

ESTIMATIVA DA EROSIVIDADE DA CHUVA PARA O ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

Nathália Suemi Saito¹, Roberto Avelino Cecílio¹, José Eduardo Macedo Pezzopane¹, Jovana Sater Faria¹

¹ Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)/ Departamento de Eng. Florestal, Alto Universitário, s/n. Centro – Alegre. CEP: 29500-000. E-mail: nssaito@gmail.com.

Resumo - Para minimizar os problemas causados pela erosão tem sido utilizado a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), sendo o fator Erosividade (R) o de maior importância. Este trabalho teve por objetivo estimar e mapear a Erosividade da chuva anual para o Estado do Espírito Santo utilizando dados pluviométricos. Foram utilizadas séries históricas de 88 estações climatológicas para a estimativa do coeficiente de Fournier (Rc). Através da modelo $R = 67.355 (Rc)^{0.85}$ estimou-se a erosividade média mensal, cujo somatório reflete na erosividade anual. A erosividade anual para o Estado do Espírito Santo variou de 4950 a 7650 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. A erosividade apresentou alta relação com efeitos orográficos na região Centro-Sul sendo o modelo proposto satisfatório para a sua estimativa auxiliando nos processos de planejamento do uso e conservação do solo.

Palavras-chave: Conservação do solo, Erosão hídrica, Perdas de solo, EUPS

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias

Introdução

A constante redução da produtividade dos solos, assoreamento de rios e barragens, danos a obras de engenharia e empobrecimento da população rural têm sido atribuída principalmente à erosão hídrica ocasionada pelo manejo inadequado do solo (MARTINS et al., 2003; MOREIRA et al., 2006a).

Para minimizar o problema ambiental causado pela erosão, o planejamento do uso racional tem sido feito pela estimação da erosão por meio da Equação Universal de Perdas de Solo – EUPS desenvolvida por Wischmeier & Smith (1958). Dentre os fatores da EUPS, o fator erosividade da chuva (R) expressa a capacidade da chuva, esperada em dada localidade, em causar erosão hídrica.

O fator R é calculado diretamente a partir de dados pluviográficos (WISCHMEIER & SMITH, 1958), gerando os índices médios de erosividade conhecidos como EI30 e KE>25, porém esses registros são escassos e muitas vezes de difícil acesso, o que torna sua obtenção um lento e trabalhoso (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999; MOREIRA et al., 2006; MELLO et al., 2007).

Autores como Fournier (1956), Lombardi Neto & Moldenhauer (1992) e Bertoni & Lombardi Neto (1999) a fim de minimizarem esses problemas, buscaram o estabelecimento de correlações entre o índice de erosividade (R) e o coeficiente de chuva (Rc), conhecido como coeficiente de Fournier (RENARD & FREIMUND, 1994), o qual é facilmente obtido a partir de dados pluviométricos e não requerem registros de intensidade de chuva.

Para facilitar a verificação da forma como a erosividade e outras variáveis se distribuem no espaço, técnicas de espacialização, disponíveis

nos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) têm sido muito utilizadas.

Existem diversos interpoladores para a realização da espacialização de dados pontuais, permitindo a geração de resultados bastante diferenciados dependendo da forma como são utilizados (REIS et al., 2005).

As técnicas de interpolação geoestatísticas estão sendo amplamente aplicadas devido ao fato de possuírem controle de parcela do erro aleatório produzido pela influência espacial mútua entre as amostras, conhecida como dependência espacial, na qual a estatística clássica não considera (VIEIRA ET AL., 2002; MELLO, 2004). A Krigagem (KG), constitui em um método de interpolação geoestatístico que atribui pesos para minimizar a variância das estimativas (REIS, et al., 2005) e é amplamente utilizada na espacialização de dados relativos ao clima.

Com base nestes aspectos, o presente trabalho teve por objetivo estimar e espacializar dados de erosividade média anual das chuvas para o estado do Espírito Santo com base em séries históricas de dados pluviométricos.

Metodologia

O trabalho foi realizado no laboratório de Geoprocessamento do Núcleo de Estudos e Difusão de Tecnologia em Floresta, Recursos Hídricos e Agricultura Sustentável (Nedtec) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

Os dados de precipitação foram obtidos no Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas (ANA), constituindo-se de séries históricas pluviométricas, com duração mínima de 25 anos, para 88 estações climatológicas do Estado do Espírito Santo (Figura 1).

