

## Variabilidade espacial e vertical de propriedades físicas do solo em sistema de plantio direto.

**Luciano Campos Cancian<sup>(1)</sup>; Vanderlei Rodrigues da Silva<sup>(2)</sup>; Altamir Mateus Bertollo<sup>(1)</sup>; Ezequiel Koppe<sup>(1)</sup>; Sergio Daniel Bona<sup>(3)</sup>; Cícero Ortigara<sup>(4)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Eng. Agr., Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura e Ambiente, Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS; [lucianocancian@msn.com](mailto:lucianocancian@msn.com); <sup>(2)</sup> Eng. Agr. Dr. Professor Adjunto Universidade Federal de Santa Maria; <sup>(3)</sup> Eng. Agr. Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Universidade Federal de Santa Maria; <sup>(4)</sup> Acadêmico do Curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria.

**RESUMO:** A produtividade de uma área é caracterizada por zonas distintas, existindo locais com alta produtividade e outras com produtividade bem abaixo da média, tendo uma correlação entre a produção de uma cultura e as características físicas do solo. O objetivo deste trabalho foi verificar a variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma área cultivada com sistema de plantio direto. A RP foi determinada nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-30 cm em um grid regular de 50 metros, totalizando cento e um pontos. As variáveis RP0-5 cm, RP15-20 e RP20-30 apresentaram distribuição normal segundo o teste W. A respeito do grau de dependência espacial, todas as variáveis analisadas classificaram-se como de dependência moderada. Na análise de RP0-5 ajustou-se o semivariograma do tipo esférico. Já nas variáveis RP5-10 e RP10-15 ajustou-se o modelo exponencial. Nas demais variáveis, o modelo ajustado foi o linear.

**Termos de indexação:** geoestatística; resistência a penetração, semivariograma.

### INTRODUÇÃO

A importância da qualidade da estrutura física do solo muitas vezes passa despercebida quando se fala em produtividade, mas possui uma função de extrema importância ao desenvolvimento das culturas. Características como resistência a penetração, densidade e porosidade devem receber atenção quando se buscam altas produtividades, pois estes atributos refletem diretamente na produtividade das culturas.

Monitoramentos periódicos da qualidade física do solo através da resistência a penetração é uma boa maneira de se avaliar diferentes sistemas de manejo, e consequentemente, os seus efeitos na estrutura do solo e que irá refletir em melhor ou pior desenvolvimento radicular da planta.

A análise da correlação entre a produtividade de uma cultura e as características físicas do solo pode servir como ferramenta extremamente útil na tomada de decisões referentes ao manejo desta área, e possíveis intervenções que possam ser

tomadas para potencializar maiores produtividades e a obtenção de áreas mais homogêneas.

A variabilidade espacial das propriedades físicas do solo pode ter uma melhor avaliação através da Geoestatística, onde se determina a dependência espacial de cada atributo, considerando cada ponto amostral da área como um valor e associando a posição geográfica em que o ponto se encontra, possibilitando que variáveis amostradas mais próximas tenham valores mais semelhantes e sejam mais bem correlacionadas entre si do que amostras mais distantes do ponto.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi verificar a variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma área cultivada com sistema de plantio direto.

### MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se no Norte do Estado do Rio Grande do Sul, no município de Boa Vista das Missões, na Fazenda Villa Morena. Está situada entre as coordenadas extremas: E mínimo: 267855,14; E máximo: 268513,21; N mínimo: 6929269,04; N máximo: 6929990,54. O relevo da região é suave ondulado e o solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 2005). Na área é adotado o Sistema de Plantio Direto, com rotação de culturas. Antes da implantação da cultura da soja, a área havia sido cultivada com Trigo.

Foi delimitada uma área de 25 ha dentro de uma área total de 92,7 ha cultivados. A grade amostral foi composta por pontos espaçados regularmente em 50x50 metros, totalizando cento e um pontos, criados pelo software CR Campeiro 7. Os pontos foram georreferenciados utilizando um receptor GPS Garmim. As coordenadas foram obtidas pelo programa computacional GPS TrackMaker PRO.

