

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA À
PENETRAÇÃO EM ÁREA DE SISTEMA PLANTIO
DIRETO**

WÉLITON PEREZ DA SILVA MATOS

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2015**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA À
PENETRAÇÃO EM ÁREA DE SISTEMA PLANTIO
DIRETO**

Wéilton Perez da Silva Matos

Orientador: PROF. DR. JORGE WILSON CORTEZ

Trabalho de conclusão de curso apresentado
à Universidade Federal da Grande
Dourados, como parte das exigências do
Curso de Graduação em Engenharia
Agrícola.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

M433v Matos, Wéliton Perez da Silva

Variabilidade espacial da resistência à penetração em área de sistema plantio direto / Wéliton Perez da Silva Matos -- Dourados: UFGD, 2015.

30f. il.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez.

Monografia (TCC em Ciências Agrárias) FCA, Faculdade de Ciências Agrárias – Universidade Federal da Grande Dourados.

1. Mecanização Agrícola. 2. Agricultura de Precisão. 3. Geostatística. I. Título.

CDD – 634.9

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD.

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte

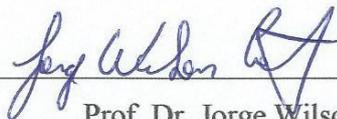
Variabilidade espacial da resistência à penetração em área de sistema plantio direto

Por

Wéilton Perez da Silva Matos

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para obtenção do grau de Bacharel em ENGENHARIA AGRÍCOLA

Aprovado em 03/11/2015.



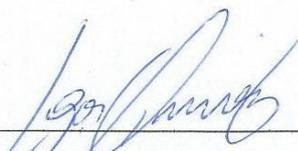
Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez

Orientador – UFGD/FCA



Profa. Dra. Anamari Viegas de Araújo Motomiya

UFGD/FCA



Eng. Agrícola, Mestrando, Igor Queiroz MoraesValente

UFGD/FCA

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me proporcionar essa vida, e sempre iluminar meu caminho.

A minha mãe, Dona Vânia, por seu amor sincero e dedicação desmedida.

A meu avô, Eduardo Matheus, por mostrar uma boa forma de se viver a qualquer um que compartilhe sua presença.

A minha avó, Cleuza Perez, por ser essa mãe.

Ao Juari, Jualiano, Mene, Juarez, Fran, Raquel, Eduardo, Mizael e Oberdan, por me darem apoio em seja qual for a situação.

À UFGD – Universidade Federal da Grande Dourados junto ao curso de Engenharia Agrícola da FCA – Faculdade de Ciências Agrárias, pela estrutura de ensino fornecida.

Ao Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez, pela orientação e ensinamentos que me foram passados ao longo desse período.

Ao Prof. Dr. Guilherme Augusto Biscaro e Prof. Dra. Anamari Viegas de Araujo Motomiya por sempre incentivarem minha carreira acadêmica.

Ao Engenheiro Agrícola Queiroz Moraes Valente pela ajuda na coleta dados.

SUMÁRIO

	Páginas
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
1. INTRODUÇÃO.....	7
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1 Agricultura de precisão	9
2.2 Sistemas de manejo do solo	10
2.3 Compactação do solo	11
2.4 Resistência à penetração do solo.....	12
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1 Local.....	14
3.2 Equipamentos utilizados	15
3.3 Atributos do solo	16
3.4 Análise dos dados.....	17
4 RESULTADO E DISCUSSÃO.....	18
5 CONCLUSÕES	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

MATOS, W.P.S. **Variabilidade espacial da resistência à penetração em área de sistema plantio direto**. 2015. 31f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

RESUMO

O aumento do uso de máquinas agrícolas e o não revolvimento do solo pelo uso do sistema plantio direto pode causar aumento da compactação do solo. Assim, objetivou-se avaliar a variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração (RP) em área de sistema plantio direto, considerando o valor médio e o valor máximo da RP em cada camada de solo avaliada. A coleta de dados ocorreu no município de Dourados, MS, especificamente na Fazenda Experimental da UFGD. Foi utilizado um penetrômetro eletrônico automatizado até a profundidade de 0,40 m utilizando uma malha amostral com 40 pontos equidistantes um do outro de 45 m. O valor médio da resistência do solo à penetração em cada ponto foi obtido por três replicações em um raio de cinco metros do ponto central. Posteriormente a coleta os dados foram analisados pela estatística descritiva e pela geoestatística para confecção dos mapas de variabilidade espacial. Os resultados mostraram que há variabilidade espacial na área, e que a adoção do sistema plantio direto e o tráfego de máquinas na área favoreceram ao aparecimento de valores intermediários de RP, na maior parte da área. O uso do valor máximo da camada, ao invés da média deve ser utilizado por permitir melhor identificação dos locais onde deve se feito a escarificação/subsolagem.

Palavras-chave: mecanização agrícola, agricultura de precisão, geoestatística

MATOS, W.P.S. **Spatial variability of the penetration resistance under no-tillage area**. 2015. 31f. Term paper (Agricultural engineering) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

ABSTRACT

The increased use of agricultural machines and no soil disturbance by the use of tillage system can cause increased soil compaction. The objective was to evaluate the spatial variability of soil mechanical resistance to penetration (RP) under no-tillage area, considering the average value and the maximum value of RP in each layer of soil evaluated. Data collection occurred in the municipality of Dourados, MS, specifically at the Experimental Farm UFGD. It used an automated electronic penetrometer to a depth of 0.40 m using a sampling grid with 40 points equidistant from each other 45 m. The average soil resistance to penetration in each point was obtained for three replicates within a radius of five meters from the central point. Subsequently collecting the data were analyzed using descriptive statistics and geostatistics for tailoring spatial variability maps. The results showed that there is spatial variability in the area, and that the adoption of no-tillage and machinery traffic in the area favored the emergence of intermediate values of RP, in most of the area. Using the maximum value of the layer, rather than the average must be used to allow better identification of where it should be done scarification / subsoil.

Key-words: agricultural mechanization, precision agriculture, geostatistics

1 INTRODUÇÃO

Com a crescente expansão da população mundial gerando um aumento na demanda por alimentos, e o desenvolvimento de setor energético, elevou-se o tráfego de máquinas e implementos nos campos agrícolas para realizar práticas mecânicas nas culturas exploradas. Esse fluxo contínuo junto a uma elevação na massa e potência dos tratores e máquinas utilizadas causa problema que vem sendo um dos gargalos da agricultura, a compactação do solo.

As condições físicas para desenvolvimento das plantas junto à produtividade das culturas são determinadas de acordo com o manejo e preparo que foi aplicado ao solo dessa área. Um solo pode perder sua qualidade física dependendo da cultura, do clima, do tipo de solo e do seu manejo, o que acarretará em limitações do desenvolvimento radicular.

