

Modelagem espaço temporal da perda de solo por erosão em cenários de cultivo de cana-de-açúcar

Gener Tadeu Pereira¹

Patrícia Gabarra Mendonça²

Marcílio Vieira Martins Filho³

João Fernandes da Silva Júnior¹

Daniel De Bortoli Teixeira³

Ismênia Ribeiro de Oliveira⁴

José Marques Júnior³

1 Introdução

A erosão dos solos brasileiros apresenta grande variabilidade espacial e temporal, devida à diversidade climática, influenciando no potencial erosivo das chuvas, e à variabilidade dos solos, que implica na sua suscetibilidade à erosão. Dentro deste contexto, a geoestatística é uma ferramenta importante no estudo da variabilidade espacial dos solos.

A krigagem indicatriz (KI) é um método geoestatístico o qual fornece estimativas de valores em regiões não amostradas da área em estudo. Esta é recomendada quando objetiva-se avaliar a incerteza dos locais não amostrados, para isto requer uma prévia codificação de cada observação Z em uma série de valores de K indicando se o limite Z_k é excedido (Saitoy & Goovaerts, 2002).

Pelo exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar a incerteza espacial e temporal da perda de solo em dois cenários de manejo do cultivo de cana-de-açúcar, cana crua e cana queimada, em um Argissolo, como práticas de manejo conservacionista, utilizando-se a técnica da krigagem indicatriz.

¹ Departamento de Ciências Exatas – FCAV/Unesp. e-mail: genertp@fcav.unesp.br ; joaojrslva@yahoo.com.br

² UNIFRAN. e-mail: gabarra4@gmail.com .

³ Departamento de Solos e Adubos - FCAV/Unesp. e-mail: mfilho@fcav.unesp.br; daniel.dbt@hotmail.com ; marques@fcav.unesp.br ;

⁴ Centro de Ciências Agrárias e Ambientais – UFMA/Maranhão - MA, ismenia@ufma.br

2 Material e métodos

A área experimental localizada no município de Tabapuã (SP), 21° 05' S e 49° 01' de O, apresentando uma área de 200 ha com um histórico de cultivo intensivo de cana-de-açúcar por mais de 20 anos consecutivos.

O solo foi classificado como Argissolo vermelho-amarelo Eutrófico textura média/argilosa (SANTOS, 2013). O mapa de declividade foi obtido a partir do modelo digital de elevação, utilizando os intervalos de declividade, conforme classificado em Lepsch (1991) Foi utilizado um banco de dados de atributos físicos e químicos da camada superficial do solo (0,00 a 0,20 m), estabelecido por Sanchez et al. (2009). Foi utilizada uma malha, com intervalos regulares de 50 m, totalizando 626 pontos georreferenciados.

A erosão foi estimada como proposto por Wischmeier & Smith (1978), por meio da equação universal de perda de solo (EUPS) (equação 1):

$$A = R K L S C P \quad (1)$$

em que, A - perda de solo por unidade de área, t ha⁻¹ ano⁻¹; R- fator de erosividade da chuva, MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹; K - fator de erodibilidade do solo, t h MJ⁻¹ mm⁻¹; LS - fator para o efeito combinado do declive e do comprimento da rampa (adimensional); C - fator cobertura e manejo do solo (adimensional) e P - fator práticas conservacionistas (adimensional). Para este trabalho foram adotados os resultados dos 1º, 2º, 3º, 4º e 5º cortes de cana crua e queimada, respectivamente.

Inicialmente a variabilidade da perda do solo por erosão foi avaliada pela estatística descritiva, calculando-se média, mediana, variância e coeficiente de variação, posteriormente foi realizada a dicotomização dos dados (equação 2):

$$I(x_i; z_k) = \begin{cases} 1 & \text{se } Z(x_i) \geq Z_k \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2)$$

O valor de corte Z_k utilizado neste trabalho foi de 6,67 t ha⁻¹ ano⁻¹. Tal valor de corte estabelecido foi baseado na tolerância de perda de solo, para um Argissolo, conforme método proposto por Oliveira et al. (2008).

Os variogramas indicadores foram estimados pela equação 3:

$$\hat{\gamma}_I(x_i, z_k) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [I(x_i; z_k) - I(x_i + h; z_k)]^2 \quad (3)$$

O modelo matemático foi ajustado ao variograma experimental e os coeficientes de um modelo teórico permissível (efeito pepita, C_0 ; patamar, C_0+C_I ; e alcance, a) foram estimados. Para seleção dos modelos dos variogramas indicadores, foram considerados os

valores de SQR (soma de quadrados do resíduo) e o R^2 (coeficiente de determinação). O grau de dependência espacial foi classificado de acordo com (Cambardella et al., 1994).

