RESISTÊNCIA DO SOLO À PRENETRAÇÃO SOB SISTEMAS DE MANEJOS DO SOLO

NAYRA FERNANDES AGUERO[1], DIANDRA PINTO DELLA FLORA[2], JORGE WILSON CORTEZ[3], LUCAS DE OLIVEIRA DONAIRE[4], AMANDA DE OLIVEIRA RIBEIRO[5]

[1] Ms. em Engenharia Agrícola, Doutoranda em Agronomia, UFGD, Dourados – MS, nayra_fa@hotmail.com
[2] Ms. em Agronomia, Doutoranda em Agronomia, UFGD, Dourados – MS, diandradellaflora@gmail.com
[3] Dr. Agronomia, Prof. Ass. FCA, UFGD, Dourados – MS, jorgewcortez@gmail.com
[4] Ms. em Engenharia Agrícola, UFGD, Dourados – MS, lucas.donaire@outlook.com
[5] Acad. Engenharia Agrícola, UFGD, Dourados – MS, amanda-oliveiraribeiro@outlook.com

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
15 a 17 de setembro de 2021

RESUMO: Solos compactados, decorrente do tráfego de maquinários, afetam o desenvolvimento radicular de plantas cultivadas. Portanto, objetivou-se avaliar a variabilidade espacial da resistência do solo à penetração (RP) após manejos no perfil solo. O trabalho foi desenvolvido em Fazenda Experimental no delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições e seis sistemas de manejo: CM - uma escarificação; EC - escarificação cruzada e uma gradagem; EG - uma escarificação e uma gradagem; GR - uma gradagem; SM - sem mobilização; uma aração e duas gradagens (plantio convencional). Foi analisada a RP na profundidade de 0-40 cm a cada 2,5 cm. Os mapas de isolinhas foram feitos por método de krigagem após avaliar a dependência espacial por meio pelo cálculo da semivariância e do ajuste dos dados ao semivariograma experimental. Os sistemas de manejos do solo favoreceram menor resistência do solo a penetração na camada superficial em comparacão as camadas subsuperficial. Os manejos com uma gradagem e escarificação mais uma gradagem proporcionaram a maior resistência do solo a penetração.
PALAVRAS-CHAVE: compactação do solo; krigagem; penetrômetro.

SOIL RESISTANCE TO PRENETRATION UNDER SOIL MANAGEMENT SYSTEMS

ABSTRACT: Compacted soils, due to machinery traffic, affect the root development of cultivated plants. Therefore, the objective was to evaluate the spatial variability of soil resistance to penetration (RP) after management in the soil profile. The work was developed in an Experimental Farm in a randomized block design with four replications and six management systems: CM - one scarification; EC - cross chiseling and harrowing; EG - scarification and harrowing; GR - a harrowing; SM - without mobilization; a plowing and two harrows (conventional planting). The RP was analyzed at a depth of 0-40 cm every 2.5 cm. Isoline maps were made using the kriging method after assessing spatial dependence by calculating the semivariance and adjusting the data to the experimental semivariogram. The soil management systems favored less soil resistance to penetration in the superficial layer compared to the subsurface layers. The managements with a harrow and scarification plus a harrow provided the greatest resistance of the soil to penetration.

INTRODUÇÃO

A resistência do solo à penetração está relacionada à textura, densidade do solo, teor de água no solo e composição minerológica do solo, portanto, é um parâmetro que pode indicar efeitos dos sistemas de manejo do solo e, consequentemente, influenciar no crescimento das culturas (Cortez et al., 2018; Gomes e Peña, 1996).

O monitoramento dos atributos físicos do solo no início e após as atividades agrícolas são ferramentas que permitem o planejamento das práticas de cultivo a serem adotadas, pois estes

atributos, quando avaliados continuamente, permitem monitorar a eficiência do sistema de manejo adotado (Torres et al., 2015).