Os solos agrícolas funcionam como um sistema complexo que retém e transmite água, ar, nutrientes e calor às sementes e plantas, de maneira que é fundamental um ambiente físico favorável ao crescimento radicular, para maximizar a produção das culturas (LETEY, 1985; HAMBLIN, 1985)

A resistência do solo à penetração é uma das propriedades físicas do solo diretamente relacionados com o crescimento das plantas (LETEY, 1985), e modificados pelos sistemas de manejo do solo. O crescimento das raízes pode causar a deformação do solo numa zona próxima à ponta das raízes e a pressão exercida contra as partículas e/ou agregados deve ser suficiente para propiciar a penetração e o alongamento das raízes (BENNIE, 1996). Valores excessivos de resistência do solo à penetração podem influenciar o crescimento das raízes em comprimento e diâmetro (MEROTTO e MUNDSTOCK, 1999) e na direção preferencial do crescimento radicular (IJIMA e KONO, 1991). A determinação da RP em condições de campo tem sido feita, normalmente, com o auxílio de penetrômetros, que são aparelhos de fácil manuseio e não requerem muito tempo para a tomada das medições (DEXTER et al., 2007).

A adoção de novas tecnologias para aumentar a produtividade e atender as demandas mundiais, mesmo associadas a técnicas de conservação, causam diferentes formas de degradação, em médio e longo prazo. Entre os problemas de degradação enfrentados pelos agricultores, a compactação do solo se destaca em diversas regiões,

seja em sistema de plantio direto ou convencional e em pastagens (ROQUE et al., 2010).

Portanto, objetivou-se avaliar a variabilidade espacial da resistência do solo à penetração (RP) em área de sistema plantio direto, considerando o valor médio e o valor máximo da RP em cada camada de solo avaliada.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Agricultura de precisão

A agricultura de precisão (AP), numa definição mais sistêmica é acima de tudo, uma nova forma de gestão e gerenciamento da produção agrícola. É um elenco de tecnologias e procedimentos utilizados para que as lavouras e os sistemas de produção sejam otimizados, tendo como elemento chave o gerenciamento da variabilidade espacial da produção e dos fatores nela envolvidos (SWINTON e LOWENBERG-DEBOER, 1998).

Dallmeyer & Schlosser (1999) relatam que a agricultura de precisão engloba o uso de tecnologias atuais para o manejo do solo, insumos e culturas de modo adequado para as variações espaciais e temporais nos fatores que afetam a produtividade das mesmas. O que tem levado a esta nova filosofia de prática agrícola é o uso de três novas tecnologias, que são o sensoriamento remoto, o uso de sistemas de informações geográficas (SIG) e o sistema de posicionamento global (GPS). A agricultura de precisão é um conceito de sistema de produção agrícola que envolve o desenvolvimento e a adoção de técnicas de gestão, baseado no conhecimento com o objetivo principal de otimizar a rentabilidade. Este sistema permite práticas de gerenciamento com computador pessoal, que é a possibilidade de administrar cada local do campo adequadamente, se é econômico e tecnicamente vantajoso administrá-lo a este nível.

Davis (1998) afirmou que a agricultura de precisão foi frequentemente definida com base nas tecnologias que permitem que seja realizada com o GPS (Sistema de Posicionamento Global) ou sistemas de taxa variável. Tão importantes quanto os dispositivos usados na agricultura de precisão, é perceber que a informação usada ou coletada é o ingrediente chave para o sucesso do sistema. O conceito de agricultura de precisão se distingue da agricultura tradicional por seu nível de manejo. Em vez de administrar uma área inteira como uma única unidade, o manejo é adaptado para pequenas áreas pequenas dentro de um campo.

Conforme citado por Gentil e Ferreira (1999) a agricultura de precisão promete grandes benefícios para os usuários deste sistema como: redução do grave problema do risco da atividade agrícola; redução dos custos da produção; tomada de decisão rápida e certa; controle de toda situação, pelo uso da informação; maior produtividade da lavoura; mais tempo livre para o administrador; melhoria do meio ambiente pelo menor uso de defensivo.

2.2 Sistemas de manejo do solo

O manejo do solo consiste num conjunto de operações realizadas com objetivos de propiciar condições favoráveis à sementeira, ao desenvolvimento e à produção das plantas cultivadas, por tempo ilimitado. Para que esses objetivos sejam atingidos, é imprescindível a adoção de diversas práticas, dando-se prioridade ao uso do sistema plantio direto visto que envolve, simultaneamente, todas as boas práticas conservacionistas. Alternativamente justificado, poderão ser utilizadas práticas racionais de preparo do solo (EMBRAPA, 2003).

A Embrapa (2003) afirmou de maneira geral, que se podem considerar, os seguintes tipos de manejo do solo: preparo convencional - provoca inversão da camada arável do solo, mediante o uso de arado; a esta operação seguem outras, secundárias, com grade ou cultivador, para triturar os torrões; 100% da superfície são removidos por implementos. Este tipo de preparo só deve ser utilizado quando da correção de algumas características na subsuperfície do solo, onde necessite de incorporação de corretivos ou rompimento de camadas compactadas. Preparo mínimo - intermediário, que consiste no uso de implementos sobre os resíduos da cultura anterior, com o revolvimento mínimo necessário para o cultivo seguinte. Geralmente é utilizado um escarificador a 15cm suficiente para romper crostras e pé de grade niveladora. Sistema plantio direto - aqui, as sementes são semeadas por meio de semeadora especial sobre a palhada de culturais do cultivo anterior ou de culturas de cobertura palha produzidas no local para este fim. Plantio semi direto - semelhante ao sistema plantio direto; a sementeira direta sobre a superfície, com semeadora especial, diferindo deste sistema apenas por haver poucos resíduos na superfície do solo.

Os sistemas de preparo do solo devem oferecer condições favoráveis ao crescimento e desenvolvimento das culturas. No entanto, dependendo do solo, do clima, da cultura e de seu manejo, podem promover a degradação da qualidade física do solo, com restrições ao crescimento radicular (KLUTE, 1982).

O sistema radicular das culturas apresenta diferentes graus de tolerância à compactação, porém, de maneira generalizada, as plantas respondem a valores críticos, a partir dos quais se iniciam restrições ao seu crescimento. Em Podzólico Vermelho-Escuro, Mello Ivo e Mielniczuk (1999) observaram que, na camada superficial (0-5 cm), a densidade de comprimento radicular (cm de raiz por cm³ de solo) sob plantio direto foi significativamente maior que sob preparo convencional de solo, sendo essa situação invertida na camada de 10-15 cm de profundidade e similar na de 15-20 cm.

