



## Variabilidade espacial da porosidade versus produtividade de soja em um latossolo vermelho sob semeadura direta<sup>(1)</sup>.

**Fabricio Tomaz Ramos<sup>(2)</sup>; Lucas de Souza Ferreira<sup>(3)</sup>; Eduardo André Ferreira<sup>(2)</sup>; João Carlos de Souza Maia<sup>(4)</sup>;**

<sup>(1)</sup> Trabalho custeado pela Fundação de Apoio à Cultura da Soja (FACS) em parceria com a Associação dos Produtores de Soja e Milho do Estado de Mato Grosso (APROSOJA);

<sup>(2)</sup> Pós-graduandos em Agricultura Tropical - UFMT, Cuiabá-MT, fabricio.tomaz@hotmail.com, eduardoagritrop@gmail.com;

<sup>(3)</sup> Pós-graduando em Ambiente e Sistema de Produção Agrícola, Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Tangará da Serra-MT, lucas-jna@hotmail.com;

<sup>(4)</sup> Professor, pesquisador, UFMT, Cuiabá-MT, jotace@terra.com.br.

**RESUMO:** A porosidade do solo influencia a retenção da água, as trocas gasosas, a disponibilidade de nutrientes, a estabilidade de agregados, a compactabilidade do solo e a resistência à penetração das raízes. Na medida em que o solo torna-se compactado os poros antes interligados podem ficar isolados, denominados “poros bloqueados” e, isso, hipoteticamente pode reduzir a produtividade de plantas cultivadas. Com isso, objetivou-se no presente trabalho avaliar o grau de correlação entre a variabilidade espacial da macroporosidade, microporosidade e da porosidade total de um Latossolo Vermelho Distrófico típico muito argiloso, manejado sob semeadura direta com a produtividade de grãos de soja. As amostras de solo com estrutura indeformada foram coletadas no final do estágio fenológico da soja (R7.2) e na entrelinha de semeadura na camada de manejo, isto é, de 0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m. O esquema de amostragem foi do tipo malha irregular, devido os desvios das curvas de nível, recentemente restaurada, orientada na entrelinha da cultura, totalizando 117 pontos de coleta por camada. Os dados de macroporosidade, microporosidade e porosidade total foram correlacionados com a produtividade de grãos de soja pelo teste de Pearson ( $r$ ) ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste  $t$  de Student. Posteriormente, determinou-se a variabilidade espacial da porosidade do solo. Verificou-se que ausência de correlação entre os atributos macroporosidade, microporosidade e porosidade total com a produtividade de grãos de soja, possivelmente, porque da totalidade de 117 amostras avaliadas apenas cerca de 7% ficaram abaixo do valor tido como limite de impedância de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , ou seja, uma quantidade pouco expressiva de amostras.

**Termos de indexação:** compactação do solo, poros do solo bloqueados, atributos físicos do solo.

## INTRODUÇÃO

A região Centro Oeste tornou-se a maior produtora de soja do Brasil, em especial o Estado de Mato Grosso, sobretudo nas áreas de bioma Cerrado. Entretanto, embora os agricultores tenham adotado a semeadura direta, sobretudo, a sucessão soja e milho, em substituição ao manejo convencional do solo que na década de 90 ocasionou vários problemas de compactação subsuperficial e erosão do solo, atualmente o plantio direto no Cerrado ainda enfrenta problemas de adaptação devido a rápida decomposição dos resíduos e a pouca opção de cultivos economicamente viáveis para realizar a rotação de culturas, entrave que pode dificultar a amenização da compactação excessiva na camada superficial do solo (Altmann, 2010). A compactação do solo é uns dos principais entraves à disponibilidade de água às plantas (Nawaz et al., 2013).

Com isso, objetivou-se no presente trabalho avaliar o grau de correlação entre a variabilidade espacial da macroporosidade, microporosidade e da porosidade total de um Latossolo Vermelho Distrófico típico muito argiloso, manejado sob semeadura direta com a produtividade de grãos de soja.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Local de estudo

Este estudo foi realizado no Estado de Mato Grosso, Brasil, latitude de  $14^{\circ}07'40''$  S, longitude de  $56^{\circ}58'39''$  W e altitude de 539 metros. O clima da região é Aw pela classificação de Köppen. O regime de chuvas é bem definido, com um período seco, de maio a setembro, e com um período chuvoso, de outubro a abril. A precipitação média anual é de  $1816,9 \text{ mm ano}^{-1}$ . A temperatura média anual máxima é de  $25,5^{\circ}\text{C}$  e mínima de  $16,2^{\circ}\text{C}$ . O solo da unidade experimental foi classificado como LATOSSOLO VERMLHO Distrófico típico, A



moderado, textura muito argilosa, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo plano (Santos, 2013).