Cuidados como preparo menos intenso do solo, tráfego leve, evitar trabalhar sobre o solo úmido, reduzir a pressão de contato das máquinas sobre o solo e realizar um planejamento adequado de safra podem evitar a compactação (Ferrari et al., 2018).

Diante disto, a análise espacial colabora com o planejamento de ações de manejo relativas à resistência do solo à penetração (RP), sendo uma ferramenta importante para associar valores com sua localização no espaço e tempo, permitindo a estimativa de compactação em locais não amostrados (Lima et al., 2013). Portanto, os métodos geoestatísticos mostram-se viáveis para o estudo da variabilidade espacial da RP em seções transversais à linha de tráfego (Lima et al., 2008).

Neste trabalho, objetivou-se avaliar a variabilidade espacial da resistência à penetração do em sistemas de manejos no perfil do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Experimental de Ciências Agrárias – FAECA, da Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil, com altitude média local é de 446 m, latitude de 22º 11’ 45’’ S e longitude 54º 55’ 18’’ W. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen (1948), é do tipo Cwa (mesotérmico úmido), com verão chuvoso e inverno seco e com temperatura média anual de 22ºC, apresentando solo classificado como Latossolo Vermelho distroférrico, muito argiloso.

Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos foram compostos por seis sistemas de manejo. As especificações de profundidade de trabalho dos implementos encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Especifição das operações realizadas nos tratamentos e suas respectivas profundidades.

Tratamento	Operações	Profundidade (m)
EC	escarificação cruzada e uma gradagem	0,35; 0,15
CM	uma escarificação	0,35
EG	uma escarificação e uma gradagem	0,35; 0,15
GR	uma gradagem	0,15
SM	sem mobilização	-
PC	uma aração e duas gradagens (plantio convencional)	0,30; 0,15

Cada parcela experimental ocupou área de 16,6 m de comprimento e 18 m de largura (total de 298,8 m^2). No sentido longitudinal entre as parcelas, foi reservado um espaço de 12 m, destinado à realização de manobras, tráfego de máquinas e estabilização dos conjuntos.

No preparo das parcelas dos sistemas de manejo do solo foram utilizados: escarificador de cinco hastes, com ponteira estreita de 0,08 m de largura a 0,35 m de profundidade (tratamentos com escarificação); arado de aivecas recortadas com 0,30 m de profundidade (tratamento com aração); grade destorroadora-niveladora, tipo off-set, de arrasto, com 20 discos de 0,51 m de diâmetro (20”) em cada seção, sendo na seção dianteira discos recortados e lisos na traseira, na profundidade de 0,15 m (tratamentos com gradagem).

Após realizar os manejos, com intuito de verificar a compactação no perfil do solo, realizou-se a coleta de dados da resistência do solo à penetração a uma profundidade de 40 cm, coletados a cada 2,5 cm, em uma distância transversal de quatro metros, fazendo-se uma coleta des dados a cada um metro. Utilizou-se um penetrômetro eletrônico automatizado denominado de SoloStar (Falker, 2010), modelo PLG5500. Além disso, para caracterizar a área foi determinado o teor de água no solo pelo método gravimétrico, de acordo com parâmetros da Embrapa (1997) (Tabela 2).

Tabela 2. Média do teor de água do solo para caracterização da área em cada manejo.

Manejo	Profundidade (cm)				Média (%)
	0 a 10	10 a 20	20 a 30	30 a 40	
EC	18,40	17,28	17,57	18,59	17,96

CM	19,32	17,98	20,13	22,49	19,98
EG	18,03	18,31	21,01	20,10	19,36
GR	18,99	18,63	22,78	23,78	21,04
SM	20,99	21,32	25,41	26,41	23,53
PC	18,00	17,08	19,65	22,72	19,36

A resistência do solo à penetração foi analisada por meio da análise estatística descritiva e de técnicas de geoestatística. A estatística descritiva foi utilizada para estudar a tendência e dispersão dos dados em cada seção transversal, bem como a sua forma de distribuição.