Do ponto de vista agrícola, os sistemas de manejo que utilizam o preparo do solo para a produção vegetal resultam em perdas de matéria orgânica pela ruptura dos agregados e sua exposição (BRUCE et al., 1999). A diminuição da matéria orgânica causa o adensamento do solo, influenciando por isso no aumento da sua resistência à penetração. Contudo, o solo não será adensado quando, por outro lado, houver o incremento de matéria orgânica decorrente de maiores adições do que perdas por oxidação de carbono, o que ocorre em áreas sob semeadura direta (BRUCE et al., 1999; TRIPLETT JUNIOR e VAN DOREN JUNIOR, 1969). Os teores de matéria orgânica nessas áreas podem alcançar ou até ultrapassar o dos ecossistemas naturais (SÉGUY & BOUZINAC, 2001)

Os sistemas de manejo do solo têm grande influência nas características físicas do solo e estão relacionados com a compactação. O sistema de plantio direto é uma técnica eficiente no controle da erosão do solo, quando comparado com o sistema convencional (SEGANFREDO et al., 1997; BERTOL et al., 1997).

2.3 Compactação do solo

A compactação do solo é um problema comumente observado nas lavouras em que foi adotado o sistema de plantio direto (SPD), especialmente em solos argilosos. Sua origem está relacionada ao não revolvimento do solo, permitindo o acúmulo de pressões produzidas pelo tráfego contínuo de máquinas agrícolas e/ou animais, principalmente em dias de alta umidade do solo, provocando, assim, mudanças

significativas em algumas propriedades físicas do solo (MENTGES et al., 2007). Seixas (1988) descreveu essa compactação por mudanças resultantes de aumento da densidade, decréscimo no volume de macroporos, infiltração e movimento interno de água mais lentos e maior resistência mecânica ao crescimento das raízes.

De acordo com Materechera et al. (1992), a resistência mecânica do solo causa aumento do diâmetro das raízes na camada compactada por provocar modificações morfológicas e fisiológicas, específicas a cada espécie ou cultivar, a fim de se adaptarem. As raízes diminuem de diâmetro para penetrar pequenos poros, pois a resistência do solo estimula a proliferação de raízes laterais, as quais são mais finas (RUSSEL e GOSS, 1974). Portanto, existe uma estreita relação entre porosidade do solo e crescimento radicular, com crescimento de raízes maior onde há maior número e continuidade de macroporos (HATANO et al., 1988).

A compactação do solo é um processo que leva ao aumento de sua resistência, redução da porosidade, da continuidade de poros, da permeabilidade e da disponibilidade de nutrientes e água. Esse processo afeta o crescimento e o desenvolvimento radicular, aumenta a densidade do solo, as perdas de N por desnitrificação, o consumo de combustível das máquinas no preparo dos solos compactados e aumenta a erosão do solo pela menor infiltração de água (SOANE e OUWERKERK, 1994). Por diminuir a macroporosidade, a água retida nos microporos permanece sob altas tensões indisponível para as plantas (KERTZMANN, 1996).

A agricultura praticada nas diversas regiões brasileiras tem propiciado a compactação dos solos, tanto nos sistemas plantio direto e preparo convencional do solo, como em pastagens (RALISCH et al., 2008), o que reduz a profundidade efetiva das raízes.

2.4 Resistência à penetração do solo

A resistência à penetração do solo é uma propriedade física que se caracteriza em função de sua compactação. (Lima et al 2010), afirmam que a compactação do solo é definida como a alteração na estrutura do solo por forças externas, como o uso de equipamentos agrícolas ou pisoteio de animais, que provocam aproximação de suas partículas, diminuindo o volume e os espaços porosos.

Medida por penetrômetros, a resistência à penetração é a pressão sobre a área de um cone com ângulo sólido de 30° e este índice é regulamentado pela norma ASAE S.313.3, podendo ser considerado um bom indicador da compactação quando corretamente utilizado. Este valor, denominado índice de cone, representa a resistência do solo à penetração de um elemento normalizado (ponta cônica) (POTRICH, 2012).

A resistência do solo à penetração tem sido usada com frequência para avaliar a compactação por ser a melhor estimativa do impedimento mecânico do solo ao crescimento radicular; ser indicadora sensível da compactação; ser atributo diretamente relacionado ao crescimento das plantas e ser de determinação fácil e rápida (BENGHOUGH; MULLINS, 1990; FRITTON, 1990; STOLF, 1991; TORMENA; ROLOFF, 1996; CASAGRANDE, 2001).

Freddi et al. (2007) verificaram que valores de resistência à penetração variando entre 1,03 e 5,69 MPa provocaram alterações na morfologia do sistema radicular do milho, reduzindo a produtividade da cultura em 2,58 Mg ha⁻¹, mas não foram impeditivos ao enraizamento. Além disso, a produtividade ajustou-se a um modelo quadrático com o aumento da resistência à penetração do solo, obtendo-se o valor crítico de 1,65 MPa, a partir do qual a produtividade decresceu em 38 %.

Rosolem et al. (1999) observaram crescimento radicular do milho mesmo com 2 MPa de resistência à penetração, na camada de solo compactado, e ressaltaram a necessidade de relacionar a resistência do solo à penetração com a aeração e com o potencial matricial de água do solo, para melhor compreender as restrições causadas pela compactação.

A acentuada variabilidade espacial da resistência à penetração de um solo compactado é determinada principalmente pelo teor de água e densidade do solo. A resistência do solo também varia em função da profundidade: geralmente aumenta até atingir um pico em determinada profundidade (RAPER e KIRBY, 2006).

Valores excessivos de resistência do solo à penetração podem influenciar o crescimento das raízes em comprimento e diâmetro (MEROTTO e MUNDSTOCK, 1999) e na direção preferencial do crescimento radicular (IIJIMA e KONO, 1991). Além disso, estudos recentes indicam que a resistência do solo à penetração das raízes tem efeitos diretos no crescimento da parte aérea das plantas (MASLE e PASSIOURA, 1987) e na partição de carboidratos entre a raiz e parte aérea (MASLE e FARQUHAR, 1988).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local

O trabalho foi conduzido na FAECA – Fazenda Experimental de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD no município de Dourados, MS. O local situa-se em latitude de 22°14'S, longitude de 54 °59'W e altitude de 434 m. O clima é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen. O solo da área é um Latossolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 2006). No Quadro 1 é apresentada a análise granulométrica do solo.

QUADRO 1. Granulometria e densidade de partículas (DP) do Latossolo Vermelho da Fazenda Experimental da UFGD, Dourados (2013).

