períodos de estudo.

**Palavras-chave:** erosão, geoestatística, krigagem.

**Abstract** – This work aimed to study the spatio-temporal variability of the erosive potential of average annual rainfall in the State of Espírito Santo in a 10 year period (1999 to 2008) and other of 3 years (2009-2011) as well as developing their respective contour maps erosivity. The rainfall erosivity was estimated for the entire State of the Espírito Santo through the model proposed by Bertoni and Lombardi Neto (1999), using data from 81 rain posts of the ANA in activity. The data were submitted the analyze descriptive and the spatial dependence and the interpolation were performed in the software GS<sup>+</sup>, being the generated maps edited in ArcGIS<sup>®</sup> 10.0 software. The average annual erosivity presented dependence spatial for the two periods studied, being the highest values obtained in the period 2009-2011. The values of average annual erosivity presented growth of the region North to the region South of the state in the two study periods.

**Keywords:** erosion, geostatistics, kriging.

## INTRODUÇÃO

A erosão hídrica provocada pelo impacto das gotas de chuva no solo, na maioria das vezes sem a cobertura necessária, pelo escoamento superficial e pela intensidade de precipitação em áreas de cultivo agrícola é observada na paisagem em várias propriedades rurais pelo Brasil. Este problema se agrava ainda mais em regiões de declividade mais acentuada como ocorre no Estado do Espírito Santo.

O cultivo de pastagens em áreas declivosas associada ao manejo inadequado da cultura e o pastejo excessivo proporcionam a degradação destas áreas. O sistema silvopastoril ou a total substituição da atividade exercida sobre uma área cultivada com pastagem mal conduzida pode ser a solução para redução da erosão hídrica ou recuperação/regeneração de áreas degradadas ou em processo de degradação.

Conforme Lal e Elliot (1994) a erosividade expressa o potencial que a água das chuvas possui para desagregar o solo e transportá-lo por meio do escoamento

superficial, dependendo tanto do tamanho das gotas como da sua intensidade.

Para Silva, Guimarães e Tavares (2003) existem vários parâmetros que podem ser utilizados para se estimar a erosividade das chuvas, contudo, não é fácil escolher o modelo mais adequado, pois cada ambiente e evento são únicos na escala temporal e espacial. Dentre os métodos de estimação da erosividade temos o EI<sub>30</sub> proposto por Wischmeier e Smith (1978) e o KE>25 proposto por Hudson (1973). No entanto, a determinação por estes métodos é trabalhosa e necessita de informações escassas e de difícil acesso (MELLO et al. 2007). Outra forma de se estimar a erosividade é por meio do uso de equações de regressão.

As equações de regressão são utilizadas no caso da inexistência de dados pluviográficos, permitindo a estimação da erosividade das chuvas sem o comprometimento das informações obtidas (AQUINO; OLIVEIRA e SALES, 2006). Ciente destes fatos, autores como Silva (2004) e Pruski (2006) propõem a utilização de equações empíricas baseadas na precipitação média mensal e anual, das oito regiões homogêneas do Brasil.

\*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 25/11/2013; aprovado em 05/12/2013

<sup>1</sup>Universidade Federal do Espírito Santo – UFES E-mail: quintouniversitario@hotmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal do Espírito Santo – UFES E-mail: limajss@yahoo.com.br

<sup>3</sup>Universidade Federal do Espírito Santo – UFES. E-mail: nilton.fiedler@ufes.br

O uso de modelos matemáticos e estatísticos tem sido eficientes para explicar o comportamento de fenômenos que ocorrem na natureza (SILVA; GUIMARÃES e TAVARES, 2003).

O modelo proposto por Bertoni e Lombardi Neto (1999) tem sido usado em vários estudos de erosividade no Brasil. Este modelo já foi utilizado por Rosa (1995) em estudos sobre estimativa da perda de solo por erosão laminar; Vieira e Lombardi Neto (1995) estudando a variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo; Aquino, Oliveira e Sales (2006) estimando a erosividade das chuvas no Estado do Piauí e por Silva et al. (2010) em estudo sobre a variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas para o Estado do Espírito Santo.

O uso da geoestatística foi útil na interpretação da variabilidade espacial e na estimativa da erosividade para o Estado de São Paulo, o que possibilitou a construção de mapas de isolinhas (VIEIRA e LOMBARDI NETO, 1995). Para Silva et al. (2010), estes índices devem ser estudados para o Estado do Espírito Santo, devido o seu potencial agrícola, que muitas vezes esta localizado em regiões de relevo acidentado e com altos índices pluviométricos.

