

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**COMPACTAÇÃO DO SOLO: VARIABILIDADE
ESPACIAL EM SISTEMA PLANTIO DIRETO**

CARLOS THIAGO MERCADO MORENO BARBOSA

LUAN SANTOS FARINHA

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2016**

COMPACTAÇÃO DO SOLO: VARIABILIDADE ESPACIAL EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

Carlos Thiago Mercado Moreno Barbosa

Luan Santos Farinha

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
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

F226c Farinha, Luan Santos

Compactação do solo: variabilidade espacial em sistema de plantio direto /
Luan Santos Farinha, Carlos Thiago Mercado Moreno Barbosa -- Dourados:
UFGD, 2016.

31f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Jorge Wilson Cortez

TCC (graduação em Engenharia Agrícola) -Faculdade de Ciências Agrárias,
Universidade Federal da Grande Dourados.

Inclui bibliografia

1. Mecanização agrícola. 2. Agricultura de precisão. 3. Geoestatística. I
Carlos Thiago Mercado Moreno Barbosa II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

**Compactação do solo: variabilidade espacial em sistema
plantio direto**

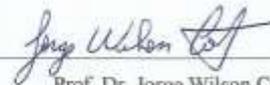
Por

Carlos Thiago Mercado Moreno Barbosa

Luan Santos Farinha

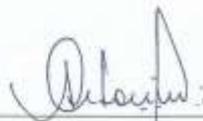
Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para
obtenção do grau de Bacharel em ENGENHARIA AGRÍCOLA

Aprovado em 15/04/2016.



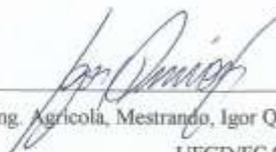
Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez

Orientador – UFGD/FCA



Prof. Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino

UFGD/FCA



Eng. Agrícola, Mestrando, Igor Queiroz Moraes Valente

UFGD/FCA

AGRADECIMENTOS

A Deus por nos permitir chegar até aqui, por nos dar forças para enfrentar as dificuldades encontradas no nosso caminho.

A UFGD pela excelência do ensino.

Ao Professor Dr. Jorge Wilson Cortez, pela sua orientação segura e sua amizade.

A todos os mestres e professores que fizeram parte da nossa formação, obrigado pelo ensinamento e exemplo ao longo desta jornada.

Ao meu pai Izabelino Farinha, que sempre me incentivou e me apoiou nesta caminhada.

A nossas mães que amamos Maria de Lourdes Costa dos Santos, Gizonete Mercado Moreno, por sempre nos dar forças para enfrentar os obstáculos da vida e nos incentivando a nunca desistir.

Aos nossos colegas pelo companheirismo e disponibilidade para nos auxiliar em vários momentos.

SUMÁRIO

	Páginas
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
1. INTRODUÇÃO.....	7
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
2.1 Agricultura de precisão	8
2.2 Sistemas de manejo do solo	9
2.3 Compactação do solo	10
2.4 Resistência à penetração do solo.....	11
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3.1 Local.....	13
3.2 Equipamentos utilizados	14
3.3 Atributos do solo	14
3.3.1 Umidade do solo	14
3.3.2 Resistência do solo à penetração	15
3.4 Análise dos dados.....	15
4 RESULTADO E DISCUSSÃO.....	16
4.1 Umidade do solo	16
4.2 Geoestatística e mapas de isolinhas	18
5 CONCLUSÕES	24
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

BARBOSA, C.T.M.M.; FARINHA, L.S. **Compactação do solo: variabilidade espacial em sistema plantio direto**. 29f. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

RESUMO

A compactação do solo é um processo originário da movimentação do solo, tráfego de máquinas e falta de rotação de culturas na área. Assim, objetivou-se avaliar a compactação do solo por meio da variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração em área sob sistema plantio direto. 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 43 pontos equidistantes um do outro de 45 m. Cada ponto foi obtido por três replicações. Os dados foram analisados pela estatística descritiva e pela geoestatística para confecção dos mapas de variabilidade espacial. Todas as variáveis em estudo apresentaram dependência espacial dentro da grade amostral adotada. O uso do sistema plantio direto e o constante tráfego de máquinas na área favoreceram ao aparecimento de valores intermediários e críticos de resistência à penetração, em grande parte da área. Houve aumento da resistência à penetração conforme o incremento de sua profundidade em todos perfis avaliados. A geoestatística permitiu identificar o zoneamento agrícola definindo assim regiões com diferentes níveis de compactação, sendo assim, podendo fazer o uso de escarificador/subsolagem de maneira localizada dentro da área.

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

BARBOSA, C.T.M.M.; FARINHA, L.S. **Soil compacting: spatial variability in tillage system.** 2016. 29f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

ABSTRACT

Soil compaction is a process originating in ground handling, machine traffic and lack of crop rotation in the area. The objective was to evaluate the soil compaction through the spatial variability of soil mechanical resistance to penetration in the area under no-tillage system. 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 43 points equidistant from one another of 45 m. Each point was obtained for three replicates. Data were analyzed using descriptive statistics and geostatistics for making the maps of spatial variability. All study variables presented spatial dependence within the adopted sampling grid. The use of tillage and the constant traffic of machines in the area favored the emergence of intermediate values and resistance to penetration of critics, in much of the area. There was increasing resistance to penetration as the increase of its depth in all evaluated profiles. The geostatistics identified agricultural zoning thus defining regions with different levels of compression, thus, can make use of chisel plow / subsoiling way located within the area.