Camadas (m)	Argila	Silte	Areia	DP
	-----%-----			g cm ⁻³
0,00-0,10	59,78	21,73	18,49	2,75
0,10-0,20	59,26	22,24	18,50	2,69
0,20-0,30	62,31	19,79	17,91	2,84
0,30-0,40	62,83	20,23	16,94	2,75
0,40-0,50	64,31	18,90	16,79	2,69
0,50-0,60	64,86	19,72	15,42	2,79

Fonte: RODRIGUES (2014)

A área experimental foi conduzida por mais de 20 anos em sistema plantio direto (Figura 1), 7,65 ha, tendo como culturas de verão soja e inverno milho, em um sistema de sucessão de culturas sem revolvimento do solo. A malha amostral foi composta de 40 pontos amostrais distribuídos na área.

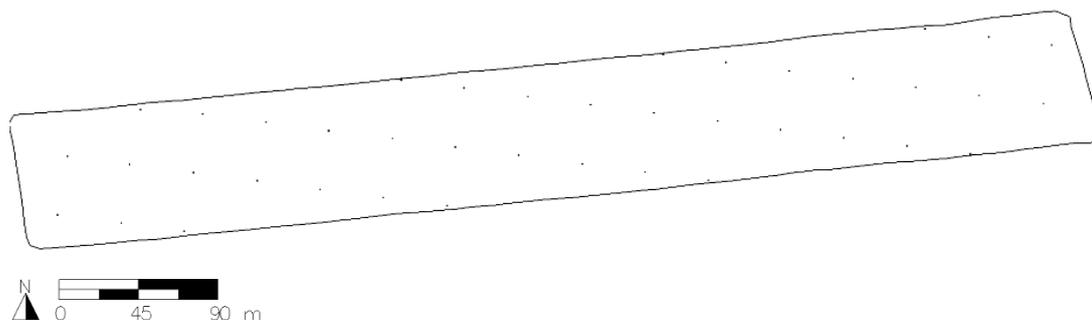


FIGURA 1. Área experimental e os pontos da malha amostral.

3.2 Equipamentos utilizados para a coleta dos atributos

Para a coleta de dados foi utilizado um conjunto quadriciclo+amostrador de solo+penetrômetro eletrônico+coletor de dados. (Figura 2).



FIGURA 2. Conjunto utilizado para amostragem da resistência à penetração.

O quadriciclo utilizado foi da marca Honda, modelo Fourtrax TRX420FM, 4WD, com sistema de transmissão de cinco marchas, refrigeração a água, injeção eletrônica e potência máxima no motor de 19,80 kW (26,9 cv) a 6250 rpm, com massa de 263 kg vazio.

O penetrômetro eletrônico denominado de SoloStar (FALKER, 2010), modelo PLG5500, sistema automatizado para medição da compactação, por meio da medição da resistência mecânica do solo à penetração, equipado com haste com cone tipo 2, com resolução de coleta de 10 mm e capacidade de armazenamento de 910 medições.

O amostrador de solo, denominado de SoloDrill, modelo AMS35XX, da empresa Falker Automação Agrícola (FALKER, 2013a), com sistema hidráulico acionado por motor estacionário e amostragem por broca de 7/8 polegadas que permite a amostragem do solo até a profundidade de 0,40 m.

O coletor de dados e sistema de navegação em campo utilizado foi do modelo FBX3050, da empresa Falker Automação Agrícola (FALKER, 2013b), que serviu para geração do contorno da área, confecção da grade amostral e navegação para a coleta de dados com o conjunto.

Para geração dos mapas foi utilizado o software FalkerMap Plus (FALKER 2011) que é um software de agricultura de precisão destinado à geração de mapas para a análise de dados de solo e planta.

3.3 Atributos do solo

Coletaram-se dados da resistência do solo à penetração (RP), por meio de um penetrômetro eletrônico, até a profundidade de 0,40 m, com sistema de navegação que realizou o contorno da área e gerou-se uma malha amostral com pontos equidistantes de 0,20 há (aproximadamente 45 m entre pontos) resultando em 40 pontos amostrais. Em cada ponto amostral foi realizada três replicações em um raio de até 5 m do ponto marcado para coleta no sistema.

Coletou-se amostras deformadas nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m de modo aleatório na área para determinação da umidade do solo no momento de coleta dos dados de resistência à penetração, sendo determinado pelo método gravimétrico, conforme Kiehl (1979) e Claessen (1997).

$$U = \frac{(MI - MII)}{(MII - TA)} \times 100 \quad (1)$$

Em que: U: umidade do solo em %; MI: massa úmida de solo mais o peso da lata (g); MII: massa seca de solo mais o peso da lata (g); e TA: peso da lata em (g).

No Quadro2 é apresentada a umidade do solo no momento da coleta de dados de resistência à penetração.

QUADRO 2. Umidade do solo no momento da coleta da resistência mecânica do solo à penetração.

Camada (m)	Umidade do solo (%)
0,00-0,10	23,37
0,10-0,20	23,94
0,20-0,30	27,11
0,30-0,40	26,50

3.4 Análise dos dados

Inicialmente, os dados de RP foram analisados por meio da estatística descritiva, segundo VIEIRA et al. (2002), obtendo-se média, variância, coeficiente de variação, assimetria e curtose. Foi utilizado o teste Ryan-Joiner para verificar a normalidade dos dados. Posteriormente os dados foram analisados considerando a média da camada e depois o valor máximo da resistência à penetração.

A modelagem dos semivariogramas foi realizada no software FalkerMap Plus. Posteriormente foi realizada a interpolação por krigagem ordinária, sendo esta uma técnica de interpolação para estimativa de valores de uma propriedade em locais não amostrados. Por meio da interpolação por krigagem, os mapas de isolinhas (bidimensionais) foram construídos para o detalhamento espacial dos dados coletados, utilizando uma grade de interpolação de 20 m.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Analisando a umidade do solo em diferentes camadas, verificou-se que o preparo ideal ocorre quando a mesma se encontra abaixo do ponto crítico de compactação, de acordo com FIGUEIREDO et al. (2000), a umidade do solo deve ser menor que 29%, (Quadro 2). Assim como na época de coleta do solo a umidade estava abaixo da crítica de compactação em todas as camadas avaliadas, isto pode contribuir para evitar um eventual aumento da resistência a penetração.

Tomando como base para interpretação da RP (kPa) (FALKER, 2010), para solos argilosos, observa-se que para um nível tolerável sem perda na produtividade, valores devem ser avaliados como sem restrição abaixo de 2500 kPa, para o nível intermediário entre 2500-4000 kPa e acima de 4000 kPa nível crítico a compactação do solo.