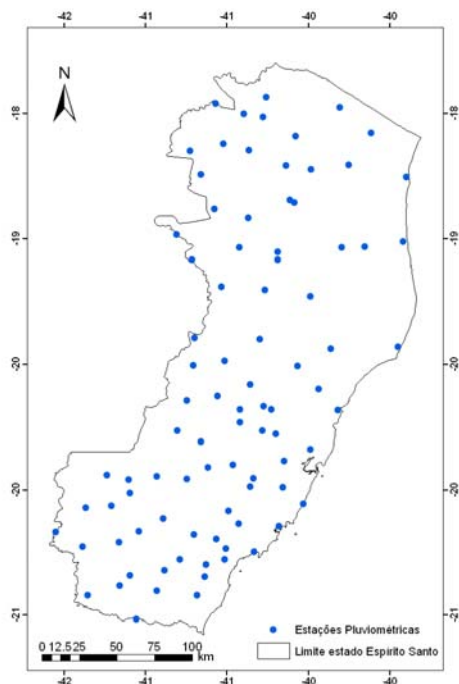


Figura 1 – Distribuição das estações pluviométricas utilizadas no estudo

Para a determinação dos índices médios mensais de erosividade utilizou-se a equação proposta por Lombardi Neto & Moldenhauer (1992) representado pela equação (1).

$$R_x = 67,355(Rc)^{0,85} \quad (1)$$

Este modelo associa o índice de erosividade (R) e o índice de chuva (Rc), e que, segundo Renard & Freimund (1994), é representado na equação (2).

$$Rc = p^2/P \quad (2)$$

em que: Rc é o coeficiente de chuva em mm; p é a precipitação média mensal em mm; e, P é a precipitação média anual em mm.

A determinação da erosividade média anual da precipitação de um local é obtido através do somatório dos valores médios mensais de erosividade (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999; BERTOL, 1993).

Para análises da erosividade média anual foram utilizadas técnicas de geoestatística para a espacialização da erosividade através do software geoestatístico GS+ e ArcGis 9.2.

Após ajuste do modelo teórico de semivariograma ao semivariograma experimental foram realizados estudos com base no Grau Dependência Espacial (GD) e validação cruzada para selecionar dentre os modelos exponencial e esférico aquele com melhores resultados. Quanto maior o valor do GD, maior é a dependência espacial e mais eficiente será o mapeamento da variável pela Krigagem.

Através da validação cruzada pode-se calcular o erro produzido pelo interpolador geoestatístico, através do erro quadrático médio (EMQ). Para avaliação do desempenho do modelo também se utilizaram os coeficientes de correlação (r); o índice de concordância (d), proposto por Willmott (1981); e, o índice de confiança (c), que é o produto entre “r” e “d”. O índice de concordância pode ser calculado pela equação (3).

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^J (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^J (|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (3)$$

em que: J é o número de observações; O é o valor observado experimentalmente; E é o valor estimado pelo modelo; e, \bar{O} é a média dos valores observados experimentalmente.

Foram calculados também o coeficiente de eficiência (E) definido por Nash & Sutcliffe, (1970) (Equação 4); o erro médio absoluto (EMA) indicado, por Legates e McCabe Jr. (1999) (Equação 5); o erro médio percentual (EMP) utilizado por Chong et al., (1982) (Equação 6); e, a raiz do erro médio quadrado (REMQ) representada pela equação (7).

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^J (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^J (O_i - \bar{O})^2} \quad (4)$$

$$EMA = \frac{\sum_{i=1}^J |O_i - E_i|}{J} \quad (5)$$

$$EMP = \frac{\sum_{i=1}^J \frac{|O_i - E_i|}{O_i}}{J} \cdot 100 \quad (6)$$

$$REMQ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^J (O_i - E_i)^2}{J}} \quad (7)$$

Resultados

No estudo realizado o modelo de Krigagem que apresentou melhores resultados foi o esférico o qual gerou um grau de Dependência espacial (GD) maior que 86%.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados obtidos para o Coeficiente de correlação (r), o Índice de concordância (d), o Índice de confiança (c), o Coeficiente de eficiência (E), o Erro absoluto médio (EMA), o Erro quadrático médio (EMQ), a raiz do erro quadrático médio (REMQ) e para o Erro médio percentual (EMP).

