



ESTABELECIMENTO DE ZONAS DE MANEJO A PARTIR DA VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DO MILHO PARA SILAGEM

K.E.L. Santos¹, G.M. Bettiol², A.C.C. Bernardi²

(1) Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, Rodovia Washington Luís, Km 235, SP 310, São Carlos, SP, 13565-905, karol.eduarda21@gmail.com

(2) Embrapa Pecuária Sudeste, Rodovia Washington Luiz, km 234, 13560-970, São Carlos, SP, giovana.bettiol@embrapa.br, alberto.bernardi@embrapa.br

Resumo: O conhecimento da variabilidade espacial e temporal da produtividade das culturas é útil para subsidiar as decisões sobre o manejo do solo e da cultura. O objetivo deste trabalho foi mapear a variabilidade espacial e temporal da produção de matéria seca do milho para silagem. O estudo foi conduzido em área de 18 ha de produção de silagem de milho em São Carlos (SP). A produtividade do talhão foi avaliada na época da colheita do milho em 40 pontos georreferenciados em três safras agrícolas. A variabilidade espacial da produtividade em três safras foi modelada utilizando semivariogramas. Os mapas de produtividade foram obtidos por krigagem com o software Vesper. Os resultados indicaram que a geoestatística e uso de SIG foram ferramentas decisivas para mostrar variabilidade espacial e temporal da produtividade do milho para silagem e apoiar estratégias de manejo agrônomicas.

Palavras-chave: geoestatística, Vesper, SPRING, mapa de produtividade, zonas de manejo.

SETTING OF MANAGEMENT ZONES FROM THE SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF SILAGE CORN DRY MATTER YIELD

Abstract: Knowledge of the spatial and temporal variability of crop yield is useful to support decisions regarding the management of soil and crop. The aim of this study was to map the spatial and temporal variability of dry matter production of corn for silage. The study was conducted in a silage corn production of 18-ha-area in Sao Carlos, SP, Brazil. The site was evaluated for dry matter production at the harvest time in 40 georefered points during three crop seasons. Spatial variability of three-year yield was modeled using semivariograms. Yield maps were obtained by kriging with Vesper and the management zones were mapped by the yield average and by SPRING software. Results showed that the geostatistics and GIS use were decisive tools to show silage corn spatial and temporal variability and support agronomic management strategies.

Keywords: geostatistic, Vesper, SPRING, yield maps, management zones.

1. Introdução

A Agricultura de Precisão (AP) é uma postura gerencial que leva em conta a variabilidade espacial da propriedade para maximizar o retorno econômico e minimizar riscos de dano ao meio ambiente (INAMASU et al., 2011). A AP pode ainda ser definida como o uso de práticas agrícolas com base nas tecnologias de informação para o tratamento da variabilidade espacial. Esta análise normalmente é realizada por geoestatística e interpolação por krigagem, gerando vários mapas ou superfícies.

A modelagem via SIG possibilita a fusão dessas camadas de informações ampliando a capacidade de interpretação dos dados e auxiliando na tomada de decisão para a gestão do sistema de produção (Filipini-alba, 2014). Com isso, o estabelecimento de zonas de manejo possibilita o melhor planejamento e apreciação do sistema, uma vez que as mesmas são uma estratégia de simplificação dos dados. Uma das formas para a definição dessas zonas de manejo pode ser a partir dos mapas de produtividade. De acordo com Molin (2002), estes mapas são a informação mais completa para visualizar a variabilidade espacial das lavouras em relação aos fatores de produção.

Estes mapas podem ser utilizados na investigação das causas da variabilidade, e podem subsidiar as decisões sobre o manejo do solo e da cultura (MOLIN, 2002; MILANI et al., 2006; AMADO et al., 2007). No entanto, para alcançar este objetivo, é necessário o acompanhamento e análise dos mapas de produtividade, considerando um histórico de várias safras e de diferentes culturas para que sejam observadas as variabilidades espacial e temporal por pelo menos três safras (BLACKMORE et al., 2003). O objetivo deste trabalho foi a delimitação de zonas de manejo em ambiente SIG a partir do mapeamento da variabilidade espacial e temporal da produção de matéria seca do milho para silagem.