Analisando a média estatística (Tabela 1), pode-se verificar que a Resistência à Penetração na profundidade de 0,0-0,10 m esta dentro da faixa tolerável para o crescimento de seu sistema radicular, considerando o valor médio da camada. No entanto, para as demais camadas de 0,20-0,30 m apresenta um nível intermediário de compactação, visando que a cultura do milho e da soja apresenta um crescimento de 0,30 m em suas raízes, podendo assim causar algum dano à mesma (VALENTE, 2014). Entretanto, houve grande amplitude entre valores máximos e mínimos, indicativo de que há pontos críticos na área, os quais devem receber manejo diferenciado. Apesar desta grande amplitude, o coeficiente de variação foi baixo, com os dados seguindo uma distribuição normal. Quando observa-se o valor máximo da camada, todas as camadas apresentam um nível intermediário de compactação.

Quanto ao coeficiente de variação (CV), observaram-se valores baixo ($CV < 15\%$), para a profundidade de 0,10-0,20 m, moderado ($15\% < CV < 25\%$) para as camadas 0,20 -0,30 e 0,30-0,40 m e valores altos ($> 25\%$) para a profundidade de 0,0-0,10 m (WILDING e DRESS, 1983). Segundo Nogueira (2007), um coeficiente de variação maior que 35% revela que a série é heterogênea e a média tem pouco significado; se for superior a 65%, a série é muito heterogênea e a média não tem significado algum. Porém, se for menor que 35% a série é homogênea e a média tem significado, podendo ser utilizada como representativa da série de onde foi obtida.

Desta forma pode-se dizer que em todas as profundidades estudadas, apresentaram dados homogêneos, e a média tem significado.

QUADRO 3. Estatística descritiva dos dados de resistência do solo à penetração (kPa).

Parâmetros	Camadas				Média Geral	RP máxima	Profundidade da RP máxima
	0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30	0,30-0,40			
Valor médio da camada							
Média	1322,6	2658,6	2668,4	2397,4	2238,9	3526,9	21,38
DP	451,0	345,2	488,8	597,5	344,6	594,7	6,43
Variância	203400,3	119161,7	238959,0	357037,9	118751,0	353672,0	41,37
CV	34,10	12,98	18,32	24,92	15,39	16,86	30,09
Mínimo	598,3	2163,7	2006,7	1594,0	1762,3	2657,3	11,00
Máximo	2316,7	3634,0	4209,7	4196,0	3346,0	4856,7	36,00
Assimetria	0,49	0,81	1,38	1,16	1,36	0,71	0,46
Curtose	-0,65	0,19	1,79	1,35	2,10	-0,38	-0,19
Probabilidade	>0,10	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	>0,10
Valor máximo da camada							
Média	2637,0	3117,5	3022,6	2725,0	2875,5	--	--
DP	764,0	449,2	495,8	647,0	427,6	--	--
Variância	583482,0	201805,6	245785,1	419103,0	182834,3	--	--
CV	28,96	14,41	16,40	23,76	14,87	--	--
Mínimo	1585,0	2397,3	2190,7	1812,0	2245,0	--	--
Máximo	4496,0	4361,7	4539,7	4406,0	4042,7	--	--
Assimetria	0,83	0,59	1,22	0,79	1,13	--	--
Curtose	-0,22	0,05	1,69	0,05	1,13	--	--
Probabilidade	0,015	>0,10	<0,01	0,05	<0,01	--	--

* $p \geq 0,05$ dados normais, não significativo - simétrico; ** $p < 0,05$ dados não normais, significativo - assimétrico. DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação;

Deve-se considerar que a resistência à penetração possui relação potencial com a umidade do solo (BUSSCHER et al. 1997), o que pode explicar os valores encontrados para a amplitude e o coeficiente de variação, tendo em vista que pequenas alterações no conteúdo de água determinam grandes variações na grandeza dependente, ou seja, na resistência à penetração.

Os valores de assimetria e curtose apresentados (Quadro 3) fornecem uma indicação da normalidade dos dados, sendo que valores próximos de zero indicam uma tendência dos dados à distribuição normal. Os valores de assimetria e curtose indicaram distribuição próxima à normal para as profundidades de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m. As profundidades apresentaram assimetria positiva, para todas as profundidades. O coeficiente de assimetria é utilizado para caracterizar como e quanto a distribuição de frequência se afasta da simetria. Se o valor encontrado para este coeficiente for zero, a distribuição é simétrica; se for positivo, a distribuição é assimétrica à direita e, se for negativo, é assimétrica à esquerda.

A análise geoestatística revelou que os atributos estudados apresentaram ajuste a um modelo matemático teórico dentro da grade amostral adotada (Quadro 4). Os semivariogramas experimentais foram ajustados ao modelo teórico esférico, conforme a menor raiz quadrada do erro médio.

QUADRO 4. Dados ajustados do semivariograma e da validação cruzada para resistência do solo à penetração

	Camadas (m)				Média Geral	RP máxima no perfil	Prof. da RP máxima
	0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30	0,30-0,40			
	Valor médio da camada						
Modelo	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico
Co	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Co+C	260788,98	194424,61	387278,52	551158,09	205236	528428,7	47,39
A (m)	443,96	584,01	469,96	422,92	475,28	477,72	432,40
	Valor máximo da camada						
Modelo	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico	--	--
Co	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	--	--
Co+C	774631,28	328269,36	425708,27	634859,60	317424	--	--
A (m)	472,26	578,61	512,18	441,09	501,16	--	--

Co: efeito pepita; Co+C: patamar; A: alcance;

O alcance de dependência espacial é um parâmetro muito importante e indica a distância máxima que uma variável está correlacionada espacialmente. O alcance é uma medida importante para planejamento e avaliação experimental, podendo auxiliar na definição de procedimentos amostrais (WEBSTER, 1985). Observou-se que o maior valor de alcance para a RP foi apresentado na profundidade de 0-10-0,20 m, indicando maior continuidade espacial desta variável (Quadro 4).

O efeito pepita (C_0) é um parâmetro importante na análise geoestatística e representa a variância não explicada ou ao acaso, frequentemente causada por erros de medições ou variações dos atributos que não podem ser detectadas na escala de amostragem (TRANGMAR et al., 1985; VIEIRA, 2000). A partir desta premissa, verificamos que o efeito pepita foi zero para todas camadas avaliadas, o que indica a precisão do aparelho utilizado.

Observando-se os mapas de isolinhas (Figura 3), observam-se valores médios e máximos de cada camada. Partindo deste pressuposto, pode-se observar uma discrepância nos valores máximos de cada camada, o que indica que em muitas vezes, a média mascara os resultados obtidos dentro da área de estudo. Assim, observa-se maior concentração de áreas no mapa com valores acima de 4.000 kPa, quando se usa o valor

máximo da camada, e com isso irá aumentar a área a ser escarificada/subsolada. E como o intuito da agricultura de precisão é fazer o manejo correto, o uso do valor máximo da camada permite expressar melhor as áreas com compactação.

