

VARIABILIDADE ESPACIAL APLICADA A PESQUISA E AO DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO SUSTENTÁVEIS.

SPATIAL VARIABILITY APPLIED TO RESEARCH AND DEVELOPMENT OF SUSTAINABLE
PRODUCTION SYSTEMS

FRANCHINI, J.C.¹; DEBIASI, H.¹; DIAS, W.P.¹.

¹ Embrapa Soja, Londrina, PR; e-mail: franchin@cnpso.embrapa.br

A variabilidade espacial (VE) de parâmetros químicos, físicos e biológicos do solo é a regra em sistemas de produção. O grau da VE é determinado pelas características dos atributos a serem avaliados e da variabilidade natural do solo dentro das propriedades rurais. A variabilidade dos atributos avaliados também pode ser aumentada ou diminuída de acordo com o tipo de manejo do solo e das culturas aplicado às unidades de produção ou talhões. Desta forma, a VE natural ou induzida por práticas e processos de produção pode ser utilizada para o melhor entendimento do funcionamento e das limitações dos sistemas de produção exclusivos ou integrados. No entanto, o grande desafio para o uso da VE como ferramenta de gerenciamento da propriedade visando maximizar a produção e a sustentabilidade econômica, ambiental e social relaciona-se à intensidade de amostragem utilizada para o diagnóstico da área. Atualmente, o mais comum é o uso de grades de amostragem padronizadas, que muitas vezes podem ser insuficientes para a adequada caracterização da área. Associado a isso, os dados não recebem o adequado tratamento geoestatístico, sendo normalmente usados ajustes automáticos disponíveis nos programas de gerenciamento de dados. Deste modo, os mapas gerados muitas vezes apresentam distorções associadas ao tamanho da grade amostral e ao método de interpolação empregado. Assim, o uso da VE, nos moldes atuais, não tem sido efetivo para identificar as causas da variabilidade nos rendimentos das áreas de produção.

A exemplo de outras instituições de ensino e pesquisa, a Embrapa Soja tem utilizado a VE como ferramenta para a pesquisa e o desenvolvimento de sistemas de produção sustentáveis, principalmente quando os trabalhos são realizados em grandes áreas. Neste contexto, a avaliação da VE tem sido importante para identificar as maiores limitações das áreas de estudo, estabelecer relações entre o desenvolvimento das plantas e atributos de solo e determinar a intensidade de amostragem mais adequada para cada problema focalizado. Assim, o objetivo desta palestra é apresentar os principais resultados de pesquisa obtidos pela Embrapa Soja no que se refere à aplicação da VE na pesquisa e desenvolvimento de sistemas de produção sustentáveis. Cabe salientar que todos os dados aqui apresentados receberam tratamento geoestatístico segundo os conceitos apresentados por Vieira et al. (2002).

A VE tem sido utilizada para o estudo do efeito de sistemas integrados de produção sobre a variabilidade de atributos químicos do solo, particularmente o carbono e fósforo, que são os atributos mais influenciados pela interação entre sistemas agrícolas e pecuários. Nesse sentido, a VE e temporal do C e do P no solo foi avaliada em sistemas de integração lavoura-pecuária (SILP) no Mato Grosso, usando conceitos de geoestatística. As avaliações foram realizadas em uma área de 110 ha por meio do uso de grades de amostragem de 2 ha e 1 ha nos anos de 2009 e 2010, respectivamente. Os semivariogramas foram ajustados e utilizados para a krigagem dos mapas da área. Os resultados demonstram que as áreas de pastagem permanente contribuem para o aumento do C e diminuição do P no solo (Figura 1). A rotação entre as áreas de pastagem permanente e de lavoura permitiu elevar o C nas áreas anteriormente ocupadas por lavoura e o P nas áreas anteriormente ocupadas por pastagem permanente. Os resultados indicam que em SILPs o P pode ser mantido dentro de níveis adequados, enquanto o C pode ser aumentado com a evolução dos sistemas no tempo. A análise geoestatística foi eficiente em detectar os efeitos dos SILPs sobre a VE dos teores de C e P no solo e demonstrou que durante o desenvolvimento dos sistemas integrados existe um aumento na VE da área, o que requer aumento na intensidade de amostragem.