Diante do exposto este trabalho teve como objetivo estudar a variabilidade espaço-temporal do potencial erosivo médio anual das chuvas no Estado do Espírito Santo em um período de 10 anos (1999 a 2008) e outro de 3 anos (2009 a 2011), bem como elaborar os seus respectivos mapas de isolinhas de erosividade.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Descrição da área

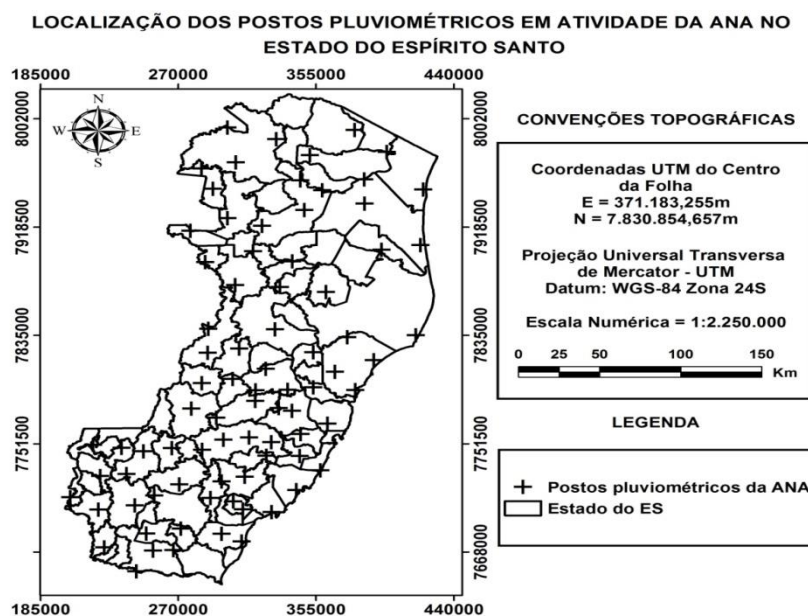
O Estado do Espírito Santo encontra-se localizado na região Sudeste do Brasil, e possui uma área de aproximadamente 46.077 Km<sup>2</sup>, que corresponde a cerca de 0,54% do território nacional (Espírito Santo, 2007).

### Aquisição de dados

Os limites do Estado do Espírito Santo e de seus municípios foram obtidos em formato shapefile de forma gratuita por meio do sistema integrado de bases geoespaciais do Estado do Espírito Santo (GEOBASES, 2008), disponível no endereço eletrônico [http://www.geobases.es.gov.br/publico/AcessoNavegador.aspx?id=142&nome=NAVEGADOR\\_GEOBASES](http://www.geobases.es.gov.br/publico/AcessoNavegador.aspx?id=142&nome=NAVEGADOR_GEOBASES).

Para a realização do estudo utilizou-se os dados de precipitação da agência nacional de águas (ANA) provenientes de 81 postos pluviométricos distribuídos no Estado e disponibilizados gratuitamente por meio do sistema nacional de informações sobre recursos hídricos (SNIRH), disponíveis no endereço eletrônico <http://portalsnirh.ana.gov.br/Esta%C3%A7%C3%B5esdaANA/tabid/359/Default.aspx>, com séries mínimas de mais de 25 anos. Todavia, adotou-se trabalhar com um período de 10 anos (1999 a 2008) e outro de 3 anos (2009 a 2011).

A localização das estações pluviométricas da ANA em atividade existentes em cada município pode ser observada na Figura 1.



**Figura1** – Mapa de localização dos postos pluviométricos da ANA no ES

### Metodologia

Conforme Bertoni e Tucci (2004), as séries históricas devem passar por análises preliminares,

verificando-se a necessidade do preenchimento de falhas caso estas existam e a homogeneidade dos dados preenchidos com os dados das estações vizinhas.

O preenchimento das falhas nas séries de dados dos postos pluviométricos que se fizeram necessárias foi realizado por meio do método da ponderação regional descrito por Bertoni e Tucci (2004), conforme equação 1.

$$P_e = \frac{1}{n} * \left[ \left( \frac{P_{\mu e}}{P_{\mu b}} * P_b \right) + \left( \frac{P_{\mu e}}{P_{\mu c}} * P_c \right) + \left( \frac{P_{\mu e}}{P_{\mu d}} * P_d \right) \right] \quad (\text{eq. 1})$$

em que:

- $P_e$ : precipitação do posto a ser estimado (mm);
- $n$ : número de estações vizinhas utilizadas para a estimação do  $P_e$ ;
- $P_{\mu e}$ : precipitação média do mês ou ano do posto a ser estimado (mm);
- $P_{\mu b}$ ;  $P_{\mu c}$  e  $P_{\mu d}$ : precipitações médias do mês ou ano das 3 estações vizinhas (mm);
- $P_b$ ;  $P_c$  e  $P_d$ : precipitações do mês ou ano das 3 estações vizinhas (mm).