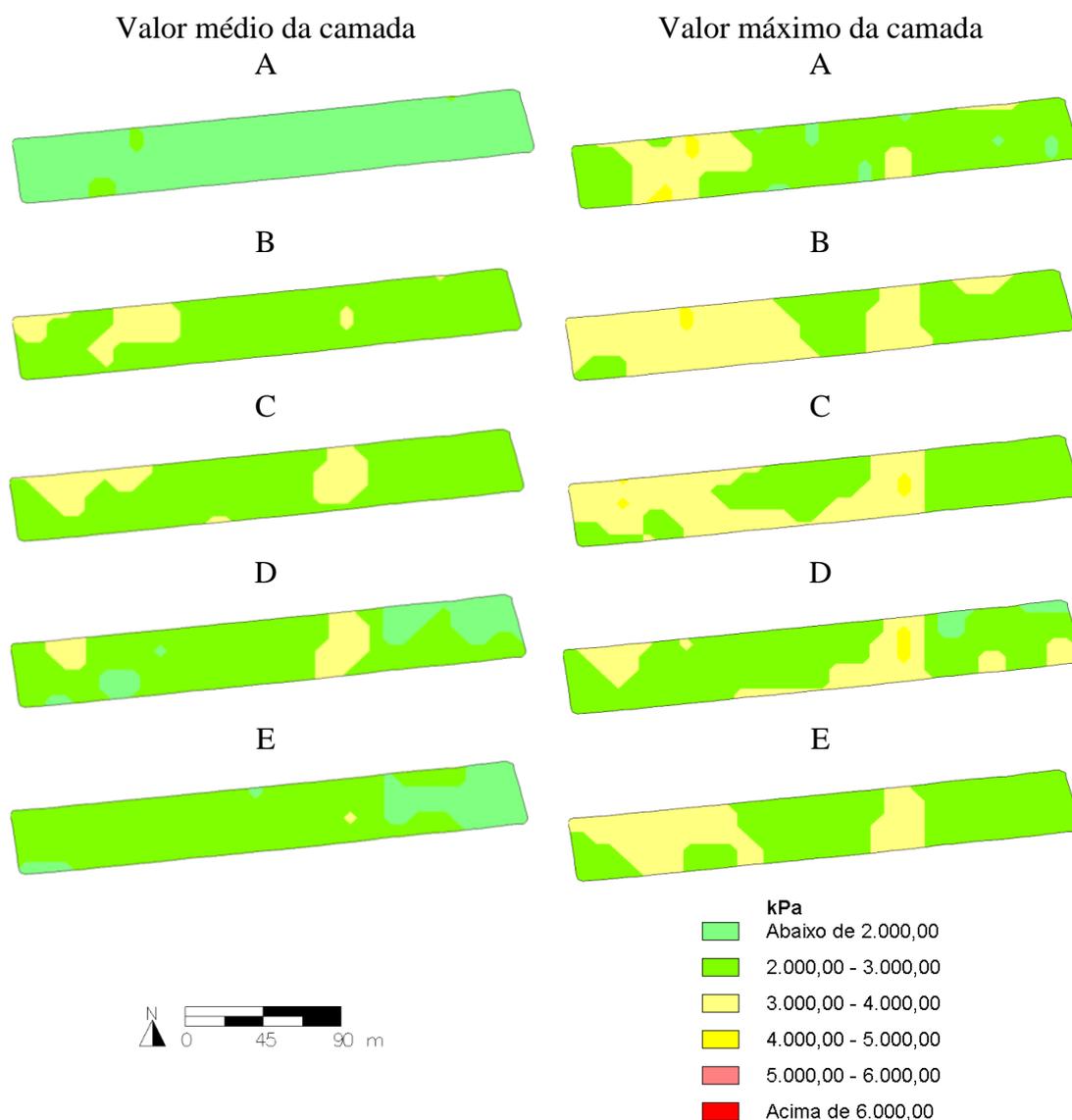


FIGURA 3. Mapas da resistência à penetração (RP) utilizando o valor médio da camada e o valor máximo. A – 0,00-0,10 m. B – 0,10-0,20 m. C – 0,20-0,30 m; D – 0,30 -0,40 m; E – 0,00-0,40 m.

Comparando os resultados dos valores médios de cada camada (Figura 3), observa-se valores baixos (<2000 kPa) que não ocorre perda de produtividade, valores entre 2000-3000 kPa e valores entre 3000-4000 kPa, que já se encontra em um nível pré-crítico de compactação. Analisando então os valores máximos de cada camada,

observa-se tendência maior destes resultados, o que nos indica que um manejo mais detalhado da área deverá ser realizado o mais breve possível, a fim de minimizar perdas de produtividade relacionadas à compactação do solo.

Nos perfis avaliados, nota-se que até 0,30 m ocorreu uma incidência maior da resistência a penetração (Figura 4), o que indica que haverá dificuldade de crescimento radicular até esta profundidade, e em alguns pontos até 0,40 m. A maior parte da área apresentou valores de RP próximos de 3.000 kPa (Figura 4).

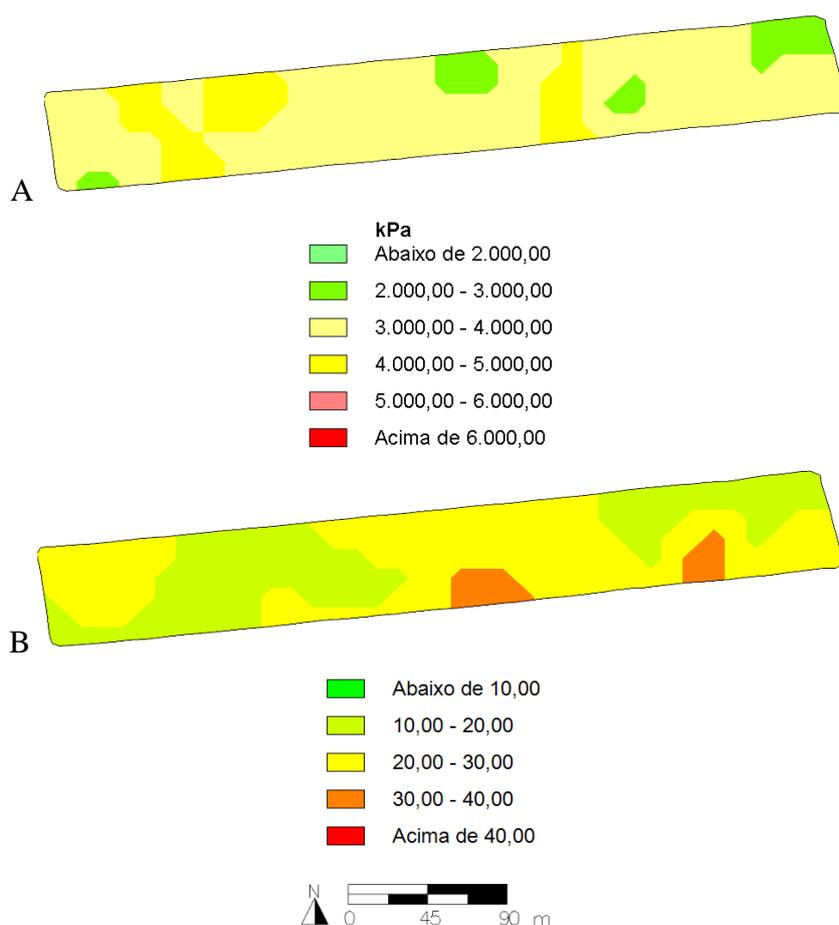


FIGURA 4. Resistência máxima no perfil (A) e profundidade (cm) da resistência máxima no perfil (B)