2. Material e Métodos

O estudo foi conduzido na Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP (21°57'15 S e 47°50'53,5 W; 856 m acima do nível do mar), em área de solo Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média. O clima da região é tropical de altitude, com 1502 mm de precipitação pluvial anual e médias de temperatura mínima e de temperatura máxima de 16,3°C (julho) e de 23°C (fevereiro), respectivamente.

O milho (*Zea mays* L.) foi semeado em dezembro de 2010, 2011 e 2013 em sistema de plantio direto, sobre palhada da vegetação espontânea germinada durante a entressafra. Utilizou-se a população de 5 pl m⁻¹ e o espaçamento entre linhas de 0,8 m. A irrigação por aspersão foi realizada através de sistema autopropulsor de movimentação circular do tipo pivô central e o manejo da água (frequência e lâmina de irrigação) foi estabelecida com base no balanço entre a demanda climática (evapotranspiração) e as condições edáficas (capacidade de armazenamento de água disponível) do local.

A produtividade de milho para silagem foi avaliada entre abril e maio de 2011, 2012 e 2014 quando a cultura atingiu o ponto de colheita correspondente à fase de grão farináceo (matéria seca entre 28% e 35%). A estimativa da produção de biomassa fresca foi realizada manualmente em grade regular de 40 pontos georreferenciados (Figura 1), nestes pontos foram amostradas três subamostras de 4 m de comprimento em duas linhas para compor uma amostra composta. Amostras do material colhido foram levadas à estufa com circulação forçada de ar a 65°C, até peso constante, para determinação da matéria seca.

Os modelos de semivariograma foram ajustados e os mapas estimados pelo método da krigagem utilizando o programa VESPER (Minasny et al., 2005). Os três mapas no formato raster foram convertidos para formato vetorial no software ArcGIS 10.1 (ESRI, 2009). No ambiente SPRING (Câmara et al, 1996) estes foram convertidos para formato matricial. Para realizar os cruzamentos dos mapas e definição das zonas de manejo, baseadas nos mapas de produtividade, utilizou-se a Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico - LEGAL. Como resultado, foram definidas as zonas de manejo.

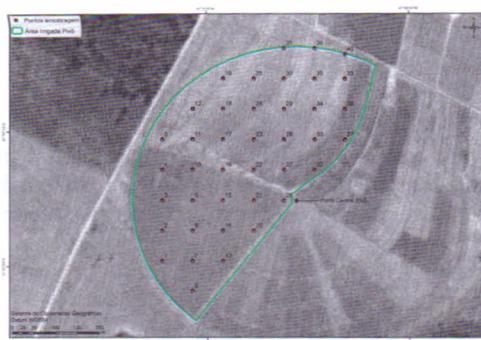


Figura 1. Localização da área de produção milho para silagem da Embrapa Pecuária Sudeste e pontos de amostragem para avaliação da produtividade.

3. Resultados e Discussão

Os dados de produção nos três anos avaliados e a média dos dados apresentam valores de assimetria e curtose compatíveis com a normalidade (Tabela 1). Valores teóricos de assimetria e curtose entre 0 e 3, indicam a distribuição normal dos dados (Carvalho et al., 2002). Essa determinação é importante uma vez que a krigagem apresenta melhores resultados quando a normalidade dos dados é satisfeita (Carvalho et al., 2002). Somente a produtividade média apresentou o coeficiente de variação baixo (<10%), de acordo com a classificação sugerida por Pimentel-Gomes (1984). As demais produtividades apresentaram coeficientes de variação médios (entre 10% e 20%).

Tabela 1. Parâmetros estatísticos das produções de uma área cultivada com milho para silagem em São Carlos, SP.