Para o preenchimento das falhas utilizou-se três postos vizinhos e suas escolhas foram baseadas: na proximidade dos pontos; na semelhança climática entre os postos (altitude e precipitação) e na ausência de falhas nos mesmos períodos.

A homogeneidade dos dados de precipitação foi testada pelo método da curva de dupla massa desenvolvida pela Geological Survey (USA) apresentado por Bertoni e Tucci (2004).

Por meio da precipitação anual acumulada foi construído um gráfico de dispersão utilizando-se os valores médios da precipitação anual das três estações vizinhas no eixo X e os valores anuais da estação estimada no eixo Y. Segundo Bertoni e Tucci (2004) a homogeneidade dos dados é comprovada se o gráfico apresentar um alinhamento conforme uma reta.

Devido ao fato de não existir uma equação confiável para o Estado do Espírito Santo, adotou-se trabalhar com o modelo proposto por Bertoni e Lombardi Neto (1999). A escolha desta equação foi baseada no fato da mesma já ter sido utilizada por vários autores em seus estudos e em diferentes locais, como Vieira e Lombardi Neto (1995) no Estado de São Paulo; Aquino, Oliveira e Sales (2006) no Estado do Piauí; Silva et al. (2010) para o próprio Estado do Espírito Santo; e Souza (2010) para o Estado do Paraná.

Após o preenchimento das falhas e a verificação da homogeneidade dos dados, foi realizada a estimação da erosividade mensal para cada uma das 81 estações pluviométricas em atividade no Estado do ES com o uso da equação 2, proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1999). A erosividade anual foi estimada efetuando-se o somatório da erosividade mensal.

(eq. 2)

$$R_x = 67,355 * \left( \frac{r^2}{P} \right)^{0,85}$$

em que:

- $R_x$ : erosividade média mensal da chuva (MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>);
- $r^2$ : precipitação média mensal (mm);
- $P$ : precipitação média anual (mm).

Após a estimativa da erosividade anual foi realizada a análise da dependência espacial e quando a mesma existiu, foi realizada a interpolação dos dados para os demais locais do Estado utilizando o software GS+. Analisados a dependência e o índice de dependência espacial (IDE), a escolha do modelo seguiram os critérios adotados pelo software GS+ (ROBERTSON, 1998) que utiliza a menor soma do quadrado dos resíduos (SQR) e o maior coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>).

Os resultados dos parâmetros dos semivariogramas ajustados foram escalonados pela variância dos dados o que possibilitou a padronização da escala e facilitou a interpretação dos seus resultados.

A dependência espacial foi calculada por meio da equação do semivariograma (eq. 3).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} * \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (\text{eq. 3})$$

em que:

- $\gamma(h)$ : semivariância;
- $N(h)$ : é o número de pares de valores medidos  $Z(x_i)$  e  $Z(x_i+h)$ , separados por um vetor  $h$ ;
- $x_i$ : posição espacial da variável  $Z$ .

A interpolação dos dados foi feita por meio da krigagem ordinária conforme a equação 4.

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j \gamma(X_i, X_j) + \mu = \gamma(X_i, X_0), 1 = 1, N$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j = 1$$

em que:

- $\gamma(X_i, X_j)$ : semivariância estimada por meio do ajuste do modelo, correspondendo a distância entre os pontos localizados na posição  $X_i, X_j$ ;
- $\gamma(X_i, X_0)$ : semivariância correspondente a distância entre os pontos localizados na posição  $X_i$  e  $X_0$ .

Os arquivos gerados no software GS+ gerados foram editados no software ArcGis® 10.0. Os mapas de erosividade foram reclassificados com as mesmas classes

para o período de 1999-2008 e de 2009-2011, para que se pudesse compará-los posteriormente.

Para todos os processos de interpolação realizados no desenvolvimento do estudo, adotou-se o valor do alcance do modelo de semivariograma ajustado como sendo o raio de ação para a interpolação dos dados, pois segundo Trangmar, Yost e Uehara (1985) para a interpolação por técnicas de krigagem o alcance é que define o raio máximo para o uso de amostras vizinhas para a realização deste processo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estatística descritiva dos dados de precipitação preenchidos e homogêneos utilizados na estimação da erosividade das chuvas no período de 1999-2008 e de 2009-2011 pode ser observada na Tabela 1.