Na Figura 2 são apresentados os dados de erosividade das chuvas para o Estado do Espírito Santo.

Tabela 1 – Resultados das análises estatísticas obtidas entre os valores, de erosividade do Estado do Espírito Santo, observados e estimados pelo modelo.

Índices	Resultado
Coef. Correlação (r)	0.71
Índice de concordância(d)	0.79
Índice de confiança (c)	0.56
Coeficiente de eficiência (E)	0.50
Erro absoluto médio (EMA)	403.99
Erro quadrático médio (EMQ)	264695.58
Raiz do erro quadrático médio (REMQ)	514.49
Erro médio percentual (EMP)	6.70%

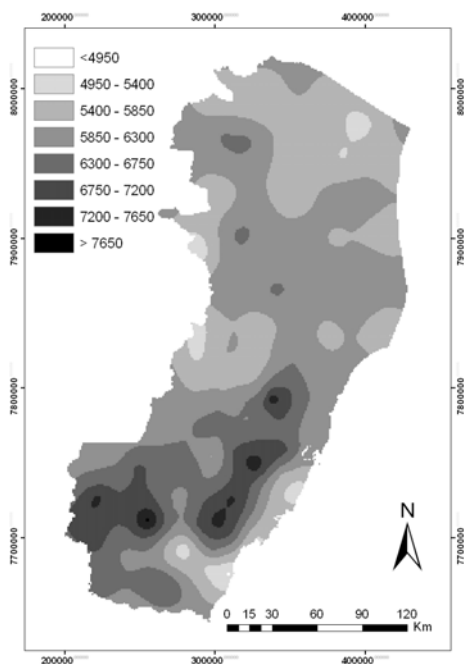


Figura 2 – Mapa da erosividade anual ($\text{MJ mm h}^{-1} \text{ano}^{-1}$) do Estado do Espírito Santo

Discussão

A análise dos dados pelo modelo esférico gerou uma Dependência espacial (GD) maior que 86% o que representa, de acordo com Mello (2004), uma forte dependência espacial, uma vez que isso ocorre quando a relação for maior que 75%.

Ainda não há um consenso a respeito de quais os métodos estatísticos mais apropriados para se analisar o desempenho dos modelos. Segundo Camargo & Sentelhas (1997), a precisão do modelo é dada pelo coeficiente de correlação (r) e

a exatidão está relacionada ao afastamento dos valores estimados em relação aos observados, dado pelo índice de concordância (d). Quanto mais próximo de 1 (um), melhores são os resultados de precisão e exatidão para o “r” e “d”, respectivamente (Tabela 2).

O coeficiente de eficiência (E) vem sendo utilizado por diversos pesquisadores na avaliação de modelos hidrológicos e na quantificação dos constituintes da água para estimação de sua qualidade (MORIASI, 2007). Valores de “E” maiores ou iguais a 0 (zero) indicam melhor performance do modelo. Sendo o presente trabalho com um coeficiente de aproximadamente 0.50 o que pode ser considerado de boa performance.

O erro médio percentual (Tabela 2) ocorrido no estudo encontra-se abaixo de 10%. Moreira et al. (2006b), encontraram valores similares de Erro médio percentual na espacialização da erosividade das chuvas para o Estado de São Paulo. Segundo os mesmos autores valores próximos a 10% são considerados baixos para a estimação da erosividade das chuvas. Quanto menor a porcentagem de erro maior a eficiência do método utilizado.

Os resultados da análise da erosividade das chuvas para o estado do Espírito Santo mostram que o valor médio anual foi de $6.104 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ variando de 4950 a $7650 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Figura 2). Cardoso et al. (2004) encontraram erosividade média $6.594,5 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para o município de Aracruz no período de 1999 a 2002. Sendo que o presente trabalho encontrou resultado semelhante de $6118 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para a mesma localidade.

Os dados de Aracruz foram calculados a partir de dados pluviométricos e de registros pluviográficos, o que os tornam mais confiáveis, indicando que o modelo utilizado no presente estudo alcançou de forma satisfatória resultados próximos à realidade.