Parâmetros estatísticos	Prod. 2011	Prod. 2012	Prod. 2014	Prod. média
	kg ha ⁻¹			
Média	14137	13897	13952	13995
Desvio padrão	2401	1929	1626	1327
Mínimo	9810	9419	11511	11627
Máximo	20104	18543	18231	16705
CV	16,99	13,88	11,66	9,48
Curtose	0,010	0,121	0,587	-0,874
Assimetria	0,340	0,069	0,909	-0,072
N	40	40	40	40

Os semivariogramas experimentais para as produtividades foram calculados, e todos os modelos ajustados foram delimitados para cada ano de amostragem (Tabela 2). O modelo exponencial foi o que melhor se ajustou aos variogramas experimentais, com exceção para as produtividades no primeiro ano que ajustou-se ao modelo esférico. De acordo com os critérios de Cambardella et al. (1994), as dependências espaciais das produtividades no três anos podem ser consideradas fracas com efeito pepita acima de 76% do patamar. Já a média das produtividades apresentou dependência forte (efeito pepita $\leq 25\%$ do patamar).

As variações da produção da cultura do milho para silagem nas três safras avaliadas são apresentadas na Figura 2 (A, B e C). Os mapas indicam que existem semelhanças ao longo do período avaliado. O mapa de rendimento médio (Figura 2D) mostra a tendência espacial para o período e mostra que, as faixas de rendimento para este lavoura em particular podem alcançar aproximadamente 39%, com as zonas de mais alta produção localizadas na região norte e nordeste do mapa, enquanto que na região centro-oeste estão localizadas as zonas de mais baixa produtividade. Estes resultados confirmam que, mesmo em lavouras manejadas uniformemente, há diferenças consideráveis nos padrões espaciais e magnitudes de variação de rendimento entre as regiões e os ciclos de crescimento.

As informações obtidas por meio do mapeamento da produtividade podem ser utilizadas para uma série de análises e interferências na área. Através da definição e espacialização de zonas de manejo para esta área de produção de milho (Figura 2E), pode-se identificar as áreas em que a produtividade do sistema foi similar no período determinado e possibilitar a associação com os aspectos físicos do solo. A coleção de mapas de produtividade possibilitou a identificação da variabilidade espacial, temporal e em termos quantitativos em consonância com o que já havida sido demonstrado por Molin (2002), Milani et al. (2006) e Amado et al. (2007). Assim, um dos usos deste tipo de informação, por exemplo, seria no direcionamento da amostragem de solo, possibilitando a redução do número de pontos de amostragem, pois esta poderia ser dirigida para os as quatro classes estabelecidas.

Tabela 2. Estimativas dos parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados para as produções de uma área cultivada com milho para silagem em São Carlos, SP.

Variável	$C_0^{\#}$	$C_1^{\#}$	A [#]	Modelo de Ajuste	Dependência $100[C_0 / (C_0 + C_1)^{-1}]$	Correspondência
Prod. 2011	2593802	3061068	208,2	Esférico	84,7	Fraca
Prod. 2012	2509430	1411262	98,75	Exponencial	177,8	Fraca
Prod. 2014	1419596	1362045	58,31	Exponencial	104,2	Fraca
Prod. média	205370	2107606	144,8	Exponencial	9,74	Forte

[#] C_0 = efeito pepita; C_1 = variância estrutural; a = alcance.