Com exceção da precipitação anual que não apresentou diferença significativa em nível de 5% de probabilidade pelo teste t-Student, os valores de precipitação mensal apresentaram diferença significativa para todos os meses do ano (Tabela 1). Durante o período de 1999-2008 os valores de precipitação mensal foram superiores nos meses de jan., fev., maio, jun., ago., set., nov. e dez., enquanto no período de 2009-2011 os valores de precipitação foram superiores nos meses de mar., abr., jul. e out (Tabela 1).

**Tabela 1** – Análise descritiva dos dados de precipitação pluviométrica no período de 1999-2008 e de 2009-2011

Precipitação (mm)	n	Medidas de posição					Medidas de dispersão					
		Mín.	Máx.	Média	Md.	1º Q	3º Q	s	CV(%)	C <sub>s</sub>	C <sub>k</sub>	K-S
Janeiro <sup>1</sup>	81	79,9	578,1	170,5a	159,4	134,8	191,1	65,9	38,6	3,2	17,6	*
Janeiro <sup>2</sup>	81	69,4	250,2	141,4b	139,5	114,2	162,4	36,5	25,8	0,4	0,0	ns
Fevereiro <sup>1</sup>	81	78,5	451,2	133,5a	127,8	108,9	145,8	44,3	33,2	4,7	32,8	*
Fevereiro <sup>2</sup>	81	7,8	151,5	58,5b	49,7	35,6	76,0	31,3	53,5	0,9	0,3	ns
Março <sup>1</sup>	81	63,2	563,4	153,8b	148,5	132,1	167,4	56,0	36,4	4,9	35,7	*
Março <sup>2</sup>	81	105,9	429,9	242,6a	226,8	168,5	313,0	83,1	34,3	0,4	-0,9	ns
Abril <sup>1</sup>	81	29,9	431,2	92,5b	87,8	71,3	100,9	45,6	49,3	5,2	38,1	*
Abril <sup>2</sup>	81	62,6	257,7	153,7a	139,8	117,1	187,6	49,1	31,9	0,5	-0,7	ns
Maio <sup>1</sup>	81	23,3	157,6	49,3a	42,4	34,5	58,7	21,6	43,8	2,0	6,8	*
Maio <sup>2</sup>	81	10,3	108,5	42,4b	39,8	28,5	54,9	19,7	46,4	0,8	1,1	ns
Junho <sup>1</sup>	81	11,1	175,8	40,9a	32,2	23,3	57,6	25,7	62,8	2,1	8,1	*
Junho <sup>2</sup>	81	7,7	60,0	28,8b	26,8	20,7	36,8	12,1	42,1	0,7	-0,1	ns
Julho <sup>1</sup>	81	6,4	216,8	37,2b	30,2	19,8	50,1	28,9	77,5	3,3	17,8	*
Julho <sup>2</sup>	81	3,8	154,8	48,2a	39,9	24,7	65,7	30,2	62,6	1,0	1,2	ns
Agosto <sup>1</sup>	81	5,0	162,4	34,6a	29,8	21,1	43,3	21,3	61,6	3,0	15,6	ns
Agosto <sup>2</sup>	81	3,3	83,0	23,8b	19,2	12,6	33,0	14,6	61,6	1,4	2,5	ns
Setembro <sup>1</sup>	81	25,0	254,6	65,7a	60,7	47,8	77,8	30,2	45,9	3,3	18,4	ns
Setembro <sup>2</sup>	81	4,6	79,7	30,2b	24,9	16,9	42,9	17,9	59,3	0,9	0,1	ns
Outubro <sup>1</sup>	81	43,4	298,0	80,8b	76,0	61,9	90,2	32,0	39,6	4,1	26,0	*
Outubro <sup>2</sup>	81	89,4	360,7	178,6a	170,8	149,0	197,3	47,8	26,8	1,2	2,2	ns
Novembro <sup>1</sup>	81	165,2	1.061,2	248,0a	228,4	210,6	260,6	100,2	40,4	6,8	55,4	*
Novembro <sup>2</sup>	81	102,0	299,4	193,7b	189,6	165,6	215,8	41,6	21,5	0,3	-0,1	ns
Dezembro <sup>1</sup>	81	169,0	778,6	251,9a	241,5	204,5	278,4	78,1	31,0	4,0	25,2	*
Dezembro <sup>2</sup>	81	72,4	435,8	226,6b	214,3	161,7	287,3	82,0	36,2	0,3	-0,7	ns
Anual <sup>1</sup>	81	860,6	5.128,9	1.358,8a	1.267,5	1.137,1	1.449,0	483,4	35,6	6,1	46,9	*
Anual <sup>2</sup>	81	871,9	2.033,7	1.368,4a	1.307,9	1.126,4	1.582,5	290,6	21,2	0,4	-0,8	ns