KEYWORDS: agricultural mechanization, precision agriculture, geostatistics

1. INTRODUÇÃO

Visando aumentar a produção e a fim de suprir as necessidades da população, tanto energética quanto alimentícia, máquinas agrícolas de maior massa e potência estão sendo utilizadas nos campos. Porém o aumento de cargas em áreas pode causar a compactação do solo. Segundo Smucker e Erickson (1989), a compactação do solo pode ter efeitos benéficos ou adversos. Os efeitos benéficos têm sido atribuídos à melhoria do contato solo-semente e ao aumento da disponibilidade de água em anos secos (CAMARGO, 1983; RAGHAVAN e MICKYES, 1983). Por outro lado, a compactação excessiva pode limitar a adsorção e/ou absorção de nutrientes, infiltração e redistribuição de água, trocas gasosas e desenvolvimento do sistema radicular, resultando em decréscimo da produção, aumento da erosão e da potência necessária para o preparo do solo (BICKI; SIEMENS, 1991; SOANE, 1990).

A principal causa da compactação do solo é o tráfego de máquinas agrícolas, que é intensificado com a modernização da agricultura, com o aumento demasiados de equipamentos e da intensidade de uso do solo. Esse processo não é acompanhado por um aumento proporcional do tamanho e largura dos pneus, resultando em significativas alterações nas propriedades físicas do solo.

A agricultura de precisão é a observação, identificação e otimização de tratamentos para as variabilidades dos processos na produção agrícola nos momentos mais adequados.

Portanto, observou-se avaliar a compactação do solo por meio da variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em área cultivado no sistema plantio direto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Agricultura de precisão

A agricultura de precisão, como é chamado no Brasil, é um sistema de produção adotado por agricultores de países de tecnologia avançada, denominado de Precision Agriculture, Precision Farming, Site-Specific Crop Management (MANZATTO et al., 1999). A agricultura de precisão é uma filosofia de gerenciamento agrícola que parte de informações exatas, precisas e se completa com decisões exatas. Agricultura de precisão, também chamada de AP, é uma maneira de gerir um campo produtivo metro a metro, levando em conta o fato de que cada pedaço da fazenda tem propriedades diferentes (ROZA, 2000).

Segundo Manzatto et al. (1999), o principal conceito é aplicar os insumos no local correto, no momento adequado, as quantidades de insumos necessários à produção agrícola, para áreas cada vez menores e mais homogêneas, tanto quanto a tecnologia e os custos envolvidos o permitam. Segundo Batchelor et al. (1997) a agricultura de precisão é uma filosofia de manejo da fazenda na qual os produtores são capazes de identificar a variabilidade dentro de um campo, e então manejar aquela variabilidade para aumentar produtividade e os lucros.

A agricultura de precisão é a tecnologia cujo objetivo consiste em aumentar a eficiência, com base no manejo diferenciado de áreas na agricultura. A agricultura de precisão não consiste simplesmente na habilidade em aplicar tratamentos que variam de local para local, porém, deve ser considerada com a habilidade em monitorar e acessar a atividade agrícola, precisamente em um nível local, tanto que as técnicas de agricultura de precisão devem ser compreendidas como uma forma de manejo sustentável, na qual as mudanças ocorrem sem prejuízos para as reservas naturais, ao mesmo tempo em que os danos ao meio ambiente são minimizados. Além de útil à agricultura de precisão, esta definição engloba a ideia de compromisso no uso da terra, relativamente às gerações futuras. Um manejo sustentável implica algo mais além da manutenção dos índices de produtividade (MANTOVANI et al., 1998).

Conforme Canzian et al. (1999), alguns campos podem ser bem uniformes, mas outros apresentam variações no tipo de solo, fertilidade e outros fatores que afetam

a produção agrícola. Se a variabilidade do campo puder ser medida e registrada, estas informações poderão ser usadas para otimizar as aplicações em cada ponto, sendo este o novo conceito de agricultura de precisão.

Blackmore (1996) considera que o manejo da variabilidade é a chave para o uso efetivo da tecnologia de agricultura de precisão

Conforme Antuniassi (1998), o mapeamento detalhado dos fatores de produção e aplicação localizada de insumos são os princípios básicos do sistema. Segundo Campo (2000a) considera que agricultura de precisão é o conjunto de técnicas e procedimentos que permite conhecer, localizar geograficamente e delimitar áreas de diferente produtividade, através do emprego da informática, programas específicos, sensores, controladores de máquinas e sistema de posicionamento global (GPS).

Segundo Capelli (1999) agricultura de precisão apresenta as vantagens de possibilitar um melhor conhecimento do campo de produção, permitindo, desta forma a tomada de decisões melhor embasadas. Com isto tem-se uma maior capacidade e flexibilidade para a distribuição dos insumos naqueles locais e no tempo em que são mais necessários, minimizando os custos de produção; a uniformidade na produtividade é alcançada pela correção dos fatores que contribuem para sua variabilidade obtendo-se, com isto, um aumento global da produtividade; a aplicação localizada dos insumos necessários para sustentar uma alta produtividade contribui com a preservação do meio ambiente, já que estes insumos são aplicados somente nos locais, quantidades e no tempo necessário

2.2 Sistemas de manejo do solo

O manejo do solo se constitui de práticas simples e indispensáveis ao bom desenvolvimento das culturas e compreende um conjunto de técnicas que, utilizadas racionalmente, proporcionam alta produtividade, mas, se mal utilizadas, podem levar à destruição dos solos a curto prazo(EMBRAPA, 2003).