O histórico da unidade experimental é o seguinte: no ano de 1987 a floresta foi desmatada, plantou-se arroz na safra 1987/88. Deste período até a safra 1999/2000 cultivou-se soja e milho em sucessão, sendo a adubação realizada na linha de semeadura. Da safra de 2000/01 até a de 2003/04 cultivou-se algodão. De 2004/05 até a de 2013/14 cultivou-se soja e milho em sucessão, sem revolver o solo e o calcário e os fertilizantes passaram a serem aplicados a lanço. No presente trabalho, na safra 2013/14, avaliou-se a cultura da soja (*Glycine max*, L.), cultivar MONSOY 7639 RR, demarcando uma unidade experimental de aproximadamente 12 ha (300 por 405 m) de um talhão de 56 ha, cultivada em espaçamento de 0,45 m entre linhas e média de 15 plantas por metro linear. A semeadura foi realizada no dia 23/10/2013 e a colheita no dia 05/02/2014.

#### Procedimentos de amostragem

No presente trabalho, amostras de solo foram coletadas na camada de manejo, isto é, de 0 a 0,20 m, sendo a média dos valores da camada intermediária, isto é, de 0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m. O esquema de amostragem foi do tipo malha irregular, devido os desvios das curvas de nível, recentemente restaurada, orientada na entrelinha da cultura, totalizando 117 pontos de coleta por camada. Estes pontos foram georreferenciados com erro máximo de 5 mm, usando um aparelho de posicionamento global (marca Topcon Hiper®, modelo Pro), sendo as coordenadas exportadas no sistema UTM.

As amostras de solo com estrutura indeformada foram coletadas no final do estágio fenológico da soja (R7.2) e na entrelinha de semeadura. Amostras foram coletadas utilizando um trado tipo “caçamba caneco planto” para cavar e aplainar a superfície do solo e, então, inserir o trado de amostras indeformadas tipo “kopec”. No laboratório essas amostras foram saturadas com água destilada e submetidas ao potencial matricial de 6kPa, utilizando a caixa de areia (Modelo 08.01, Eijkelkamp Agrisearch Equipment).

Os valores de microporosidade do solo foram determinados pela diferença entre a massa úmida da amostra à tensão de 60 cm coluna d'água e a massa seca em estufa à 105 °C por 48 h, multiplicando pelo valor respectivo da densidade do solo. Depois, determinou-se os valores de porosidade total do solo com base nos respectivos valores de densidade de partícula de cada amostra. Por fim, determinou-se a macroporosidade do solo

pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade (Donagema, 2011).

A produtividade de grãos de soja (kg ha<sup>-1</sup>) foi estimada colhendo 4 m lineares de plantas em cada ponto amostral com a umidade corrigida para 14 %.

#### Análise estatística

Todos os dados apresentaram distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ( $p > 0,05$ ). Em seguida, os dados de macroporosidade, microporosidade e porosidade total foram correlacionados com a produtividade de grãos de soja pelo teste de Pearson ( $r$ ) ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste  $t$  de Student. Posteriormente, determinou-se a variabilidade espacial da porosidade do solo, utilizando-se o software Gamma Design GS<sup>TM</sup>: Geostatistics for the Environmental Sciences Versão 10.0. (Yamamoto & Landim, 2013).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos gráficos de “Box Plot” dispostos lado a lado é possível observar que, comparativamente a porosidade total (PT), que no presente trabalho apresentou valor médio de 0,491 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, cerca de 80% da PT foi representada pela microporosidade do solo com valor médio de 0,396 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (Figura 1). Portanto, a proporção de microporosos foi expressiva em relação aos macroporosos com média de 0,095 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, que é um resultado esperado, segundo Foth (1990), conforme indicou a análise de textura do solo, classificando a camada avaliada como muito argilosa.

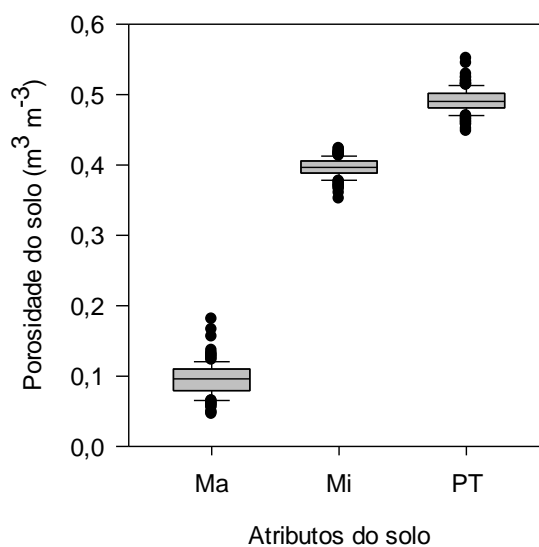


Figura 1. Gráficos box plots.