<sup>1</sup> período de 1999 a 2008; <sup>2</sup> período de 2009 a 2011; n: número de amostras; Mín: mínimo; Máx: máximo; as médias dos mesmos meses nos dois períodos de cultivo seguidas pela mesma letra não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade pelo teste t-Student; Md: mediana; 1º Q: primeiro quartil; 3º Q: terceiro quartil; s: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; C<sub>s</sub>: coeficiente de assimetria; C<sub>k</sub>: coeficiente de curtose; K-S: teste de normalidade de kolmogorov-Smirnov; \*: distribuição não normal pelo teste de kolmogorov-Smirnov (p<0,05); ns: distribuição normal pelo teste de kolmogorov-Smirnov (p<0,05).

Os valores de precipitação tanto no período de 1999-2008 e 2009-2011 apresentaram distribuição assimétrica à direita, ou seja, houve uma maior concentração dos dados abaixo da média (Tabela 1). Os valores de CV dos dois períodos são classificados como médio ( $12 \leq CV \leq 60\%$ ; Tabela 2) e alto ( $CV > 60\%$ ; Tabela 1) conforme Warrick e Nielsen (1980). Os valores médios e altos de CV indicam o afastamento dos dados de precipitação em relação a média.

Os dados de precipitação durante o período de 1999-2008 com exceção dos meses de agosto e setembro,

não apresentaram distribuição normal pelo teste de Kolmogorov-Smirnov em nível de 5% de probabilidade. (Tabela 1).

Para o período de 2009-2011, tanto a precipitação mensal quanto a anual apresentaram distribuição normal (Tabela 1).

O fator R foi estimado para todo o Estado do ES em função dos dois períodos de estudo.

Os resultados da análise descritiva da R média anual para o período de 1999-2008 e de 2009-2011 estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** – Análise descritiva dos dados de erosividade média anual da chuva para o Estado do Espírito Santo

R	Medidas de posição				Medidas de dispersão				
	Mín.	Máx.	Média	Md.	s	CV(%)	C <sub>S</sub>	C <sub>K</sub>	K-S
1999 – 2008	5.247,9	9.210,6	6.771,8b	6.550,5	968,7	14,3	0,8	0,0	ns
2009 – 2011	4.665,7	9.946,9	7.343,5a	7.414,8	1.292,0	17,6	0,1	-0,9	ns

R: erosividade das chuvas (MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>); Mín: mínimo; Máx: máximo; as médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade pelo teste t-Student; Md: mediana; s: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; C<sub>S</sub>: coeficiente de assimetria; C<sub>K</sub>: coeficiente de curtose; K-S: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov; ns: distribuição normal pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (p<0,05).

A R média anual apresentou diferença estatística significativa em nível de 5% de probabilidade pelo teste t-Student (Tabela 2), sendo os valores no período de 2009-2011 superiores aos obtidos no período de 1999-2008.

Os valores médios de R anual obtidos durante o período de 1999-2008 (6.771,8 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) e de 2009-2011 (7.343,5 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) são semelhantes ao resultado obtido por Saito et al. (2009) estudando o uso da geotecnologia na estimativa da R e sua relação com o uso e ocupação do solo para o ES. Os valores médios de R anual também são semelhantes aos valores da R média anual obtido por Silva et al. (2010), estudando a variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas para o estado do ES.

A R média anual apresentou valores médios de CV (12 ≤ CV ≤ 60%; Tabela 2), durante o período de 1999-2008 e de 2009-2011, conforme classificação de Warrick e Nielsen (1980).

Ao analisar a Tabela 2 verifica-se que o valor da R média anual para o período de 1999-2008 possui

distribuição assimétrica à direita, indicando uma maior concentração dos dados abaixo da média, pois os valores da mediana são inferiores aos valores da média dos dados. O valor da R média anual durante o período de 2009-2011 apresentou distribuição assimétrica à esquerda, o que demonstra a existência de maior concentração dos dados acima da média (Tabela 2).

Os valores da R média anual apresentaram distribuição normal pelo teste de Kolmogorov-Smirnov em nível de 5% de probabilidade. Para Folegatti (1996) a normalidade dos dados não é exigida para o ajuste do semivariograma, mas sim desejada. Conforme Isaaks e Srivastava (1989), em uma análise espacial, mais importante do que a normalidade dos dados é que os mesmos não possuam uma calda muito alongada.

Os parâmetros e os modelos de semivariogramas ajustados e escalonados pela variância dos dados para a R média anual durante o período de 1999-2008 e de 2009-2011 podem ser observados na Tabela 3 e nas Figuras 2a e 2b, respectivamente.