Partindo da premissa de que um manejo diferenciado deve ser realizado dentro da área de estudos, ao analisar o Quadro 5 verifica-se que na camada de 0,00-0,10 m uma alta porcentagem da área ocupada (<2000 kPa), ou seja, nesta primeira camada, o nível de compactação é muito baixa, mas ao utilizar o valor máximo da camada há um deslocamento dos valores, indicando que a maior parte da área na

camada de 0-0,10 m apresenta valores de 2.000-4.000 kPa. As demais camadas apresentaram a maior parte da área em níveis considerados intermediários, principalmente nas camadas 0,10-0,20 m, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m, o mesmo ocorreu utilizando o valor máximo da camada, só que com melhor distribuição dos valores na classe intermediária. Sendo assim, um controle maior sobre a área e sobre as camadas compactadas permite tomar decisões exatas sobre o manejo a ser adotado, bem como o implemento a ser utilizado, visando assim diminuir o revolvimento do solo e evitando possíveis compactações.

QUADRO 5. Porcentagem de área ocupada em cada classe da resistência à penetração.

RP (kPa)	Camadas (m)				Média Geral	RP máxima
	0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30	0,30-0,40		
Valor médio da camada						
<2.000	97,40	0,00	0,00	18,23	21,88	0,00
2.000 a 3.000	2,60	86,46	81,77	69,79	77,60	10,42
3.000 a 4.000	0,00	13,54	18,23	11,98	0,52	72,92
4.000 a 5.000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,67
5.000 a 6.000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
>6.000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor máximo da camada						
<2.000	4,69	0,00	0,00	4,17	0,00	--
2.000 a 3.000	72,92	45,31	56,25	70,31	66,15	--
3.000 a 4.000	20,31	53,65	42,19	23,96	33,85	--
4.000 a 5.000	2,08	1,04	1,56	1,56	0,00	--
5.000 a 6.000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	--
>6.000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	--

Avaliando a porcentagem de área ocupada pelos valores máximos de RP (Quadro 6), tem-se que na camada < 10 cm e >40 cm, teve 0,0 % ocupada, ou seja, não teve indícios de compactação. No entanto nas demais camadas obteve-se índices de compactação, sendo a camada de 0,20-0,30 m com um valor maior de 54, 17%, a camada de 0,10-0,20 m apresentou um valor de 39,58%, seguido da camada 0,30-0,40 m com um valor de 6,25 %. Assim, em 93,75% da área a descompactação deveria ser feita na camada de 0,10-0,30 m, e apenas 6,25% de 0,30-0,40 m.

QUADRO 6. Porcentagem de área ocupada pelos valores máximos de resistência em cada camada de solo.

Profundidade da RP máxima	Porcentagem (%)
< 10 cm	0,00
10 a 20 cm	39,58
20 a 30 cm	54,17
30 a 40 cm	6,25
> 40 cm	0,00

5 CONCLUSÕES

A resistência à penetração apresentou variabilidade espacial que foi possível detectar por meio do semivariograma esférico em todas as camadas avaliadas.

O uso do sistema plantio direto e o constante tráfego de máquinas na área favoreceram ao aparecimento de valores intermediários de resistência à penetração, na maior parte da área.

Na maior parte da área, a resistência à penetração máxima encontrava-se na camada de 0,20-0,30 m.

O uso do valor máximo da resistência à penetração da camada, ao invés da média, deve ser utilizado por permitir melhor identificação dos locais onde deve ser feito a escarificação/subsolagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENGHOUGH, A.G.; MULLINS, C.E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. *Journal of Soil Science, Oxford*, v.41, n.3, p.341-58, 1990.

BENNIE, A.T.P. Growth and mechanical impedance. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Ed.) *Plant roots: the hidden half*. 2.ed. New York: Marcel Dekker, 1996. p.453-470.

BERTOL, I., COGO, N.P., LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após as colheitas de milho e trigo, na presença e na ausência dos resíduos culturais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa*, v.21, p.409- 418, 1997.

BRUCE, J.P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; LAL, R. Carbon sequestration in soils. *Journal of Soil and Water Conservation, Ankeny*, v.54, n.1, p.382-9, 1999.

BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J.; CAMP, C.R. & SOJKA, R.E. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. *Soil Till. Res.*, 43:205-217, 1997.

CASAGRANDE, A. A. Compactação e manejo do solo na cultura da cana-de-açúcar. In: MORAES, M.H.; MÜLLER, M.M.L.; FOLONI, J.S.S. (Ed.). *Qualidade física do solo: métodos de estudo - sistemas de preparo e manejo do solo*. Jaboticabal: FUNEP, 2001. p.150-97.

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p. il. (EMBRAPA- -CNPS. Documentos, 1).

DALLMEYER, A.U.; SCHLOSSER, J.F. Mecanización para la agricultura de precisión. In: BLU, R. O.; MOLINA, L. F. *Agricultura de precisión - Introducción al manejo sitioespecífico*. Chillán-Chile : INIA, 1999. Cap.3, p.75-104.

DAVIS, G., CASADY, W.: MASSEY, R *Precision agriculture: An introduction*. Water quality. University of Missouri System, 1998. P.8.

DEXTER, A. R.; CZYZ, E. A.; GATE, O. P. A method for prediction of soil penetration resistance. *Soil & Tillage Research*, v.93, p.412–419, 2007.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/manejo.htm>>. Acesso em: 26 mar. 2015.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoCerrado/solos.htm>>. Acesso em: 26 mar. 2015.