Em áreas manejadas sob sistema plantio direto (SPD), tem sido observada uma camada de solo mais compactada a 0,08-0,2 m de profundidade. Em algumas situações, o grau de compactação dessa camada atinge valores limitantes à produtividade das culturas. O estado de compactação do solo pode ser avaliado por meio da resistência do solo à penetração (RP), determinada por meio de penetrometria. A principal vantagem desse método relaciona-se à facilidade e rapidez na obtenção de dados, o que favorece a sua utilização em escala de lavoura. Assim, a VE também tem sido aplicada ao estudo da compactação do solo no SPD e na determinação de grades amostrais mínimas para estimativa da RP.

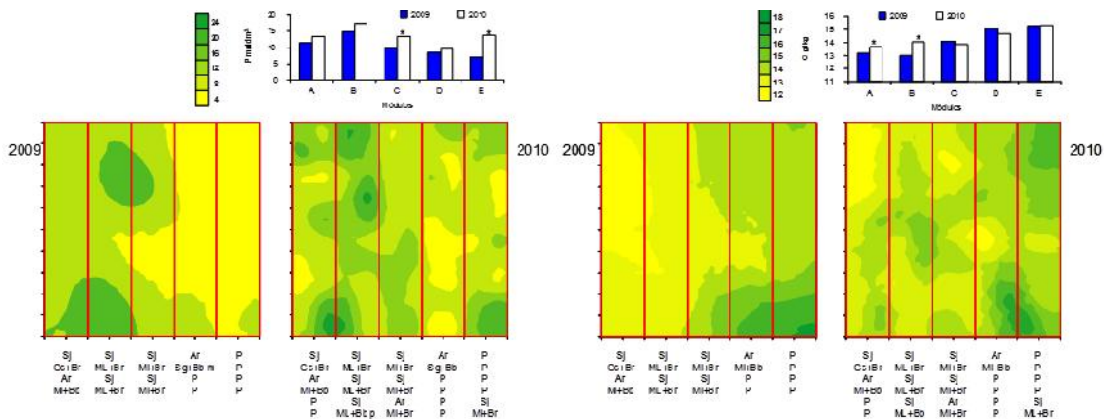


Figura 1. Mapas krigados do teor de P (a esquerda) e de C (a direita) no solo em sistema de iLP em Querência, MT, nas coletas de 2009 e 2010. O * indica diferença significativa entre anos no teor de P ou C pelo teste t.

A definição de um esquema de amostragem adequado, principalmente no que se refere à intensidade de amostragem, é um dos aspectos mais importantes para a avaliação da VE de atributos do solo, como a RP. Ao mesmo tempo em que o número de amostras deve ser o suficiente para refletir adequadamente a VE da RP, ele é limitado pelo custo e pelo tempo disponível para a avaliação. É importante salientar que a quantificação da RP deve ser realizada no menor espaço de tempo possível, para minimizar as variações no conteúdo de água do solo, que interferem nos valores de RP. O efeito da intensidade de amostragem na VE da RP de um Latossolo Bruno foi determinado em maio de 2011 em uma área de 18,9 ha localizada em Guarapuava/PR, por meio de um penetrômetro eletrônico, nas profundidades de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 cm. Foi utilizada uma grade amostral de 30 x 30 m, totalizando 210 leituras de RP. Os dados foram submetidos à análise geoestatística, realizada para diferentes intensidades de amostragem, simuladas pela exclusão de pontos amostrais distribuídos uniformemente pela área (Figura 2). Considerando todos os 210 pontos amostrados, a RP apresentou dependência espacial em todas as profundidades avaliadas. Os modelos ajustados para os semivariogramas variaram de acordo com a profundidade, sendo os piores ajustes obtidos para a camada de maior interesse para avaliação da compactação do solo (0,1-0,2 m). Com a diminuição do número de observações, a RP não apresentou dependência espacial simultaneamente em todas as profundidades entre 0,1-0,2 m. A VE da RP é influenciada pela profundidade e pela intensidade de amostragem, de modo que a redução do número de pontos amostrais promove maior erro na estimativa desta variável por krigagem, principalmente na camada de maior interesse para o monitoramento do estado de compactação (0,1-0,2 m).