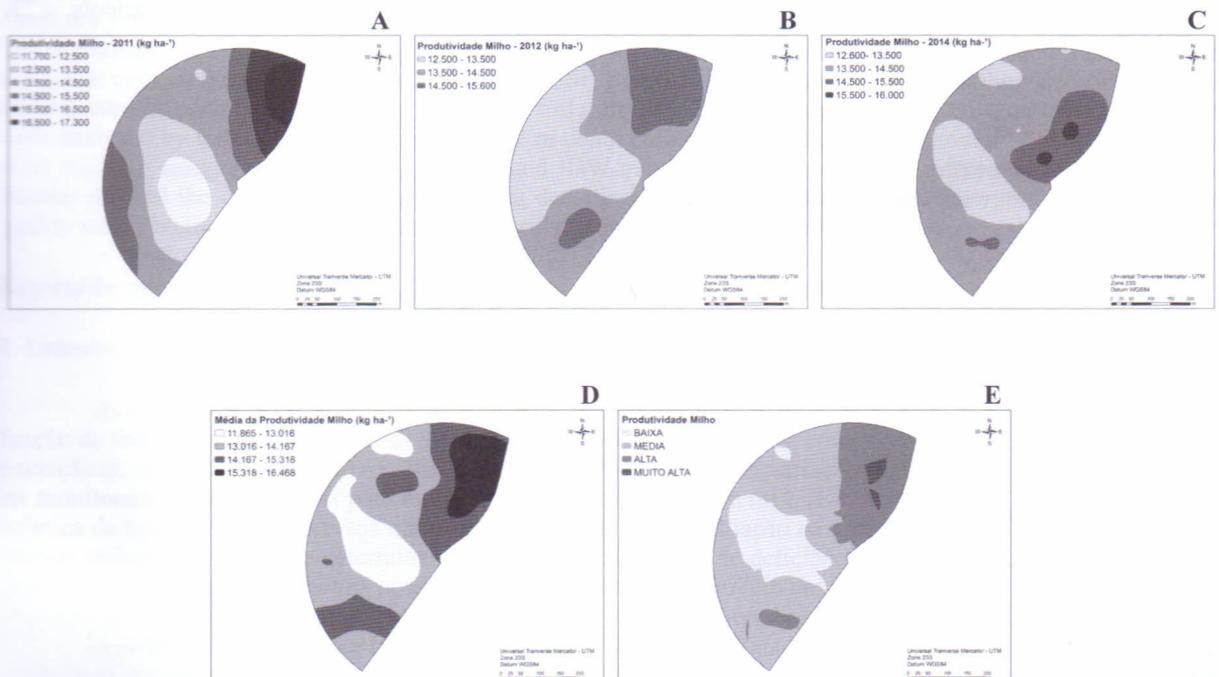


Figura 2. Mapas espacializados da produção de MS ($t\ ha^{-1}$) do milho para silagem nas safras de 2011 (A), 2012 (B), 2014 (C), média das produtividades dos três anos (D) e das zonas de manejo (E).

4. Conclusões

Os resultados reforçam que as ferramentas de AP, entre elas a análise em ambiente SIG, podem contribuir para a gestão mais adequada da propriedade. A metodologia adotada mostrou-se eficaz para definição e espacialização de zonas de manejo em Agricultura de Precisão a partir de variáveis que se correlacionam com a produtividade do solo, indicando espacialmente as áreas que necessitam de maior atenção. O próximo passo para o aprimoramento do estudo seria a automatização da rotina realizada em ambiente SPRING a fim de facilitar o trabalho.

Referências

- AMADO, T.J.C.; PONTELLI, C.B.; SANTI, A.L.; VIANA, J.H.M.; SULZBACH, L.A.S. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, p.1101-1110, 2007.
- BLACKMORE, B.S.; GODWIN, R.J.; FOUNTAS, S. The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. *Biosystems Engineering*, v.84, p.455-466, 2003.
- CÂMARA, S.G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. Spring: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. *Computers & Graphics*, v.20, p.395-403, 1996.
- 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 Journal*, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.
- CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M. & VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, p.1151-1159, 2002.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute) Inc., ArcGIS® 10.1: getting started with ArcGIS. Redlands, ESRI. 2009.
- FILIPPINI ALBA, J. M. Modelagem SIG em agricultura de precisão: conceitos, revisão e aplicações. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). *Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar*. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2014. p. 84-95.
- INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C.; VAZ, C. M. P.; NAIME, J. M.; QUEIROS, L. R.; RESENDE, A. V.; VILELA, M. de F.; JORGE, L. A. C.; BASSOI, L. H.; PEREZ, N. B.; FRAGALLE, E. P. Agricultura de precisão para a sustentabilidade de sistemas produtivos do agronegócio brasileiro. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). *Agricultura de precisão: um novo olhar*. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 14-26.
- MILANI, L.; SOUZA, E.G. de; URIBE-OPAZO, M.A.; GABRIEL FILHO, A.; JOHANN, J.A.; PEREIRA, J.O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.28, p.591-598, 2006.
- MOLIN, J.P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. *Engenharia Agrícola*, v.22, p.83-92, 2002.