Segundo a Embrapa (2003) de maneira geral deve-se considerar os seguintes tipos de manejo do solo:

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 crostas e pé de grade niveladora.

Preparo convencional - provoca inversão da camada arável do solo, mediante o uso de arado; a esta operação segue outras, secundárias, com grade ou cultivador, para triturar os torrões; 100% da superfície são revolvidas 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.

Plantio semidireto - semelhante ao Plantio Direto; sementeira direta sobre a superfície, com semeadora especial, diferindo deste sistema apenas por haver poucos resíduos na superfície do solo.

Plantio direto - aqui, as sementes são semeadas através de semeadora especial sobre a palhada de culturais do cultivo anterior ou de culturas de cobertura palha produzidas no local para este fim.

Estima-se que em todo o mundo sejam cultivados mais de 40 milhões de hectares no sistema plantio direto (HEBBLETHWAITE, 1997), sendo dez milhões nos países que compõem o Mercosul (DERPSCH, 1997a). Segundo Denardin et al. (1997) atualmente 25 milhões de hectares estão sendo utilizados em Sistema de Plantio Direto no Brasil.

Segundo Muzilli (1981b), as razões para a acentuada adoção deste sistema são: controle da erosão, ganho de tempo para a sementeira; economia de combustível; melhor estabelecimento da cultura; maior retenção de água no solo; economia de mão-de-obra de máquinas e implementos agrícolas.

2.3 Compactação do solo

De acordo com Caputo (1988), entende-se por compactação de um solo o processo manual ou mecânico que visa reduzir o volume de seus vazios, e assim, aumentar sua resistência, tornando-o mais estável. A compactação de um solo visa melhorar suas características, não só quanto à resistência, mas também aos aspectos de permeabilidade, compressibilidade e absorção de água. Em geral, existem cinco fatores para a compactação de um solo:

- Aumentar resistência à carga;
- Eliminar recalque do solo ou qualquer outro dano;
- Aumentar sua estabilidade ou dar a ele estabilidade;
- Redução do teor de umidade ou água com filtragem ou drenagem;
- Expulsão de ar.

O uso pode gerar compactação no solo, expresso pelo aumento da densidade devido ao pisoteio animal, tráfego de máquinas e implementos agrícolas, cultivo intensivo e sistema de manejo inadequado (HAMZA e ANDERSON, 2005).

Atualmente, no Brasil há uma tendência de se avaliar a susceptibilidade do solo à compactação causada pelo tráfego de máquinas agrícolas conjuntamente com o momento ideal para executar as operações mecanizadas no campo, por considerar racional o uso de medidas preditivas e preventivas da compactação, o que minimizaria os problemas de degradação dos solos agrícolas (KONDO e DIAS JUNIOR, 1999; SILVA et al, 2000a)

Segundo SMUCKER e ERICKSON (1989), a compactação do solo pode ter efeitos benéficos ou adversos. Os efeitos benéficos têm sido atribuídos à melhoria do contato solo-semente e ao aumento da disponibilidade de água em anos secos (CAMARGO, 1983; RAGHAVAN e MICKYES, 1983).

Por outro lado, a compactação excessiva pode limitar a adsorção e/ou absorção de nutrientes, infiltração e redistribuição de água, trocas gasosas e desenvolvimento do sistema radicular, resultando em decréscimo da produção, aumento da erosão e da potência necessária para o preparo do solo (BICKI e SIEMENS, 1991; SOANE, 1990).

2.4 Resistência à penetração do solo

Dentre as mais variadas aplicações pode-se dizer que, o conhecimento da resistência a penetração, é utilizada para detecção de camadas compactadas, estudo da ação de ferramentas de máquinas no solo, prevenção para o impedimento mecânico do desenvolvimento das raízes das plantas, predição da força de tração necessária para a

realização de trabalho, conhecimento do processo de ressecamento e umedecimento, entre outros (CUNHA et al., 2002).

A resistência do solo à penetração é uma das propriedades físicas do solo diretamente relacionados com o crescimento das plantas (LETEY, 1985) e modificada pelos sistemas de preparo do solo.

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).

Trabalhos experimentais realizados no campo com vistas em obter uma resistência crítica ou restritiva às plantas expressam, com mais segurança, a situação a que realmente as plantas estão sujeitas, como condições climáticas diferenciadas durante seu ciclo e heterogeneidade e bioporosidade do solo. Trabalhando no campo, Laboskiet al. (1998) estabeleceram como valor restritivo de 3,0 MPa. Por outro lado uma resistência à penetração de 2,09 MPa avaliada no campo poderia estar determinando redução do crescimento radicular da soja em um Latossolo Roxo distrófico (750 g kg⁻¹ de argila) (DE MARIA et al., 1999).

Desta forma, a resistência do solo à penetração é fundamental para a avaliação dos efeitos dos sistemas de manejo no ambiente físico do solo para o crescimento das plantas.

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 AW, segundo a classificação de Köppen. O solo da área é um Latossolo Vermelho distroférico, cuja análise granulométrica está apresentada no Quadro 1.

QUADRO 1. Granulometriado do Latossolo Vermelho da Fazenda Experimental da UFGD.

Camadas (m)	Argila	Silte	Areia
0,00-0,10	59,78	21,73	18,49
0,10-0,20	59,26	22,24	18,50
0,20-0,30	62,31	19,79	17,91
0,30-0,40	62,83	20,23	16,94

Fonte: RODRIGUES (2014)

A área experimental foi conduzida por mais de 20 anos em plantio direto (Figura 1), 10,54 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 43 pontos amostrais distribuídos na área.