Associado ao estudo da VE da RP também foram avaliadas, na mesma área, a variabilidade da produtividade e da condutividade elétrica (CE). A VE da produtividade das culturas tem sido atribuída, entre outros fatores, a diferenças nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo. No entanto, os métodos disponíveis para a determinação desses atributos, em geral, são caros e demandam grande quantidade de tempo e mão-de-obra. Nesse contexto, tem crescido o interesse por métodos que permitam determinar a VE de atributos do solo de maneira rápida e barata, de forma a proporcionar a obtenção de um grande número de

medidas por unidade de área, como a CE. A CE é definida como sendo a habilidade que o solo tem em transmitir corrente elétrica, sendo dependente de uma série de atributos do solo, como o conteúdo de água, o teor de argila e matéria orgânica, e a concentração de íons na solução do solo.

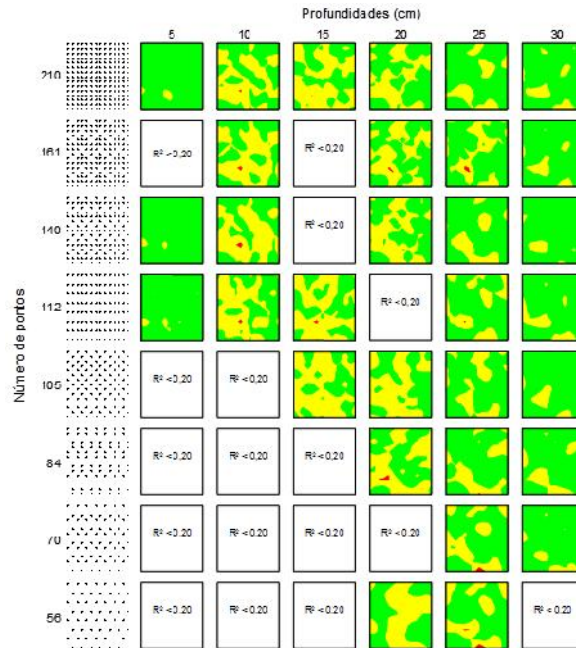


Figura 2. Mapas krigados da resistência à penetração de um Latossolo Bruno, determinada em área agrícola localizada em Guarapuava/PR. Legenda: ■ $RP < 2$ MPa; ■ $2 \text{ MPa} \leq RP \leq 3$ MPa; ■ $RP > 3$ MPa.

A CE foi determinada por meio do equipamento Veris 3100®, nas camadas de 0-0,3 m e 0-0,9 m de profundidade. A produtividade da soja foi determinada com uma colhedora autopropelida de grãos equipada com monitor de colheita. Os dados foram submetidos à análise geoestatística considerando 210 pontos amostrais distribuídos uniformemente pela área. A CE e a produtividade da soja apresentaram dependência espacial e foram mapeadas. A produtividade da soja foi significativamente e inversamente correlacionada com a CE determinada a 0-0,3 m e 0-0,9 m (Figura 3). O melhor ajuste do semivariograma, assim como a melhor correlação com a produtividade da soja, foi observada para a CE medida na camada de 0-0,9. As áreas com menor produtividade coincidiram, em geral, com as áreas onde a CE na camada de 0-0,9 m era maior do que $5,42 \text{ mS m}^{-1}$. A CE mais elevada pode indicar restrições na drenagem e na infiltração de água, o que também pode estar associado à compactação do solo. Desta forma, a CE se mostrou um parâmetro útil na definição de zonas de manejo diferenciadas dentro da lavoura, pois apresenta alta dependência espacial, é correlacionada à produtividade da soja e, ainda, é de rápida e fácil determinação em nível de campo. A RP também foi correlacionada com a produtividade da soja, principalmente nas camadas localizadas a 0,1 e 0,2 m, complementando as informações obtidas com a CE.