Na geoestatística da RP foram construídos semivariogramas, no qual foram testados os tipos esférico, exponencial, linear e gaussiano. Para o ajuste desses modelos teóricos, observaram-se o maior valor do coeficiente de determinação (R^2) e a soma do quadrado dos resíduos (SQR), e, posteriormente, o coeficiente de correlação obtido pela técnica da validação cruzada. Os semivariogramas forneceram estimativas dos parâmetros: efeito pepita (C0), patamar (C0 + C) e alcance. Utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994) para análise da dependência espacial (GDE), em que são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm efeito pepita menor ou igual a 25% do patamar, moderada quando está entre 25 e 75% e fraca quando for maior que 75%. Após à modelagem dos semivariogramas, foi realizada a interpolação por "krigagem" ordinária para a estimativa de valores em locais não amostrados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os manejos apresentam valores da média e mediana distintos entre si, mostrando que houve dispersão dos dados fora da posição central (Tabela 3). Os coeficientes de variação (CV) apresentaram valores considerados altos por serem maiores que 30% em todos os manejos de solo de acordo com Pimentel-Gomes e Garcia (2002). Espera-se alto coeficiente de variação quando os dados apresentam grande amplitude nos valores, conforme os valores de mínimo e máximo mostram (Carvalho et al., 2003).

O coeficiente de assimetria negativo para todos os manejos caracteriza curva de distribuição mais alongada à esquerda pela concentração de pontos, além disso, os manejos EG e GR apresentara curtose negativo, caracterizando curvas de distribuição mais achatadas em relação ao normal.

TABELA 3. Dados da análise descritiva da resistência do solo à penetração.

Manejos	**Média**	**Mediana**	**S**	**Mín.**	**Máx.**	**Coeficiente**		
	(MPa)			**(MPa)**		**CV**	**Cs**	**Ck**
CM	2,13	2,36	0,84	0,06	3,17	39,29	-1,38	1,10
EC	2,16	2,39	0,82	0,06	3,13	38,06	-1,37	1,20
EG	2,38	2,62	1,14	0,06	4,20	48,34	-0,55	-0,62
GR	2,41	2,88	1,09	0,06	3,66	45,32	-1,03	-0,29
PC	2,12	2,41	0,83	0,06	3,28	39,28	-1,22	0,58
SM	2,25	2,69	0,95	0,06	3,31	42,36	-1,21	0,24

CM - uma escarificação; EC - escarificação cruzada e uma gradagem; EG - uma escarificação e uma gradagem; GR - uma gradagem; SM - sem mobilização; uma aração e duas gradagens (plantio convencional); S - desvio padrão; Mín - valor mínimo; Máx - valor máximo; CV - coeficiente de variação; Cs - coeficiente de assimetria; e Ck - coeficiente de curtose.

A avaliação de RP, expressa por meio dos semivariogramas, apresentaram dependência espacial forte em todos os manejos do estudo, sendo que o manejo CM foi o único que se ajustou ao modelo esférico (Tabela 4). Este modelo de semivariograma é o que melhor se ajusta aos valores de RP, segundo Ferrari et al. (2018). Contudo, neste estudo, para os demais manejos, a RSP ajustou-se o modelo gaussiano.

O alcance da RP variou de 25,63 (EG) até 63,8 (63,8). Portanto, tais dados mostram que a distância de cem centímetros utilizada para amostragem não foi eficiente, sendo indicada uma distância de 25 cm. O alcance de dependência espacial é um parâmetro importante no estudo do semivariograma e define a distância máxima que uma variável está correlacionada espacialmente, ou

seja, está informação mostra que os vizinhos situados dentro de um círculo com esse raio são similares, podendo ser utilizados para estimar valores em qualquer ponto entre eles (Salviano et al., 1998).

TABELA 4. Dados dos semivariogramas escalonados da resistência do solo à penetração.