Em cada ponto georreferenciado, foram realizadas duas medições de resistência a penetração até a profundidade de 40 cm, utilizando um Penetrômetro Eletrônico, modelo Falker PLG 1020, calculando-se a média das duas medições. Para a determinação da densidade do solo de 0 a 5 cm de profundidade (Ds5) e porosidade total de 0 a

5 cm de profundidade (PT5) foi realizada a coleta de amostras indeformadas em cilindros volumétricos.

Os valores de Densidade do Solo foram calculados através da metodologia proposta pela Embrapa (2008) e os valores de Porosidade Total pela metodologia proposta pela Embrapa (1997).

Os dados foram avaliados por meio da estatística descritiva fazendo uso do pacote estatístico SAS (SAS, 1991).

Na análise geoestatística testaram-se os semivariogramas do tipo esférico, exponencial, linear e gaussiano. A escolha do modelo que melhor se adequou foi realizada observando-se o melhor coeficiente de correlação, que se obteve através da utilização da técnica da validação cruzada. Essa consiste em retirar, de forma individual, cada ponto medido, e seu valor é estimado pelo modelo como se ele não existisse (SILVA et al., 2003).

Nas variáveis que apresentavam dependência espacial, retirou-se o valor de Alcance (A), que representa o limite da dependência espacial e também define o raio máximo que deve ser feita a interpolação por krigagem, onde se estima os valores para pontos não observados.

Para analisar o grau de dependência espacial foi utilizada a metodologia proposta por Cambardella et al. (1994), modificada por Silva et al. (2004), subtraindo uma unidade do resultado da divisão entre  $C_0$  e  $(C_0 + C_1)$ . Nesse caso, são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm um efeito pepita  $> 0,75$  do patamar, de dependência espacial moderada quando o efeito pepita está entre 0,75 e 0,25 do patamar e de fraca dependência quando o efeito pepita é  $< 0,25$ .

A geração dos mapas de isolinhas foi realizada pela ferramenta disponibilizada no *software* Campeiro, onde era possível selecionar o método de krigagem, utilizando os parâmetros estabelecidos pela geoestatística, tais como patamar, efeito pepita e alcance com relação no semivariograma ajustado para cada variável. Já as variáveis que não possuíam dependência espacial, ou seja, eram de modelo linear, foram desconsideradas para a geração de mapas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variabilidade vertical da RP pode ser verificada pelos valores médios de RP nas profundidades 0-5 (RP0-5), 5-10 (RP5-10), 10-15 (RP10-15), 15-20 (RP15-20) e 20-30 cm de profundidade (RP20-30), apresentados na **tabela 1**. Este comportamento de RP, variando de 2,358 a 4,364 MPa, pode ser explicado devido ao intenso tráfego de máquinas que a área foi submetida ao longo de seu histórico, tornando a área heterogênea quanto a esse

parâmetro. Estes valores estão de acordo aos obtidos por Secco et al. (2009), em exploração de culturas anuais e no sistema de plantio direto.

Pode-se observar um baixo valor médio dos valores de RP na profundidade de 0-5 cm (2,358 MPa), deixando evidente a eficiência do sistema radicular das plantas, da atividade biológica e dos órgãos ativos das sementeiras na diminuição da RP.

Em todas as profundidades em que foram analisadas a RP, os valores de coeficiente de variação (CV) variaram de 33% a 55%, aumentando proporcionalmente conforme aumentava a profundidade. Isto se dá principalmente por a interferência do tráfego de máquinas ser maior nas camadas mais superficiais, de certa forma homogeneizando a camada superficial. Estes comportamentos de RP estão de acordo com os resultados obtidos por Souza et al. (2001).

As variáveis RP0-5, RP15-20 e RP20-30 apresentaram distribuição normal, e as demais profundidades não apresentaram esta tendência na distribuição dos dados. Da mesma forma, em um perfil de Latossolo amarelo coeso, Campos (1983), verificou que a distribuição da densidade do solo apresentou-se normal.

Em todas as profundidades em que foi realizada a análise de RP, pode-se verificar uma grande amplitude entre os pontos amostrados, ficando todos próximos dos 7 MPa, deixando evidente a grande variabilidade existente na área.

Na análise de RP0-5 ajustou-se o semivariograma do tipo esférico. Já nas variáveis RP5-10 e RP10-15 ajustou-se o modelo exponencial.