**Tabela 3** – Modelos e parâmetros dos semivariogramas escalonados ajustados para a erosividade média anual das chuvas

R	Semivariograma						Validação cruzada	
	Modelo	a (m)	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> +C	IDE (%)	R <sup>2</sup> (%)	r	CR
1999 – 2008	Esférico	136.600,0	0,3	1,0	25,6	89,8	0,8	1,1
2009 – 2011	Esférico	305.600,0	0,2	1,4	13,7	91,2	0,8	1,1

R: erosividade das chuvas (MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>); a: alcance; C<sub>0</sub>: efeito pepita; C<sub>0</sub>+C: patamar; IDE: índice de dependência espacial [C<sub>0</sub>/(C<sub>0</sub>+C)]; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação; r: coeficiente de correlação entre valores observados e estimados; CR: coeficiente da regressão da validação cruzada.

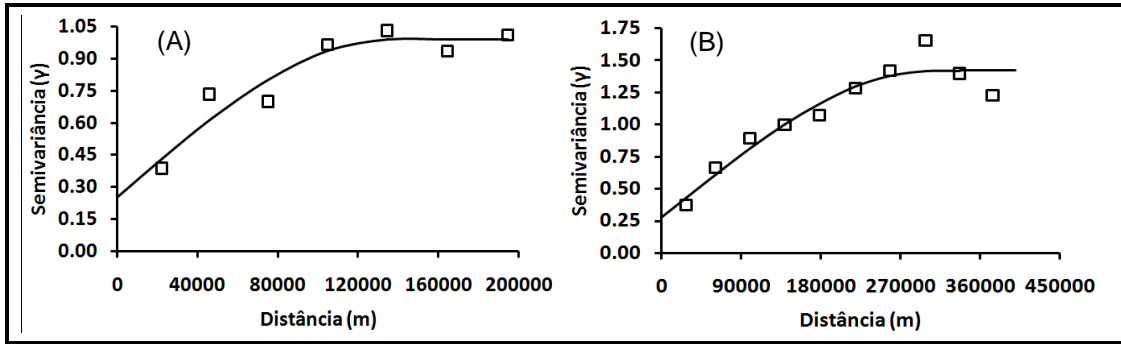
Por meio da análise espacial dos dados de R, foi possível ajustar o semivariograma esférico (Tabela 3) tanto para o período de 1999-2008 quanto de 2009-2011. Estes resultados corroboram com o resultado obtido por Silva et al. (2010) onde estes autores estudaram a variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas para o estado do ES com séries históricas de 33 a 72 anos.

Os valores de alcance dos modelos ajustados foram de 136.600,0 e 305.600,0 m (Tabela 3), para o período de 1999-2008 e de 2009-2011, respectivamente, no Estado do ES. Conforme Corá et al. (2004) para se obter resultados confiáveis por meio da interpolação pela krigagem ordinária, é necessário que se tenha valores de alcance mais elevados. Desta forma, os valores de alcance

obtidos indicam que os resultados ilustrados por meio dos mapas temáticos da R média anual, são confiáveis.

A R média anual durante o período de 2009-2011 apresentou maior continuidade espacial em função do maior valor de alcance e do menor valor de C<sub>0</sub> obtidos (Tabela 3) para esse fenômeno.

A R média anual apresentou forte grau de dependência espacial durante o período de 2009-2011 e moderado para o período de 1999-2008 (Tabela 3) conforme Cambardella et al. (1994). Segundo Azevedo (2004) os valores de R<sup>2</sup> obtidos de 89,8 e 91,2% para o período de 1999-2008 e de 2009-2011, respectivamente, indicam uma confiabilidade nos dados interpolados pela técnica de krigagem.