Tem-se que é importante que a porosidade do solo ocupada por água seja de no máximo 90%, ou seja, 10% da porosidade total deve ser o valor assegurado para que as renovações gasosas entre o solo e a atmosfera possam acontecer em tempo necessário para que não seja prejudicial para o desenvolvimento normal das plantas (Silva et al., 1994). Nesse sentido, da totalidade de 117 amostras avaliadas apenas cerca de 7% ficaram abaixo do valor tido como limite de impedância, ou seja, uma quantidade pouco expressiva de amostras. Portanto, provavelmente, seja essa a razão da ausência de correlação verificada entre a produtividade de grãos de soja versus macroporos, microporos e a porosidade total do solo (Tabela 1). Do pressuposto, a porosidade do solo não correlacionou positivamente nem negativamente com a produtividade de grãos. Entretanto, observou-se um resultado interessante do ponto de vista de manejo do solo, que refere-se a correlação proporcional entre macroporos e porosidade total, correlação não verificada entre microporos e porosidade total.

**Tabela 1.** Coeficientes de correlação entre os atributos físicos do solo.

	(kg/ha)	Ma	Mi	PT
(kg/ha)	1			
Ma	0.006 <sup>ns</sup>	1		
Mi	0.015 <sup>ns</sup>	-0.679 <sup>***</sup>	1	
PT	0.020 <sup>ns</sup>	0.824 <sup>***</sup>	-0.144 <sup>ns</sup>	1

\*\*\* (p < 0,0001), = significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t; ns = não significativo.

Tem-se que o grau de desenvolvimento dos agregados influencia o espaço poroso do solo, que influencia o crescimento das raízes, a atividade microbiana e a quantidade de água que um solo pode reter. Além disso, é tido que a matéria orgânica do solo (MOS) é mais eficaz do que a argila na formação de agregados estáveis com areia, devido ao fenômenos de adsorção, emaranhamento físico e cimentação por mucilagens microbiana (Gregory, 2006; Chesworth, 2008). Portanto, isso sugere que o aumento da MOS no solo do presente trabalho pode-se constituir em um fator significativo em agregar partículas solo e, conseqüentemente, aumentar os macroporos do solo, importantes tanto para reduzir possíveis efeitos do excesso de água no perfil feito das raízes, quanto para diminuir a suscetibilidade do solo a ser compactado devido efeito do tráfego de maquinários, desde que seja respeitada o nível adequado de conteúdo de água no solo para entrada de maquinários (Ramos et al., 2013).

Dessa forma, visualizar a variabilidade da macroporosidade (Ma) no espaço pode auxiliar na tomada de decisão para melhorar o manejo da matéria orgânica do solo com o tempo. Assim, verificou-se que os semivariogramas isotrópicos do tipo exponencial explicaram mais de 86% a Ma e mais de 70% a Mi. Além disso, verificou-se maior valor de alcance para os Ma, isto é, distância onde os dados apresentam correlacionados no espaço, e grau de dependência espacial elevada com base na razão  $C/C_0 + C$  próxima de 1,0 (Tabela 2).

Em seguida, fez-se a análise de validação cruzadas dos dados observados por Krigagem. No presente obteve-se explicação abaixo de 50% para Ma e Mi ( $R^2$ ), mas isso não significa a recusa da validação cruzada, uma vez que os modelos foram significativos para ambos (P < 0,01 pelo teste F), além disso, o erro de estimada foi de no máximo 0,011 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> para Ma (11% considerando o valor médio de 0,095 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) e de 0,006 cm<sub>o</sub>c dm<sup>-3</sup> m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> para Mi (2,0% considerando o valor médio de (Tabela 3).

Diante disso, como as regressões lineares foram significativas ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F, aceitou-se os modelos. Assim, foi gerado os mapas da variabilidade espacial da Ma (Figura 2A) e da Mi (Figura 2B), para a camada de 0- 0,20 m, confeccionados com base na interpolação dos dados, onde verificou-se correspondência do padrão de coloração com a tabela de correlação (Tabela 1).

## CONCLUSÕES

Verificou-se que ausência de correlação entre os atributos macroporosidade, microporosidade e porosidade total com a produtividade de grãos de soja, possivelmente, porque da totalidade de 117 amostras avaliadas apenas cerca de 7% ficaram abaixo do valor tido como limite de impedância de 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> da porosidade total, ou seja, uma quantidade pouco expressiva de amostras.

O conhecimento da variabilidade espacial da macroporosidade e microporosidade pode auxiliar na previsão de problemas relacionados a trocas gasosas para que não seja prejudicial ao desenvolvimento normal das plantas, além de ajudar no planejamento de técnicas de manejo capaz de corrigir esse problema localizado.