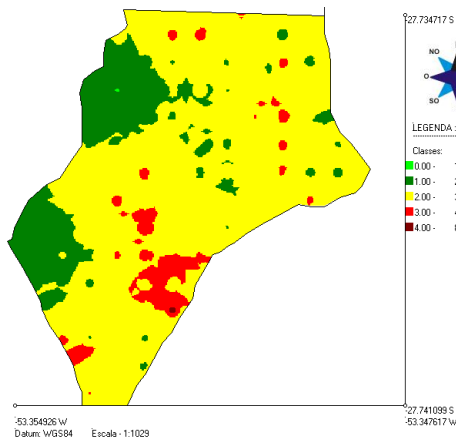
Para as variáveis de densidade do solo a 5 cm de profundidade (Ds5), porosidade total (PT5), RP15-20 e RP20-30, os dados apresentaram um comportamento crescente com a distância, ajustando-se dessa forma o semivariograma de modelo linear, e assim, não havendo dependência espacial destas variáveis. O modelo linear caracteriza-se por não apresentar valor de alcance.

Estes dados são semelhantes aos obtidos por Vieira (1997), que estudando a camada de 25 a 50 cm, apenas duas variáveis apresentaram dependência espacial, reforçando a idéia de que apenas as camadas superficiais do solo possuem maior dependência espacial. A ocorrência de modelo linear também em camadas mais superiores sugere que, para estas profundidades, a malha amostral não foi capaz de detectar a dependência, necessitando-se assim a diminuição da distância entre os pontos.

A respeito do grau de dependência espacial, todas as variáveis analisadas classificaram-se como de dependência moderada (efeito pepita situando-se

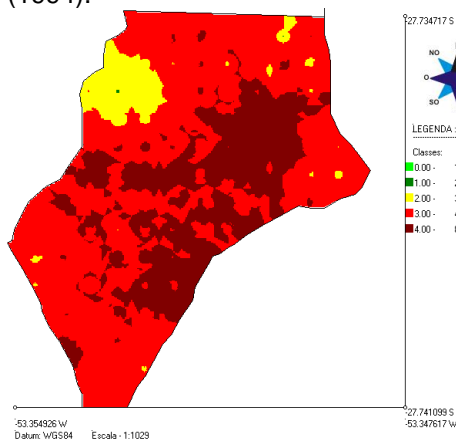
entre 0,75 e 0,25 do patamar). Em relação às demais variáveis analisadas, pode-se observar uma rápida elevação nos valores de relação efeito pepita/patamar das variáveis de RP0-5, RP5-10 e RP10-15, tendo estas o grau de dependência superior a 0,65.

A partir da **figura 1**, que representa a variável RP0-5, é possível observar que a maior parte da área encontra-se com valores situados entre 2 e 3 MPa, o que em se tratando uma área com plantio direto, os valores de RP são relativamente baixos, mostrando o bom resultado gerado pelo uso de plantas de cobertura na área.

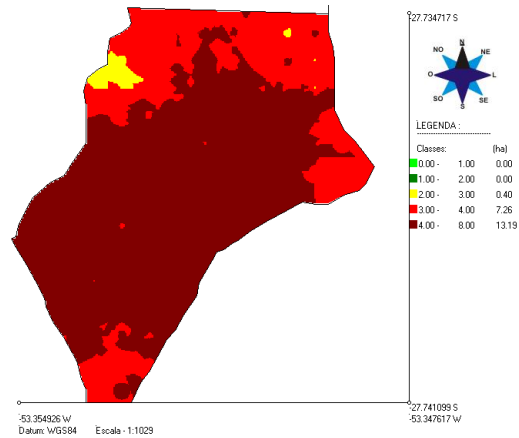


**Figura 1** – Mapa apresentando a variabilidade espacial da variável RP0-5.

Porém, variáveis RP5-10 (**Figura 2**) e RP10-15 (**Figura 3**), a maior parte da área se encontra em valores acima de 4 MPa, o que reflete a compactação da camada subsuperficial, possivelmente causada pelo tráfego de máquinas pesadas, gerando uma compactação mais acentuada em maiores profundidades. Valores semelhantes foram encontrados por Rosolem et al. (1994).