Outra área de pesquisa onde a VE tem sido utilizada com sucesso é a do manejo cultural e do solo para convivência com o nematoide das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus*) no Mato Grosso. O nematoide das lesões radiculares representa um importante desafio para a produção de soja na região Central do Brasil, devido a sua ocorrência generalizada e à ausência de cultivares resistentes e estratégias adequadas para o seu manejo. Com o objetivo de estabelecer práticas adequadas de manejo cultural para o problema, foi estabelecida na safra 2010/2011, em Vera-MT, uma metodologia de estudo a campo visando o mapeamento da VE de atributos químicos do solo e da ocorrência dos

sintomas do nematoide em soja. Os atributos do solo, a resposta da soja e a população de nematoides no solo foram avaliados usando conceitos de geoestatística.

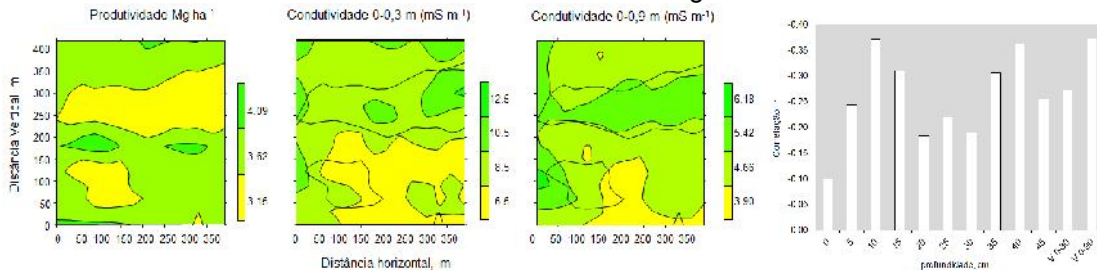


Figura 3. Mapas krigados da produtividade da soja e da condutividade elétrica do solo, determinada em área agrícola localizada em Guarapuava/PR (a esquerda). Coeficientes de correlação entre a produtividade da soja, a resistência e a condutividade elétrica do solo (a direita).

Os resultados indicam maior relação entre a redução de altura das plantas de soja e os valores de pH, alumínio (Al), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) e os atributos derivados como a soma de bases (S) e a saturação por bases (V) (Figura 4). A altura das plantas de soja apresentou melhor relação com esses atributos quando o valor limiar foi de 4,70; 0,08; 1,20; 0,49; 2,00 e 31,0 para pH, Al, Ca, Mg, S e V, respectivamente. A população de nematoides nas raízes da soja não foi relacionada com os atributos químicos ou com a altura das plantas. Os resultados sugerem que as reboleiras ocorrem nas áreas mais ácidas devido à maior suscetibilidade da cultura ao ataque dos nematoides das lesões radiculares.

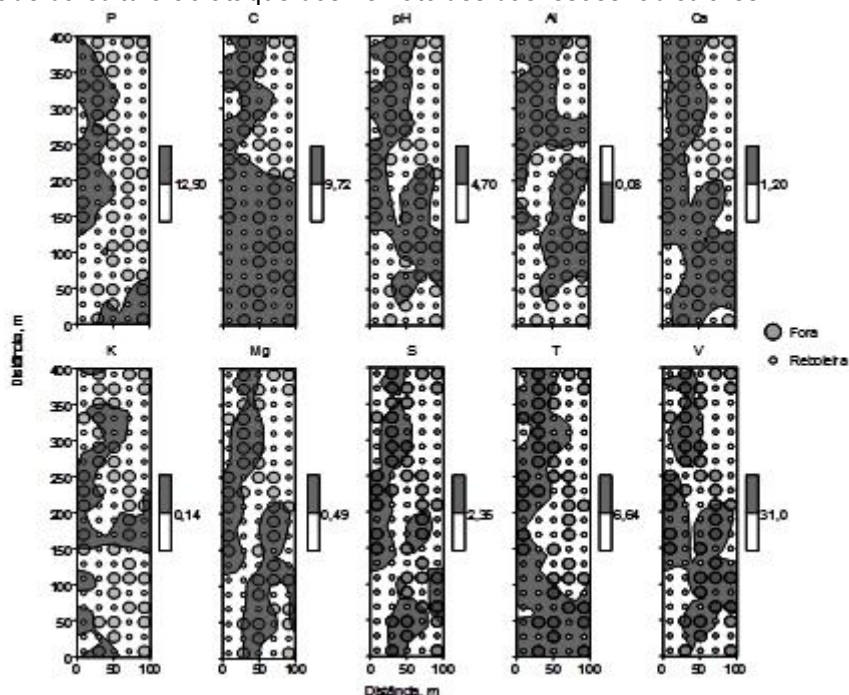


Figura 4. Distribuição espacial dos atributos químicos do solo no valor limiar e de reboleiras na área de estudo em Vera, MT. Unidades: Ca, Mg, K, Al, S e T (cmol_c dm⁻³); P (mg dm⁻³); C (g dm⁻³); V (%).