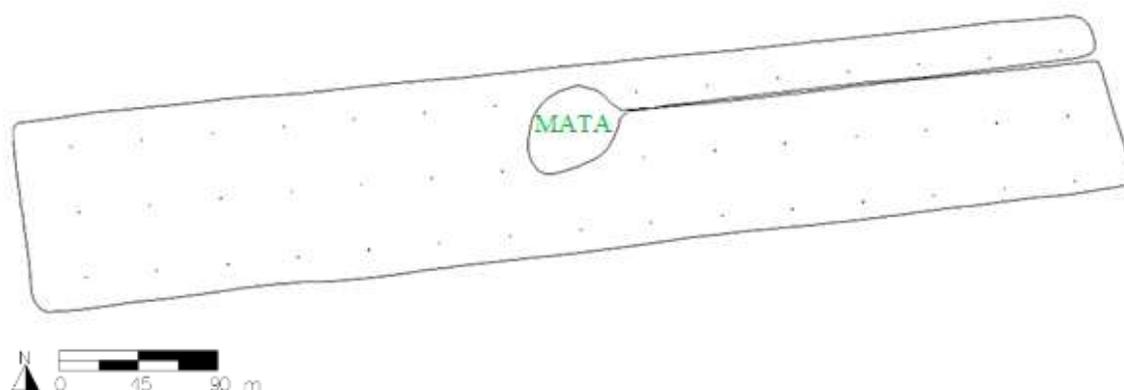


FIGURA 1. Área experimental e os pontos da malha amostral.

3.2 Equipamentos utilizados

Para a coleta de dados foi utilizado um conjunto quadriciclo+amostrador de solo+penetrômetro eletrônico+coletor de dados, que seguem descritos.

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

3.3 Atributos do solo

3.3.1 Umidade do solo

Foram coletadas amostras deformadas nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40m de modo aleatório nas parcelas, para o cálculo da umidade do solo, isso não garante que a umidade seja a mesma para comparar as medidas.

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

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

3.3.2 Resistência do solo à penetração

Coletou-se dados da resistência do solo à penetração (RP), por meio de um penetrômetro eletrônico, até a profundidade de 0,40 m, sendo avaliado a cada 0,05 m, ou seja as camadas de avaliação foram de : 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15; 0,15-0,20; 0,20-0,25; 0,25-0,30; 0,30-0,35; 0,35-0,40m além da RP média da profundidade avaliada, a RP máxima da camada 0-0,40m perfil e a profundidade da RP máxima em cada ponto. A coleta utilizou-se de um sistema de navegação que realizou o contorno da área e gerou-se uma malha amostral com diferença entre pontos de 0,20 ha (aproximadamente 45 m entre pontos) resultando em 43 pontos amostrais. Em cada ponto amostral foram realizados três medições em um raio de até 5 m do ponto marcado para coleta no sistema. Os dados de RP foram analisados considerando o valor médio da camada de solo, obtendo também o valor médio do perfil, o valor máximo do perfil e a profundidade de ocorrência do valor máximo da RP.

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 Anderson-Darling para verificar a normalidade dos dados.

Para verificação da dependência espacial, interpolação dos dados de resistência à penetração e construção de mapas foi empregada a análise geoestatística. A modelagem dos semivariogramas foi realizada no software FalkerMap Plus. Posteriormente realizamos 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

4.1 Umidade do solo

Verificando a umidade do solo em diferentes camadas, averiguou-se que o preparo ideal ocorre quando a mesma se encontra abaixo do ponto crítico de compactação (Quadro 2). Segundo Guimarães et al. (2013) em estudos de diferentes solos, afirma que valores acima da umidade ideal é considerada prejudicial as plantas quando se refere à RP do solo. Souza et al. (2010a) verificaram diferenças nos valores de RP, evidenciando dessa forma que tal parâmetro pode ser variável de acordo com o manejo, o tipo de solo e a época de amostragem.

Assim, como na época de preparo do solo, a umidade estava abaixo da crítica de compactação em todas as camadas avaliadas (Quadro 2), ou seja, isto pode evitar um eventual aumento da resistência a penetração, visando que pequenas alterações no conteúdo de água determinam grandes variações na grandeza dependente, ou seja, na resistência à penetração.

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

Camada (m)	Umidade do solo (%)
0,00-0,10	13,45
0,10-0,20	17,88
0,20-0,30	20,65
0,30-0,40	20,88

No Quadro 3 são apresentados os valores da estatística descritiva referentes as profundidades da resistência a penetração (RP). Observou-se que os coeficientes de variação (CV%) variaram de 19,64 a 54%. De acordo com a classificação proposta por Wilding e Dress (1983), os valores de CV para as camadas 0-0,05; 0,05-0,10; 0,25-0,30; 0,30-0,35 e 0,35-0,40 m, apresentaram valores altos ($CV > 25\%$), as camadas 0,10-0,15; 0,15-0,20; 0,20-0,25 e 0-0,40 m, apresentaram valores moderados ($15 < CV < 25\%$), e nenhum atributo foi detectado com baixo coeficiente de variação ($CV < 15\%$). Valores elevados de CV podem ser considerados como os primeiros indicadores da existência de heterogeneidade nos dados (FROGBROOK, 2002). Segundo Shimakura (2008) o CV é

interpretado como a variabilidade dos dados em relação à média. Quanto menor o CV mais homogêneo é o conjunto de dados; outra vantagem do CV é ser um número abstrato, comparável mesmo em casos de unidades diferentes. De acordo com Campos et al. (2012), em um Cambissolo Háplico sob cultivo de mandioca, a RP apresentou alta variabilidade com valores de CV acima de 25%, resultados esses diferentes dos de Souza et al. (2006) em cultivo contínuo de cana-de-açúcar que encontraram, na sua maioria, baixa variabilidade dos atributos avaliados. Os valores de RP (Mpa) foram classificados tomando como base a interpretação recomendada pela (FALKER, 2010), para solos argilosos. Para um nível tolerável sem perda na produtividade, valores devem ser avaliados como sem restrição abaixo de 2,5 MPa, para o nível intermediário entre 2,5-4,0 MPa e acima de 4,0MPa kPa nível crítico a compactação do solo.