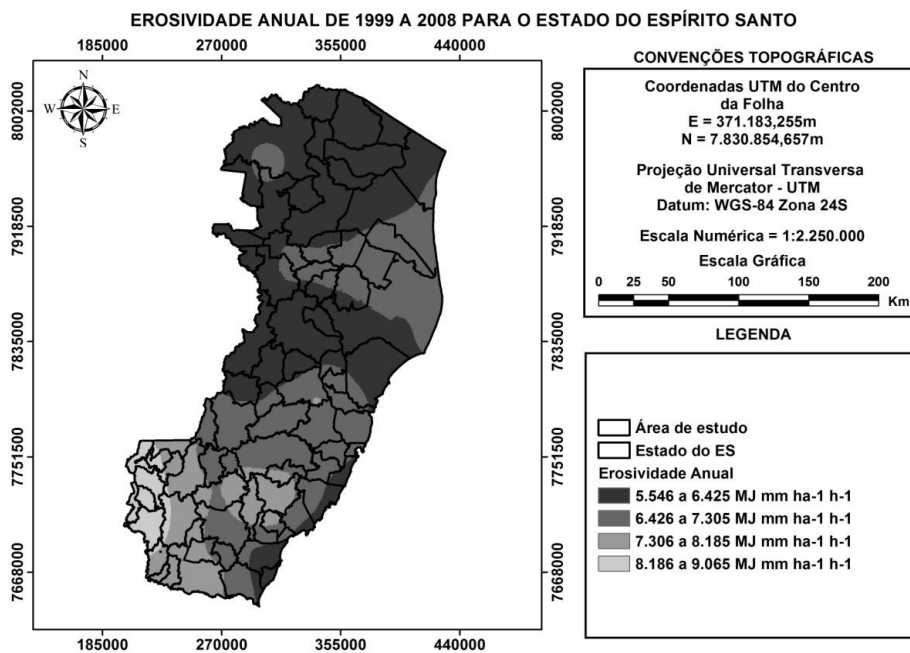


**Figura 2** – Semivariogramas escalonados pela variância dos dados para a erosividade média anual da chuva durante o período de 1999-2008 (A) e de 2009-2011 (B).

Os valores do coeficiente de correlação de 0,8 (Tabela 3) obtidos para a validação cruzada dos ajustes dos semivariogramas de 1999-2008 e de 2009-2011, são considerados como forte, segundo Andriotti (2010). Os coeficientes da regressão igual a 1,1 (Tabela 3) obtidos para o período de 1999-2008 e de 2009-2011, indicam que para cada unidade acrescida em X se obtêm 1,1 unidade em Y para a regressão da R durante o período de 1999-2008 e de 2009-2011.

O forte coeficiente de correlação e o valor do coeficiente da regressão próximo de um indicam que os modelos de semivariograma ajustados para a R durante o período de 1999-2008 e de 2009-2011 foram eficazes na estimativa de valores para os locais não amostrados.

A distribuição espacial da R anual para o período de 1999-2008 e de 2009-2011 podem ser observados nas Figuras 3 e 4, respectivamente.



**Figura 3** – Mapa da erosividade média anual da chuva para o Estado do ES durante o período de 1999-2008.

A análise da Figura 3 possibilita a identificação da região Centro-Sul com os maiores valores de R anual durante o período de 1999-2008. A região Norte do estado possui os menores valores de R anual.

Assim como no período de 1999-2008, no período de 2009-2011, a região Centro-Sul (Figura 4) do Estado do ES apresentou os maiores valores de R anual, enquanto a região Norte apresentou os menores valores.

Analisando-se as Figuras 3 e 4, observa-se que durante o período de 2009-2011 os valores de R anual atingiram valores mais extremos quanto aos limites inferiores e superiores obtidos para o período de 1999-2008.

Os valores de R média anual crescem da região Norte para a região Sul durante os dois períodos de estudo. Esse resultado é semelhante ao obtido por Silva et al. (2010) estudando a variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas para o Estado do ES.

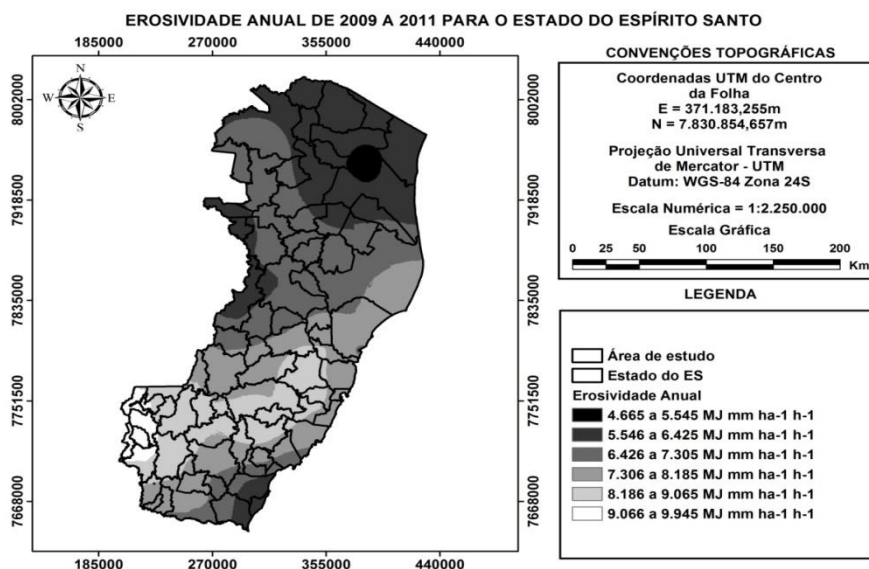


Figura 4 – Mapa da erosividade média anual da chuva para o Estado do ES durante o período de 2009-2011.