**Figura 2** – Mapa apresentando a variabilidade espacial da variável RP5-10.



**Figura 3** – Mapa apresentando a variabilidade espacial da variável RP10-15.

Segundo Ehlers et al. (1983), valores na ordem de 5,0 MPa são admitidos quando se utiliza como manejo o sistema de plantio direto. Dessa forma, pode-se afirmar que área, embora esteja utilizando sistema de plantio direto, não respeita um dos fatores para a não ocorrência de compactação, não respeitando a faixa de umidade adequada para a realização de operações agrícolas.

## CONCLUSÕES

As RP0-5, RP15-20 e RP20-30 apresentaram distribuição normal de acordo com o teste W.

As variáveis DS5, PT5, RP15-20 e RP20-30 não apresentaram dependência espacial.

A camada compreendida entre 10 e 20 cm de profundidade apresentou os maiores valores médios de resistência a penetração.

## REFERÊNCIAS

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 America Journal*, Madison, v.58, n. 4: 1501-1511, 1994.

CAMPOS, H. de. *Estatística experimental não paramétrica*. Piracicaba: Ed. do Autor, 1983. 349 p.

EHLERS, W.; KOPKE, V.; HESSE, F.; BÖHM, W. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil Tillage Research*, v.3, n.2: 261-275, 1983.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. 2ª edição. Rio de Janeiro, EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997, 212 p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPE Determinação da densidade de solos e de horizontes. Sete Lagoas, EMBRAPA Comunicado Técnico; Rio de Janeiro, Embrapa Milho e Sorgo, 2008.

ROSOLEM, C.A.; VALE, L.S.R.; GRASSI FILHO, H.; MORAES, M.H. de. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 18: 491-497, 1994.

SAS INSTITUTE. *Statistical Analysis System Institute. SAS/STAT Procedure guide for personal computers. Version 5*. Cary, NC, 1991. 552p.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R.. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. *Revista Ciência Rural*, vol.39, n.1: 58-64, 2009.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um argissolo vermelho-amarelo distrófico arênico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:1013-1020, 2003.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. *Revista Ciência Rural*, v.34, n.2: 399-406, 2004.

SOUZA, Z. M.; SILVA, M. L. S.; GUIMARÃES, G. L.; CAMPOS, D. T. S.; CARVALHO, M. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico sob semeadura direta em Sevilia (MS). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, n. 3: 699-707, 2001.

VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo Roxo de Campinas, SP. *Bragantia*, 56:181-190, 1997.

**Tabela 1** - Valores de média, coeficiente de variação (CV em %), teste de Kolmorow (W), mínimo (Mín), máximo (Máx), alcance em metros (A) efeito pepita/patamar ( $1-(C_0/C_0+C_1)$ ),  $r^2$  e modelo ajustado aos semivariogramas para densidade do solo ( $Mg\ m^{-3}$ ), porosidade total (%) e resistência à penetração (MPa) em diferentes profundidades.

| Variável | Média | CV (%) | (W)                 | Mín    | Máx    | (A)   | $(1-(C_0/C_0+C_1))$ | $r^2$ | Modelo      |
|----------|-------|--------|---------------------|--------|--------|-------|---------------------|-------|-------------|
| Ds5      | 1,28  | 9,7    | 0,970 <sup>ns</sup> | 0,97   | 1, 50  | ---   | 0,512               | 0,089 | Linear      |
| PT5      | 51,71 | 9,0    | 0,970 <sup>ns</sup> | 43, 50 | 63, 24 | ---   | 0,511               | 0,068 | Linear      |
| RP0-5    | 2,36  | 55,6   | 0,963*              | 0, 11  | 6, 83  | 19,39 | 0,675               | 0,761 | Esférico    |
| RP5-10   | 3,72  | 42,3   | 0,980 <sup>ns</sup> | 0, 63  | 7, 90  | 21,10 | 0,687               | 0,717 | Exponencial |
| RP10-15  | 4,27  | 34,0   | 0,985 <sup>ns</sup> | 0, 63  | 8, 00  | 21,10 | 0,667               | 0,187 | Exponencial |
| RP15-20  | 4,36  | 33,5   | 0,967*              | 1, 24  | 9, 07  | ---   | 0,500               | 0,009 | Linear      |
| RP20-30  | 4,02  | 35,1   | 0,924*              | 1, 57  | 9, 26  | ---   | 0,500               | 0,246 | Linear      |

ns = não significativo à 5 % de probabilidade. \* significativo, apresentando distribuição normal à 5% de probabilidade.