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

Camadas (m)	Parâmetros								
	Média	DP	V	CV	Min	Max	A	K	AD
0-0,05	0,5306	0,2865	82122	54,00	0,1837	1,2230	0,59	-0,56	0,01**
0,05-0,10	1,7943	0,6615	437535	36,87	0,8077	3,0953	0,37	-1,21	0,01**
0,10-0,15	2,3532	0,4622	213610	19,64	1,5577	3,6950	0,93	1,51	0,01**
0,15-0,20	2,6797	0,5385	289929	20,09	1,8290	4,2073	0,95	0,66	0,02**
0,20-0,25	2,7600	0,6553	429473	23,74	1,6917	4,8817	1,23	1,96	0,01**
0,25-0,30	2,6392	0,6958	484071	26,36	1,7040	4,5820	1,27	0,96	0,01**
0,30-0,35	2,4412	0,7262	527400	29,75	1,6577	4,4370	1,46	1,31	0,01**
0,35-0,40	2,2996	0,7183	515884	31,23	1,5497	4,5040	1,47	1,41	0,01**
0-40	2,1468	0,4451	198619	20,76	1,5497	3,4897	1,18	1,21	0,01**
PM	3,3092	0,6911	477622	20,88	2,423	5,37	1,04	0,80	0,01**
Prof PM	0,0225	0,0055	30,26	24,44	0,0123	0,036	0,45	0,15	0,30*

* $p \geq 0,05$ dados normais, não significativo - simétrico; ** $p < 0,05$ dados não normais, significativo - assimétrico. DP: desvio padrão (MPa); V: variância; CV: coeficiente de variação (%); Min: mínimo (MPa); Max: máximo (MPa); A: assimetria; K: curtose; AD: teste de Anderson-Darling. PM: Pressão máxima. Prof PM: Profundidade da pressão máxima.

Analisando a media (Quadro 3), pode-se averiguar que nas camadas 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15; 0,30-0,35; 0,35-0,40 e 0-0,40, os valores estão dentro da faixa tolerável para o crescimento de seu sistema radicular (<2,5 MPa), ou seja, sem perda de produtividade por meio de compactação do solo. Segundo Cortez et al. (2014), a camada 0,0-0,10 m apresenta menor RP em relação as camadas subjacentes, que podem ser atribuídas a deposição de matéria orgânica que contribui para redução da densidade do solo. Entretanto, para as camadas 0,15-0,20; 0,20-0,25 e 0,25-0,30, apresentam um nível intermediário de compactação (2,5 – 4,0 MPa), podendo acarretar perda em suas

produções, visando que em algumas culturas dependendo da sua variedade, seu sistema radicular varia entre 20 e 30 cm de profundidade. Todas as profundidades analisadas apresentaram uma grande amplitude entre os valores máximos e mínimos, indicativo de que há pontos críticos na área, os quais devem receber manejo diferenciado. Sendo assim, a média é um parâmetro não confiável, pois mascara os valores discrepantes da sua área em estudo, podendo assim induzir ao erro em alguma tomada de decisão para o manejo da compactação do solo.

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 camadas de 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15 e 0,15-0,20, os coeficientes de assimetria e curtose que estão distantes de zero para as demais variáveis estudadas caracteriza-se distribuição assimétrica (Quadro 3). Às 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. Os resultados referentes ao teste de Anderson-darling indicaram normalidade para todas as variáveis estudadas apesar da normalidade não ser uma exigência da geoestatística (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989).

4.2 Geoestatística e mapas de isolinhas

No Quadro 4 são apresentados os parâmetros do semivariogramas ajustados que melhor descrevem a ocorrência da variabilidade espacial. A análise geoestatística identificou que os atributos estudados obtiveram ajuste a um modelo matemático teórico dentro da grade amostral adotada (Quadro 4). Os semivariogramas experimentais foram ajustados ao modelo teórico esférico. O modelos esférico que se ajustaram aos dados deste estudo corroboraram os resultados de pesquisas que indicam esses modelos como os de maior ocorrência para atributos do solo (CRUZ et al., 2010; CAMPOS et al., 2012).

Observa-se que o maior valor de alcance para a RP foi para a profundidade 0,30-0,35 m, o que indica que esta profundidade, é a que apresenta maior continuidade espacial, garantindo assim uma melhor acurácia nas estimativas em locais não amostrados. O alcance de dependência espacial é um parâmetro muito importante e indica a distância máxima que uma variável está correlacionada espacialmente. O alcance da dependência espacial é um parâmetro geoestatístico importante na agricultura por auxiliar o delineamento de futuras amostragens de solo, indicando a máxima distância entre amostras para determinar atributos do solo com boa representatividade (SAMPAIO et al., 2010). O modelo ajustado aos dados de RP do solo são considerados transitivos por possuir patamar, ou seja, a partir de determinado valor da distância entre amostras não existe mais dependência espacial (Siqueira et al., 2010).