- FALKER Automação Agrícola. SoloStar. Porto Alegre: Falker, 2010. 7p.
- FALKER Automação Agrícola. Manual: software para geração de mapas. Porto Alegre: Falker, 2011. 52p.
- FALKER Automação Agrícola. Manual: coletor de dados e navegação em campo. Porto Alegre: Falker, 2013a. 31p.
- FALKER Automação Agrícola. Manual: coletor de dados e navegação em campo. Porto Alegre: Falker, 2013b. 31p.
- FIGUEIREDO, L. H. A.; DIAS JUNIOR, M. S.; FERREIRA, M. M. Umidade crítica de compactação e densidade do solo máxima em resposta a sistemas de manejo num Latossolo Roxo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.24, p.487-493, 2000.
- FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; ARATANI, R. G. ; LEONEL, C. L. E. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, n.31, p 627-636, 2007.
- FRITTON, D. D. A standard for interpreting soil penetrometer measurements. *Soil Science*, Baltimore, v.150, n.2, p.542-51, 1990.
- GENTIL, L.V.; FERREIRA, S.M. Agricultura de precisão: Prepare-se para o futuro, mas com os pés no chão. *Revista A Granja*, Porto Alegre, v.610, p12-17, 1999.
- HATANO, R.; IWANAGA, K.; OKAJIMA, H.; SAKUMA, T. Relationship between the distribution of soil macropores and root elongation. *Soil Science and Plant Nutrition*, Tokyo, v. 34, n. 4, p. 535-546, 1988.
- IJIMA, M.; KNO, Y. Interspecific differences of the root system structures of four cereal species as affected by soil compaction. *Japanese Journal of Crop Science*, v.60, p.130-138, 1991.
- KERTZMANN, F.F. Modificações na estrutura e no comportamento de um Latossolo Vermelho eutrófico provocados pela compactação. 1996. 153 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.
- KIEHL, E. J. Manual de edafologia: relação solo- planta. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262 p. (Edições Ceres, 22).
- KLUTE, A. Tillage effects on the hydraulic properties of soil: a review. In: VAN DOREN, D.M.; ALLMARAS, R.R.; LINDEN, D.R.; WHISLER, F.D. (Ed.) *Predicting tillage effects on soil physical properties and processes*. Madison: ASA, 1982. cap.3, p.29-43.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. *Advances in Soil Science*, v.1, p.277-294. 1985.

LIMA, C. L. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S. Produtividade de culturas e resistência à penetração de Argissolo Vermelho sob diferentes manejos. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.45, n.1, p.89-98, 2010.

MASLE, J.; FARQUHAR, G.D. Effects of soil strength on the relation of water use efficiency and growth to carbon isotope discrimination in wheat seedlings. *Plant Physiology*, v.86, p.32-38, 1988.

MASLE, J.; PASSIOURA, J.B. The effect of soil strength on the growth of young wheat plants. *Australian Journal of Plant Physiology*, v.14, p.643- 656, 1987.

MATERECHERA, S. A.; ALSTON, A. M.; KIRBY, J. M.; DEXTER, A. R. Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 144, p. 297-303, 1992.

MELLO IVO, W.M.P. & MIELNICZUK, J. Influência da estrutura do solo na distribuição e na morfologia do sistema radicular do milho sob três métodos de preparo. *R. Bras.Ci. Solo*, v.23, p.135-143, 1999.

MENTGES, I.M.; FONTANELA, E.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & SUZUKI, L.E.A.S. Densidade máxima pelo ensaio de Proctor normal para seis solos em diferentes manejos e sua relação com o teste de compressão uniaxial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31, 2007, Gramado, Anais... Gramado; SBCS, 2007.

NOGUEIRA, M. C. S. *Experimentação agrônômica I*. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2007. 463p.

MEROTTO, A.; MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strength. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.23, p.197-202, 1999.

POTRICH, D. C., Variabilidade Espacial de atributos do solo e correlação com a produtividade da cultura da soja/ Dourados-MS, Dissertação de Mestrado 2012, 55 f.

RALISCH, R; MIRANDA, T. M.; OKUMURA, R. S.; BARBOSA, G. M. DE C.; GUIMARÃES, M. DE F.; SCOPEL, E.; BALBINO, L. C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.12, p.381-384, 2008.

RAPER, R. L.; KIRBY, J. M. *Soil compaction: how to do it, undo it, or avoid doing it*. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, 2006.

ROQUE, A. A. O.; SOUZA, Z. M.; BARBOSA, R. S.; SOUZA, G. S. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.45, n.7, p.744-750, 2010.

ROSOLEM, C.A.; FERNANDEZ, E.M.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C.A.C. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.34, n.5, p.821-8, 1999.

RUSSEL, R. S.; GOSS, M. J. Physical aspects of soil fertility: the response of roots to the mechanical impedance. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, Wageningen, v. 22, p. 305-318, 1974.

SEGANFREDO, M.L., ELTZ, F.L.F., BRUM, A.C.R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.21, p.287-291, 1997.

SÉGUY, L.; BOUZINAC, S. Direct seeding on plant covers: sustainable cultivation of our planet's soils. In: CONGRESS ON CONSERVATION AGRICULTURE: A WORLDWIDE CHALLENGE, 1., 2001, Madri. Anais... Madri: FAO/ECAI, 2001. v.1, p.85-92.

SEIXAS, F. Compactação do solo devido à mecanização florestal: causas, efeitos e práticas de controle. Piracicaba: IPEF, 1988. p.1-10 (Circular técnica, 163).

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.15, p.229-235, 1991.

SOANE, B. D.; OUWERKERK, C. van. Soil compaction problems in world agriculture. In: — (Ed.). *Soil compaction in crop production*. Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 1-21

SWINTON, S. M.; LOWENBERG-DEBOER, J. Evaluating the profitability of site-specific farming, *Journal of Production Agriculture*, Madison, v. 11, n.4, p. 439-446, 1998.

TORMENA, C.A.; ROLLOF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Viçosa, v.20, p.333-339, 1996.

TRAGMAR, B.B.; YOST, R. S. & UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, New York, 38:45-93, 1985.

TRIPLETT JUNIOR, G.B.; VAN DOREN JUNIOR, D.M. Nitrogen, phosphorus and potassium fertilization of non-tilled maize. *Agronomy Journal*, Madison, n. 61, p.637-9, 1969.

VALENTE, I. Q. M., Métodos de interpolação no mapeamento de atributos químicos do solo. Trabalho de conclusão de curso. Dourados, MS : UFGD, 2014, 33 f.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, G.R., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.1-54.

VIEIRA, S.R.; MILLETE, J.; TOPP, G.C. & REYNOLDS, W.D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ, V.V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V. & COSTA, J.M., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2. p.1-45.

WEBSTER, R. Quantitative spatial analysis of soil in field. In: STEWART, B.A. (Ed.). Advance in soil science. New York, v. 3, p. 1-70,1985.

WILDING, L. & DRESS, L.R. Spatial variability and pedology. In: Wilding, L., Smeck, N.E. & Hall, G.F. (eds). Pedogenesis and soil taxonomy I. Concepts and interactions. Amsterdam: Elsevier. p.83-116.1983.