## CONCLUSÕES

A precipitação média anual no período de 1999 a 2008 é estatisticamente igual a do período de 2009 a 2011.

A erosividade média anual no Estado do ES foi maior no período de 2009 a 2011.

Os valores de erosividade média anual no período de 2009 a 2011 apresentaram limites inferiores e superiores mais extremos.

A região Centro-Sul do Estado do ES apresenta os maiores valores de erosividade média anual das chuvas, enquanto a região Norte apresenta os menores valores.

A erosividade média anual no Estado do ES cresce da região Norte para a região Sul.

## AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece à FAPES (Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo) pela concessão de bolsa de estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. ANA – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS. SNIRH. Disponível em: <<http://portalsnirh.ana.gov.br/Esta%C3%A7%C3%B5esdaANA/tabid/359/Default.aspx>>. Acesso em: 20 mar. 2012.

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. Rio Grande do Sul: UNISINOS, 2010.

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.

AZEVEDO, E. C. **Uso da geoestatística e recursos de geoprocessamento no diagnóstico da degradação de um solo argiloso sob pastagem no Estado de Mato Grosso**. 2004. 141f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2004.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4. ed. São Paulo: Ícone, 1999.

BERTONI, J.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: ABRH, 2004. Cap. 5, p. 177-241.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America. J.**, 58, p. 1501-1511, 1994.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 1013-1021, 2004.

ESPIRITO SANTO (Estado). Informações Gerais. 2007. Disponível em: <[http://www.es.gov.br/site/espírito\\_santo/infos\\_gerais.aspx#area](http://www.es.gov.br/site/espírito_santo/infos_gerais.aspx#area)>. Acesso em 20 jan. de 2012.

ESRI. ArcGis – ArcMap 10.0. Help online. Disponível em: <[http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Welcome\\_to\\_the\\_ArcGIS\\_Help\\_Library/00r90000001n000000/](http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Welcome_to_the_ArcGIS_Help_Library/00r90000001n000000/)>. Acesso em: 12 mar. 2011.

FOLEGATTI, M. V. **Estabilidade temporal e variabilidade espacial da umidade e do armazenamento de água em solo siltoso**. 1996. 84f. Tese

- (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.
- GEOBASES – Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo. 2008. Disponível em: <[http://www.geobases.es.gov.br/publico/AcessoNavegador.aspx?id=142&nome=NAVEGADOR\\_GEOBASES](http://www.geobases.es.gov.br/publico/AcessoNavegador.aspx?id=142&nome=NAVEGADOR_GEOBASES)>. Acesso em: 20 jan. 2012.
- HUDSON, N. W. **Soil Conservation**. Ithaca: Cornell University Press, 1973.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University, 1989. 561p.
- LAL, R.; ELLIOT, W. Erodibility and erosivity, In: LAL, R. **Soil erosion: research methods**. Ankeny: SoilandWaterConservationSociety, 1994.p. 180-208.
- MELLO, C. R.; CAROLINO SÁ, M. A.; CURTI, N.; MELLO, J. M.; VIOLA, M. R.; SILVA, A. M. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 4, p. 537-545, 2007.
- PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: UFV, 2006.
- SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, v.57, p.251-259, 2004.
- ROBERTSON, G. P. **GS+: Geostatistics for the environmental sciences – GS<sup>+</sup> user's guide**. Plainwell: Gamma Desing Software, 1998.
- 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.
- SAITO, N. S.; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, J. E. M.; SANTOS, A. R.; GARCIA, G. O. Uso da geotecnologia na estimativa da erosividade das chuvas e sua relação com o uso e ocupação do solo para o Espírito Santo. **Revista Verde**, v. 4, n. 2, p. 51-63, abr./jun., 2009.
- 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, 2003.
- SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; OLIVEIRA, R. B. Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas para o Estado do Espírito Santo, Brasil. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n.3, p. 312-323, 2010.
- SOUZA, V. **Estimativa de perdas de solo por erosão laminar na bacia do córrego Pinhalzinho II com suporte de geoprocessamento**. 2010. 75f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Maringá, Paraná, 2010.
- TRANGMAR, B. B. YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Adv. Agron.**, 38, p. 58-94, 1985.
- 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. 405-412, 1995.
- 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. 319-344.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: United States Department of Agriculture, 1978. 58p. Agriculture Handbook, 537.