QUADRO 4. Dados ajustados do semivariograma para resistência mecânica do solo a penetração

Camadas	Modelo	Co	Parâmetros		
			Co+C	A(m)	Grade de interpolação
0-0,05m	Esférico	0,00	119618,85	490,39	20,00
0,05-0,10m	Esférico	0,00	541593,89	453,60	20,00
0,10-0,15m	Esférico	0,00	299766,97	460,82	20,00
0,15-0,20m	Esférico	0,00	507138,73	630,86	20,00
0,20-0,25m	Esférico	0,00	1101590,48	966,66	20,00
0,25-0,30m	Esférico	0,00	1346836,16	1208,72	20,00
0,30-0,35m	Esférico	0,00	1456734,93	1227,99	20,00
0,35-0,40m	Esférico	0,00	944556,48	757,07	20,00
0-40m	Esférico	0,00	379475,11	680,21	20,00
PM	Esférico	0,00	969593,52	781,38	20,00
Prof PM	Esférico	0,00	45,68	501,67	20,00

Co: efeito pepita; Co+C: patamar; A: alcance; PM: pressão máxima; ProfPM: profundidade de pressão máxima

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 ausência total de dependência espacial é chamada efeito pepita puro. A partir disso, verifica-se 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 de cada camada. Partindo deste parâmetro, observamos pontos dentro da grade amostral com uma discrepância nos valores da média de cada camada.

Observa-se nos mapas (Figura 3) maior concentração de áreas com valores acima de 3,00 MPa, quando se usa o valor médio 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. Esses mapas facilitam a visualização da distribuição espacial das variáveis e auxiliam no planejamento do manejo da área (SAMPAIO et al., 2010).

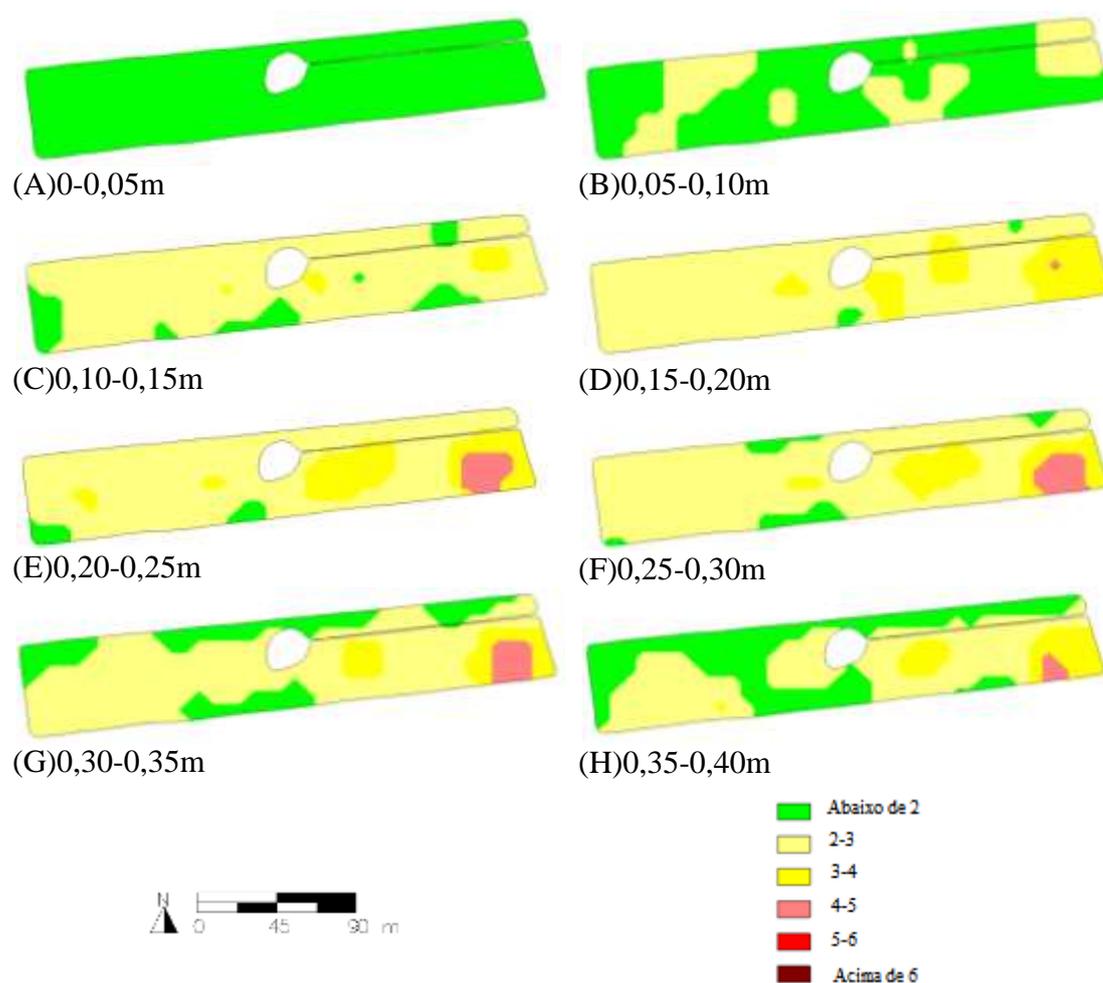


FIGURA 3. Mapas da resistência à penetração (RP - MPa) utilizando o valor médio da camada: 0-0,05 (A); 0,05-0,10 (B); 0,10-0,15 (C); 0,15-0,20 (D); 0,20-0,25 (E); 0,25-0,30 (F); 0,30-0,35 (G); 0,35-0,40 (H).