## REFERÊNCIAS

ALTMANN, N. Plantio Direto no Cerrado: 25 anos acreditando no Sistema. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, 2010. 568p.



- CHESWORTH, W. Encyclopedia of Earth Sciences. Springer, 2008. 860p.
- DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. (Org.). Manual de Métodos de Análise de Solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.
- FOTH, H. D. Fundamentals of Soil Science. 8th Edition. New York: John Wiley & Sons. 1990. 384p.
- GREGORY, P.J. Plant roots: their growth, activity, and interaction with soils. Blackwell Publishing, 2006. 340p.
- NAWAZ, M. F.; BOURRIÉ, G.; TROLARD, F. Soil compaction impact and modelling. A review. Agronomy for Sustainable Development, v.33, p.291-309, 2013.
- RAMOS, F. T.; RAMOS, D. T.; MAIA, J. C. S.; SERAFIM, M.; AZEVEDO, E. C.; ROQUE, M. W. Curvas de compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo: Com e sem reúso de amostras. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 17:129–136, 2013.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. Sistema Brasileira de classificação do solo. 3.ed. Brasília: Embrapa Solos, 2013. 353p.
- Yamamoto, J. K. & Landim, P. M. B. Geoestatística: Conceitos e aplicações. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 215p.

**Tabela 2.** Parâmetros obtidos no ajuste da densidade do solo para cada camada de solo.

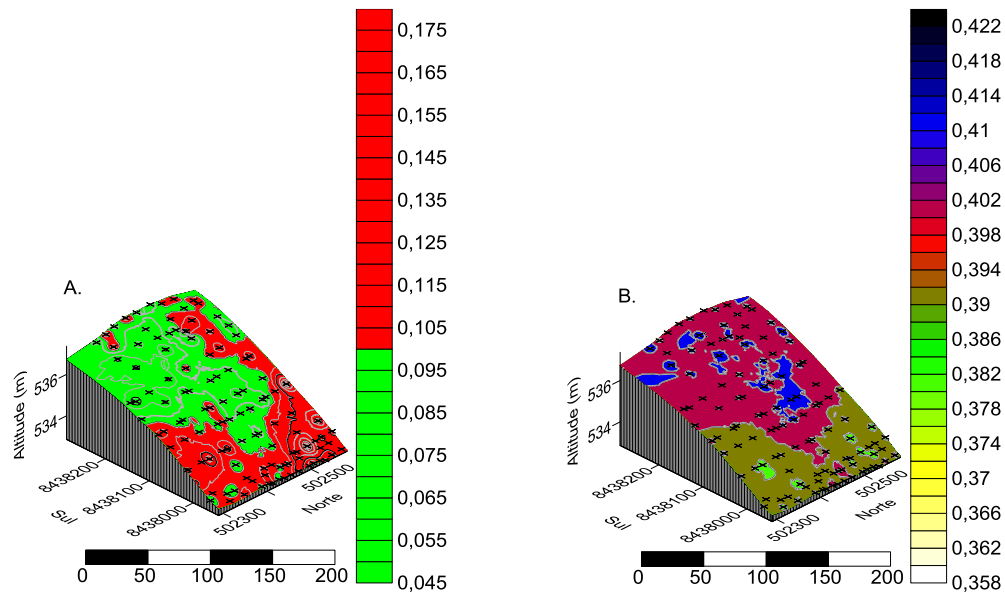
Camada (m)	Parâmetros <sup>(1)</sup>					
	Modelo	R <sup>2</sup>	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> + C	C/ C <sub>0</sub> + C	A
Macroporos	Exponencial	0,869	0,000032	0,000531	0,940	106,5000
Microporos	Exponencial	0,718	0,000003	0,000153	0,980	37,8000

<sup>(1)</sup> R<sup>2</sup> = coeficiente determinístico, C<sub>0</sub> = efeito pepita, C = patamar, A = alcance (m).

**Tabela 3.** Parâmetros obtidos com a análise de regressão linear entre os pares de valores observados e estimados pela krigagem (Validação cruzada).

Camada (m)	Intercepto	Coefficiente	r	R <sup>2</sup>	EPE <sup>(1)</sup>	P Teste F	TNR <sup>(2)</sup>
	y <sub>0</sub>	a					
Macroporos	0,069***	0,278***	0,513	0,263	0,011	<0,0001	0,3601
Microporos	0,328***	0,174**	0,333	0,111	0,006	0,0003	0,0910

<sup>(1)</sup> EPE = erro padrão da estimativa (Mg dm<sup>-3</sup>); <sup>(2)</sup> TNR = teste de normalidade dos resíduos por Shapiro-Wilk (P > 0,05); Obs. \*\*\* (P < 0,0001) = significativo pelo teste t.



**Figura 2.** Variabilidade espacial da macroporosidade (A) e microporosidade do solo (B).