Em complementação ao estudo anterior, na safra 2011/2012, no mesmo local, foi desenvolvido um estudo com o objetivo de avaliar a VE da produtividade da soja e da população de nematoides das lesões radiculares nas raízes da soja, visando estabelecer

relações entre esses parâmetros para estimar as perdas de produtividade na cultura. Os resultados indicaram forte relação entre a produtividade da soja e a população do nematoide das lesões radiculares (Figura 5). Com base na equação ajustada, foi possível determinar que a cada 82 indivíduos/g de raiz da soja ocorre a perda de 1 saca na produtividade. As perdas de produtividade, estimadas na área do estudo, variaram de 1 a 28 sacas/ha com valor médio de 12 sacas/ha ou 21% da produtividade potencial.

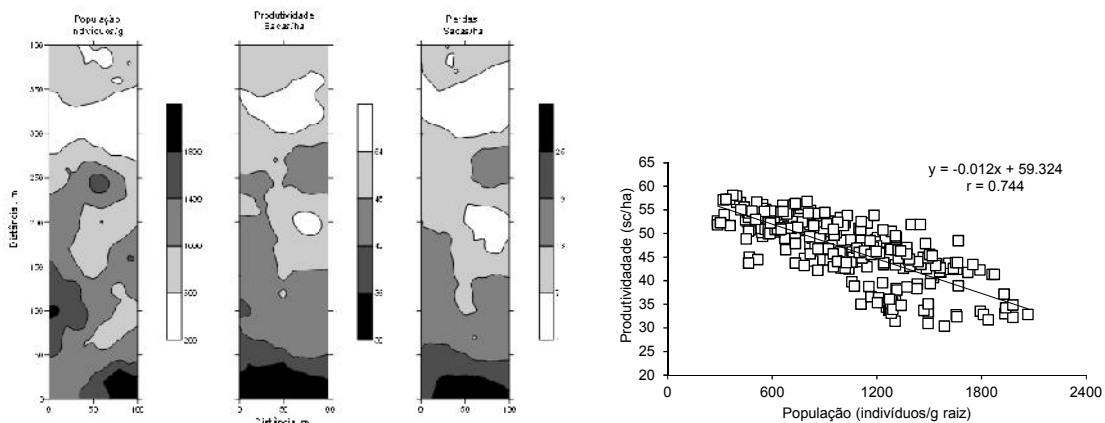


Figura 5. Mapas krigados da população de nematoides nas raízes, produtividade e perdas de produtividade de soja na área de estudo, em Vera/MT (a esquerda). Correlação linear entre os valores krigados da população de nematoides e da produtividade da soja (a direita).

Outros resultados relacionados com a intensidade amostral para as estimativas de atributos químicos do solo e seu impacto nas recomendações de calagem, por exemplo, serão apresentados e discutidos.

De forma geral, o grande limitante para o uso da VE como ferramenta efetiva para a tomada de decisões no planejamento da propriedade relaciona-se à baixa intensidade amostral praticada atualmente e a pouca importância atribuída ao tratamento geoestatístico dos dados. A princípio, estes aspectos tem grande impacto no custo do planejamento da propriedade, devido ao aumento do número de amostras no caso da intensidade amostral, e à necessidade de mão de obra qualificada no caso do tratamento geoestatístico dos dados. No entanto, é quase inevitável que esse custo seja considerado como investimento para o melhor aproveitamento do potencial produtivo e pela busca da sustentabilidade dos sistemas produtivos.

Referência

VIEIRA, S. R.; MILLETE, J.; TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D. Handbook for geoestatistical analysis of variability in soil and climate data. **Tópicos em Ciência do Solo**, 2:1-45, 2002.