Comparando os valores médios de cada camada (Figura 3), observa-se valores baixos (<2,0 MPa) para a camada de 0-0,5 m, em que não ocorre perda de produtividade, valores intermediários para a camada 0,05-0,10 m, em que consegue-se notar uma pequena presença de área compactada. Para as camadas 0,10-0,15; 0,15-0,20; 0,20-0,25; 0,25-0,30; 0,30-0,35 e 0,35-0,40 m, nota-se uma maior concentração de compactação na área, com valores variando entre intermediários e críticos, o que indica que a partir da camada 0,15-0,20 m necessita de um manejo mais detalhado dentro da área em estudo. No sistema de semeadura direta, as pressões são aplicadas na superfície do solo, o qual se encontra mais resistente à compactação, por isso as primeiras camadas já estão apresentando manifestações referentes à tal resistência.

Nos perfis estudados, avaliou-se sua resistência média e máxima no perfil e profundidade da resistência máxima no perfil (Figura 4).

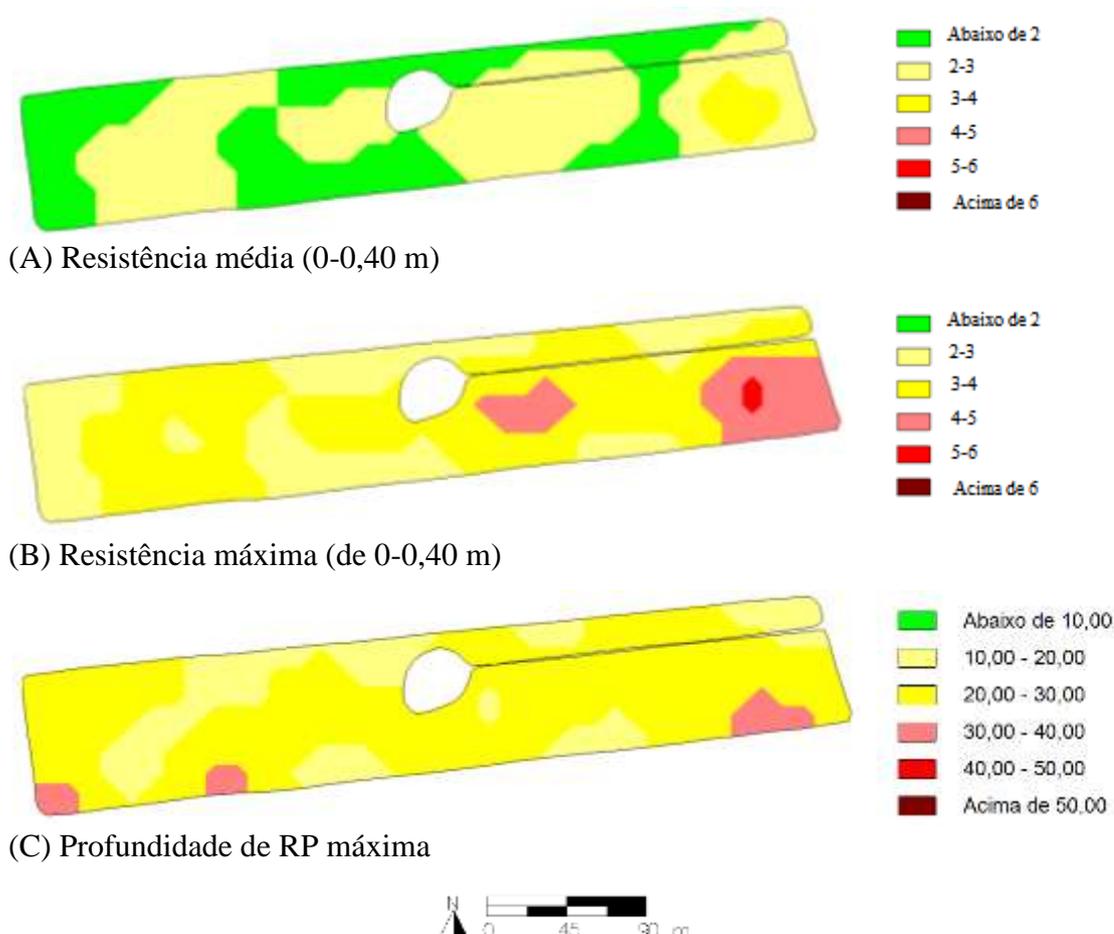


FIGURA 4. Resistência média (MPa) do perfil (A), resistência máxima (MPa) no perfil (B) e profundidade (cm) da resistência máxima no perfil (C)

Na resistência média avaliada encontra-se valores variando 2,00-4,00 MPa, representando a realidade vivenciada em campo. Entretanto, observa-se uma discrepância nos valores referentes a resistência máxima do perfil, praticamente toda a área em estudo está ocupada com valores entre 2,00-6,00 MPa, com pontos intermediários e críticos em grande parte de sua extensão. No entanto, quando se considera sua resistência máxima, observa-se por consequência as profundidades máxima onde ocorre tais resistência em seu perfil. Nas camadas 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m têm-se os níveis intermediários de compactação, seguido de níveis críticos na camada de 0,30-0,40 m. Porém, esta última camada está localizada na cabeceira, o que implica em fatores externos e por isso a sua ocorrência.