Manejo	Modelo	C_0	$C_0 + C_1$	a	R^2	GDE
CM	Esférico	0,03	2,07	63,8	0,94	Forte
EC	Gaussiano	0,21	2,54	63,22	0,88	Forte
EG	Gaussiano	0,009	2,49	25,63	0,98	Forte
GR	Gaussiano	0,22	4,30	52,13	0,99	Forte
PC	Gaussiano	0,13	3,28	61,14	0,88	Forte
SM	Gaussiano	0,18	3,37	54,39	0,97	Forte

CM - uma escarificação; EC - escarificação cruzada e uma gradagem; EG - uma escarificação e uma gradagem; GR - uma gradagem; SM - sem mobilização; uma aração e duas gradagens (plantio convencional); C_0 - efeito pepita; $C_0 + C_1$ - patamar; a - alcance da dependência espacial (cm); R^2 - coeficiente de determinação do modelo; GDE - grau de dependência espacial; e Modelo - nível de dependência moderada.

Os mapas de isolinhas, que representam a RP no perfil do solo após preparo do solo, mostram uma tendência de que a partir de 20 cm de profundidade existam maiores valores de resistências, independentemente do manejo empregado (Figura 1).

No preparo de solo EG foi o único manejo apresentar valores acima de 4 MPa na profundidade 20-30 cm, sendo que os outros manejos o máximo encontrou-se na casa de 3 MPa.

Para cultura da soja, em solo latossolo roxo, valores de resistência em torno de 2,5 MPa (solo friável) são considerados baixos para serem restritivos ao crescimento radicular, contudo, resistências entre 3,5 a 6,5 MPa podem apresentar problemas de impedimento mecânico no desenvolvimento radicular (Torres e Saraiva, 1999). Contudo, para a cultura do milho, sob plantio direto, o valor crítico de RSP para o seu desenvolvimento é 2 MPa (Afzalinia e Zabihi, 2014). Essa compactação é uma das maiores causas da degradação de solos agrícolas, resultando em sérias consequências sobre o desenvolvimento das plantas (Klein et al., 2013).

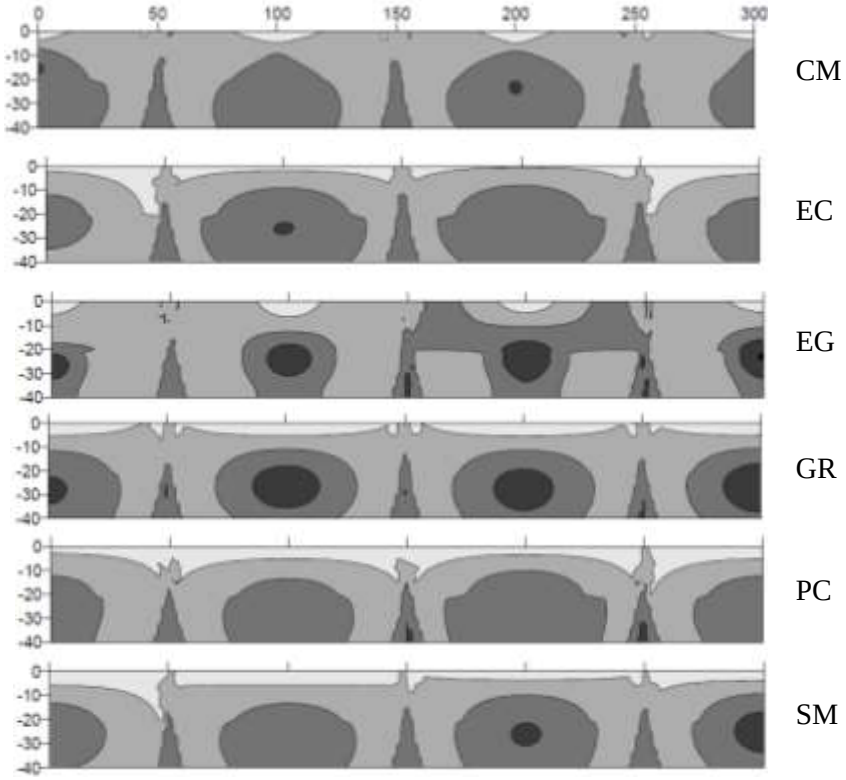

Figura 1. Mapa de isolinhas da resistência do solo na seção transversal até a profundidade de 40 cm.