A probabilidade de que o valor de um atributo Z não exceda o valor de corte Z_k em um local, não amostrado, x , é então estimada com uma combinação linear dos dados indicadores vizinhos (equação 4):

$$Prob\{Z(x) \leq Z_k | (n)\} = \sum_{i=1}^{N(x_0)} \lambda_i(x_0; z_k) I(x_i; z_k) \quad (4)$$

em que, os pesos $\lambda_i(x_i; z_k)$ obtidos pela solução de um sistema de equações lineares com parâmetros derivados do modelo ajustado ao variograma indicador definido pela equação 3.

3 Resultados e discussões

As perdas médias de solo, do 1º ao 5º cortes foram superiores ao limite tolerável de 6,67 t ha⁻¹ ano⁻¹, no cenário de cana queimada. Na cana crua, a partir do 2º corte as perdas de solo médias foram inferiores à este limite. A perda de solo média foi 9,64 t ha⁻¹ ano⁻¹ para o 1º corte, nos dois cenários, justificado pelas condições do plantio até o início do primeiro corte terem sido exatamente as mesmas. No cenário de CC do 2º ao 5º cortes, acompanhando as seguintes perdas de solo: 6,69; 5,33; 4,38 e 3,67 t ha⁻¹ ano⁻¹ e na CQ não, de acordo com as perdas de solo, na mesma sequência de cortes: 8,33; 9,85; 8,25 e 8,14 t ha⁻¹ ano⁻¹. O coeficiente de variação (CV) de 39,13% da perda de solo indica alta variabilidade.

Quadro 1. Modelos e parâmetros ajustados aos variogramas indicadores

Cortes	Modelo	C_0	C_0+C_1	$C_0/(C_0+C_1)$	A	R^2	SQR
Cana queimada							
2º	Esf.	0,11	0,23	50	351,00	0,98	1,70E-04
3º	Esf.	0,08	0,16	50	310,85	0,93	3,20E-04
4º	Esf.	0,12	0,23	51	358,00	0,98	1,41E-04
5º	Esf.	0,12	0,23	52	363,36	0,99	1,28E-04
Ciclo das produções	Esf.	0,12	0,22	53	305,69	0,97	6,75E-04
Cana crua							
2º	Esf.	0,15	0,25	60	406,42	0,98	1,55E-04
3º	Exp.	0,08	0,15	55	342,16	0,97	1,44E-04
4º	Exp.	0,05	0,07	69	362,73	0,98	2,82E-05
5º	EPP	0,02	0,02	---	---	---	---
Ciclo das produções	EPP	0,02	0,02	---	---	---	---

C_0 =efeito pepita; C_0+C_1 =patamar; $C_0/(C_0+C_1)$ =grau de dependência espacial (%); a=alcance (m); R^2 =coeficiente de determinação; SQR=soma do quadrado do resíduo; Esf.=modelo ajustado esférico; Exp.=modelo ajustado exponencial e EPP=efeito pepita puro.

Para o cenário de CQ, apenas modelos esféricos foram obtidos, enquanto para CC os modelos variaram de esféricos, exponenciais a completa ausência de dependência espacial

(Quadro 1). O grau de dependência espacial para as perdas de solo, nos dois cenários de manejo e para o ciclo produtivo da cana-de-açúcar nos cinco cortes, foi classificado como moderado, segundo Cambardella et al. (1994).

Os variogramas ajustados apresentam valores de alcance médio, de 343,17 m para CQ e de 468,75 m para CC. Esta diferença pode ser atribuída à presença da palhada deixada sobre a superfície do solo provocando uma maior continuidade espacial da perda de solo.

Quadro 3. Percentagem das áreas com probabilidades das perdas de solo ultrapassarem o limite de tolerância ($6,67 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$).

% probabilidade	% área											
	1º Corte		2º Corte		3º Corte		4º Corte		5º Corte		Ciclo das produções	
	CC	CQ	CC	CQ	CC	CQ	CC	CQ	CC	CQ	CC	CQ
0-0,2	1,97	21,2	8,38	60,66	1,67	85,59	8,68	100,00	8,74	100,00	9,14	
0,2-0,4	6,39	23,08	7,85	19,62	5,96	10,66	8,23	0,00	8,66	0,00	8,68	
0,4-0,6	7,23	21,87	13,16	11,26	7,20	3,61	13,54	0,00	14,80	0,00	14,50	
0,6-0,8	16,74	18,61	25,45	8,45	16,54	0,15	25,91	0,00	26,82	0,00	26,18	
0,8-1,0	67,67	15,24	45,17	0,01	68,63	0,00	43,64	0,00	40,98	0,00	41,50	

CC=cana crua; CQ=cana queimada.