Na Figura 2 pode ser analisado que os maiores valores de erosividade estão na região Centro-Sul do Estado, onde se encontram as maiores altitudes, propiciando um aumento na quantidade de chuva orográfica e maior velocidade de escoamento devido à elevada inclinação do terreno. Na região Norte do Estado e em todo o litoral predominam-se as baixadas e a correlação com as menores taxas de erosividade.

Conclusão

O Estado do Espírito Santo apresenta valores médios-altos de erosividade variando de 4950 a $7650 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com maiores valores na região Centro-Sul enquanto que a região Norte e em todo o litoral apresentam os menores valores.

Referências

- BERTOL, I. Índice de erosividade (EI_{30}) para Lages (SC) – 1ª aproximação. **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília, v.28, n.4, p.515-521, 1993.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4 ed. São Paulo: Ícone Editora, 1999. 355p.
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.1, p.89-97, 1997.
- CARDOSO, D.P.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SÁFADI, T.; FONSECA, S.; FERREIRA, M.M.; MARTINS, S.G.; DE SÁ, J.J.G.; MARQUES, M. Erosão hídrica avaliada pela alteração na superfície do solo em sistemas florestais. **Scientia forestalis**, n.66, p.25-37, 2004.
- CHONG, S.K., GREEN, R.E., AHUJA, L.R. Infiltration prediction based on estimation of Green-Ampt wetting front pressure head from measurements of soil water redistribution. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, n.46, p.235-239, 1982.
- FOURNIER, F. The effect of climatic factors on soil erosion estimates of solids transported in suspension in runoff. [S.l.]: **Association Hydrologic Int. Public**, v.38, 1956.
- LEGATES, D.R.; MCCABE JR., G.J. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. **Water Resources Research**, v.35, n.1, p.233-241, 1999.
- LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em campinas, SP. **Bragantia**, Campinas, v.51, n.2, p.189-196, 1992.
- MARTINS, S.G.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; FONSECA, S.; MARQUES, J.J.G.S.M. Seção I: Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (ES). **Rev. Bras. de Ciên. do Solo**. V.27, p.395-403, 2003.
- MELLO, J.M. Geoestatística aplicada ao inventário florestal. 2004. 110f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, São Paulo, 2004.
- MELLO, C.R.; SÁ, M.A.C.; CURI, N.; MELLO, J.M. de; VIOLA, M.R.; SILVA, A.M. Erosividade mensal e anual da chuva no estado de Minas Gerais. **Pesq. Agrop. Bras.** v.42, n.4, p.537-545, 2007.
- MOREIRA, M.C.; CECÍLIO, R.A.; PINTO, F.A.C.; LOMBARDI NETO, F.; PRUSKI, F.F. Programa computacional para estimativa da erosividade da chuva no estado de São Paulo utilizando redes neurais. **Engenharia na Agricultura**. Viçosa, MG v.14, n.2, p.88-92, 2006a.
- MOREIRA, M.C.; CECÍLIO, R.A.; PINTO, F.A.C.; PRUSKI, F.F. Desenvolvimento e análise de uma rede neural artificial para estimativa da erosividade da chuva para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v.30, n.6, 2006b.
- MORIASI, D.N., ARNOLD, J.G., VAN LIEW, M.W., BINGNER, R.L., HARMEL, R.D., VEITH, T.L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Transactions of American Society of Agricultural and Biological Engineers**. v.50, n.3, p.885-900, 2007.
- NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J.V. River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. **Journal of Hydrology**, v.10, n.3, p.282-290, 1970.
- REIS, M.H.; GRIEBELER, N.P.; SARMENTO, P.H.L.; DE OLIVEIRA, L.F.C.; OLIVEIRA, J.M. Espacialização de dados de precipitação e avaliação de interpoladores para projetos de drenagem agrícola no estado de Goiás e Distrito Federal. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, **Anais XII**, INPE, p. 229-236, 2005.
- RENARD, K.G.; FREIMUND, J.R. Using monthly precipitation data to estimate the R- factor in the revised USLE. **J. of Hydrol.** n.174, p.439-444, 1994.
- VIEIRA, S.R.; MILLETE, J.; TOPP, G.C.; REYNOLD, W.D. Hand-book for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ VENEGAS, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociendade Brasileira de Ciência do Solo, v.2, p.1-46, 2002.
- WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v.2, p.184-194, 1981.
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transaction of the American Geophysical Union**, v.39, p.285-291, 1958.