CONCLUSÃO

Os sistemas de manejos do solo favoreceram menor resistência do solo a penetração na camada superficial em comparação as camadas subsuperficial.

Os manejos com uma gradagem e escarificação mais uma gradagem proporcionaram a maior resistência do solo a penetração.

A distância de amostragem deve ser mais adensada em relação à utilizada neste estudo a fim de se avaliar a resistência do solo à penetração.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão de bolsa de doutorado no primeiro autor.

REFERÊNCIAS

AFZALINIA, S.; ZABIHI, J. Soil compaction variation during corn growing season under conservation tillage. **Soil and Tillage Research**, v.137, p.1-6, Apr. 2014.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A.E. Fieldscale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal Abstract**, v.58, p.1501- 1511, 1994.

CARVALHO, C.G.P.; ARIAS, C.A.A.; TOLEDO, J.F.F.; ALMEIDA, L. A. DE; KIIHL, R.A. DE S.; OLIVEIRA, M. F. DE; HIROMOTO, D. M.; TAKEDA, C. Proposta de classificação dos coeficientes de variação em relação à produtividade e altura da planta de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileiro**, v.38, p.187-193, 2003.

CORTEZ, J.W.; MATOS, W.P.; ARCOVERDE, A.N.S.; CAVASSINI, V.H.; VALENTE, I.Q. M. Spatialvariability of soil resistance to penetration in no tillage system. **Engenharia Agrícola**, v. 38, n.5, p. 697-704, 2018.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro-RJ: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212 p.

FALKER. Automação Agrícola. SoloStar. Porto Alegre: Falker, 2010. 7p.

FERRARI, J.M.S.; GABRIEL, C. P. C.; SILVA, T.B.G.; MOTA, F.D.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; TANAKA, E. M. Análise da variabilidade espacial da resistência à penetração do solo em diferentes profundidades. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v.12, n.2, p.164-175, 2018 .

GOMES, A. de S.; PEÑA, Y.A. Caracterização da compactação através do uso do penetrômetro. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.49, n.1, p.18-20, 1996.

KLEIN, V. A.; MADALOSSO, T.; BASEGGIO, M. Ensaio de Proctor normal–análise metodológica e planilha para cálculo da densidade do solo máxima e teor de água ótimo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages-SC, v.12, n.2, p.199- 203, 2013.

KÖPPEN, W. Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra. Fondo de Cultura Econômica. México, 1948. 479p.

LIMA, J. S. DE S.; OLIVEIRA, P. C.; OLIVEIRA, R. B. DE; XAVIER, A. C. Métodos geoestatísticos no estudo da resistência do solo à penetração em trilha de tráfego de tratores na colheita de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.5, p.931-938, 2008.

LIMA, R. P.; DE LEÓN, M. J.; DA SILVA, A. R. Compactação do solo de diferentes classes texturais em áreas de produção de cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, Viçosa, v.60, n.1, p.016-020, jan/fev, 2013.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações pra uso de aplicativos**. Piracicaba: Fealq, 2002. 309p.

SALVIANO, A.A.C.; VIEIRA, S.R.; SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de Crotalaria juncea (L) em área severamente erodida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.22, n. 1, p.115-122, 1998.

TORRES, J.L.R.; COSTA, D.D.A; SILVA NETO, O.F.; ARAÚJO, A.S.; SILVA, V.R.; VIEIRA, D. M.S. Avaliação da resistência à penetração e densidade do solo num latossolo sob semeadura direta há doze anos. **Global Science and Technology**, Rio Verde-GO, v.8, n.1, p.131-140, 2015.

TORRES, E.; SARAIVA, O.F. Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 23).