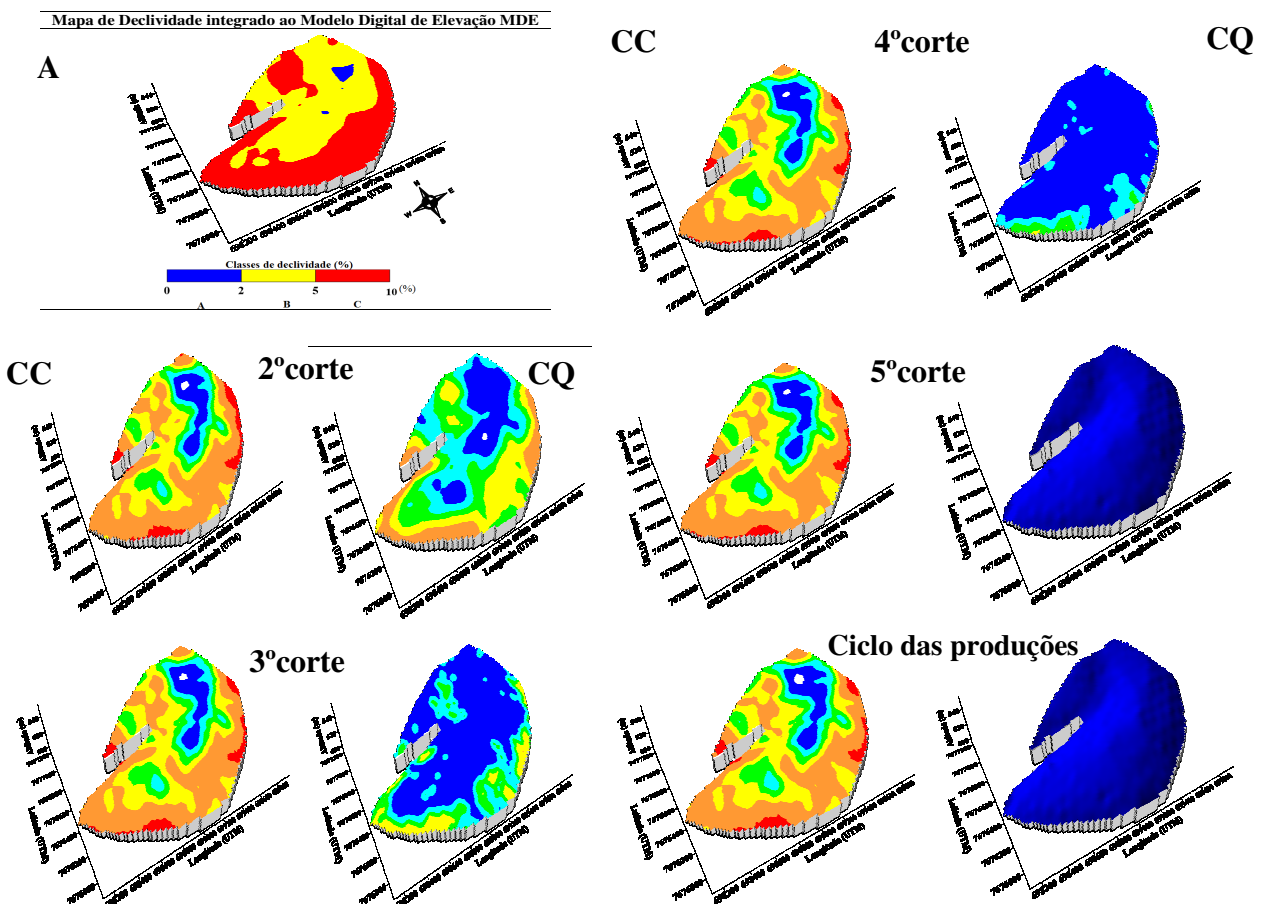


Figura 1. Mapa de declividade integrado ao Modelo Digital de Elevação (MDE) (A), Mapas das probabilidades das perdas de solo; CC=cana crua; CQ=cana queimada.

As áreas com probabilidades acima de 80% dos valores de perda de solo por erosão serem maiores que o limite aceitável (Figura 1) foram delimitadas pelas cores laranja e vermelho dos mapas, localizados nas bordas dos mapas, coincidindo com a classe de declividade. A partir do terceiro corte, no cenário de cana crua este percentual passou a ser praticamente nulo.

4 Conclusões

A técnica da Krigagem indicatriz possibilitou a avaliação das incertezas espacial e temporal da perda de solo por erosão nos dois cenários de cultivo de cana-de-açúcar. No cenário de cana queimada, áreas com maiores declividades apresentam menores incertezas de apresentarem valores de perda de solo por erosão acima do limite aceitável.

5 Referências

- [1] LEPSCH, I. F. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo. 1991. 175 p.
- [2] OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P. C. O.; PENATTI, C. P.; PICCOLO, M. C. Decomposição e liberação de nutriente da palhada de cana-de-açúcar em campo. Notas científicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.2359-2362, 1999.
- [3] SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353p.
- [4] SANCHEZ, R. B.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T.; MARTINS FILHO, M. V. Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. **Bragantia**, v.68, p.1.095-1.103, 2009.
- [5] SAITOY, H.; GOOVAERTS, P. Accounting for measurement error in uncertainty modeling and decision-making using indicator kriging and p feld simulation: application to a dioxin contaminated site. **Environmetrics**. V.13, p. 555-567, 2002.
- [6] WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning**. Washington, Department of Agriculture, 1978. 58p.