Partindo da premissa de que um manejo diferenciado deve ser realizado dentro da área de estudos, ao analisar o Quadro 5, verifica-se que nas camadas 0-0,05 m, 0,05-0,10 m tem-se uma elevada porcentagem da área ocupada (<2,00 MPa), ou seja, o percentual da área com problemas de compactação nessas profundidades é muito baixas. Para os níveis entre (2,00-3,00 MPa), pode-se observar um aumento na porcentagem em todas as camadas estudadas, exceto para a camada 0-0,05 m que não apresentou índice, o que indica um aumento da RP gradualmente de acordo com sua profundidade, conseqüentemente para os níveis (4,00-5,00 MPa), com um aumento gradativo da porcentagem em cada classe da RP considerando a média da camada.

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

	Classes(Mpa)					
	(%)					
	<2,00	2,00 a 3,00	3,00 a 4,00	4,00 a 5,00	5,00 a 6,00	>6,00
0-0,05	100	-	-	-	-	-
0,05-0,10	67,18	32,82	-	-	-	-
0,10-0,15	11,83	84,35	3,82	-	-	-
0,15-0,20	1,15	78,63	19,85	0,38	-	-
0,20-0,25	3,82	72,90	19,08	4,20	-	-
0,25-0,30	5,34	75,57	14,89	4,20	-	-
0,30-0,35	20,61	66,79	9,16	3,44	-	-
0,35-0,40	37,02	50,76	11,07	1,15	-	-
0-40	39,69	56,11	4,20	-	-	-
PM	0,00	33,59	53,82	11,83	0,76	-

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. Entretanto nas demais camadas, obteve-se índices de

compactação, sendo a camada de 0,20-0,30 m com um valor maior de 70,23%, a camada de 0,10-0,20 m apresentou um valor de 24,81%, seguido da camada 0,30-0,40 m com um valor de 4,96 %. 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 (RP) em cada classe.

Profundidade da RP máxima	Porcentagem (%)
< 10 cm	0,00
10 a 20 cm	24,81
20 a 30 cm	70,23
30 a 40 cm	4,96
> 40 cm	0,0

5 CONCLUSÕES

A resistência a penetração apresentaram dependência espacial dentro da grade amostral adotada.

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

Houve aumento da resistência à penetração conforme o incremento de sua profundidade até 0,30 m.

A geoestatística permitiu identificar o zoneamento da área definindo assim regiões com níveis de compactação, sendo assim, podendo fazer o uso de escarificador/subsolagem de maneira localizada dentro da área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNIASSI, U.R. Agricultura de precisão: aplicação localizada de agrotóxicos. In: GUEDES, J.V.C.; DORNELES, S.H.B. (Org.) Tecnologia e segurança na aplicação dos agrotóxicos - novas tecnologias. Santa Maria: Departamento de Defesa Fitossanitária; Sociedade de Agronomia de Santa Maria, 1998. p.53-63.

BATCHELOR, B.; WHIGHAM, K.; DEWITT, J.; HEITT, T.; ROTH-EASTMAN, K. Precision agriculture: introduction to precision agriculture. Iowa Cooperative Extension, 1997. 4p. Disponível na Internet. <http://www.extension.iastate.edu/Pages/precisionag/prec-ag.pdf> em 03Fev. 2016.

BICKI, T.J.; SIEMENS, J.C. Crop response to wheel traffic soil compaction. Transaction of the ASAE, St. Joseph, v.34, p.909-913, 1991.

BLACKMORE, B.S. An information system for precision farming. Silsoe. Inglaterra: The Centre for Precision Farming. Cranfield University, 1996. p.09. Disponível na Internet. <http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/cpf/papers/ISPF/ispf3.pdf> em 22 Jul. 1999. Trabalho apresentado em the Brighton Conference Pests and Diseases 1996.

CAMARGO, O.A. Compactação do solo e desenvolvimento de plantas. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1983. 44p.

CAMPO, P. do. Agricultura de precisão. Inovações do campo. Piracicaba. 2000. Disponível na Internet. http://www1.portaldocampo.com.br/inovacoes/agric_precisao.htm em 06 Mai 2000.

CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; SANTOS, L. A. C.; AQUINO, R. E.; SOARES, M. D. R.; Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e umidade em áreas cultivadas com mandioca na região de Humaitá, AM. Revista Agro@mbiente Online, Humaitá AM v.6, n.1, p.9-16, 2012 .

CANZIAN, E.; SARAIVA, A.M.; CUGNASCA, C.E., et al. Projeto de um monitor de semeadora com GPS para pesquisa em agricultura de precisão. Disponível na Internet. <http://www.pcs.usp.br/~laa/projetos.html> .

CAPELLI, N.L. Agricultura de precisão - Novas tecnologias para o processo produtivo. LIE/DMAQAG/ FEAGRI/UNICAMP, 1999. Disponível na Internet. <http://www.bases.cnptia.embrapa.br/cria/gip/gipap/capelli.doc>.

CAPUTO, Homero Pinto. Mecânica dos Solos e Suas Aplicações. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1988. 6. ed. 234 p.

CORTEZ, J. W.; LOPES, H. L.; COELHO, D. L.; ARCORVERDE, S. NS. Spatial Variability of Mechanical Resistance to Penetration Evaluated With Mobile Uniton Haplic Vertisol Cultivated with mango. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 34, n. 1-10, 2014.

CUNHA, J. P. A. R. da; VIEIRA, L. B.; MAGALHÃES, A. C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. Engenharia na Agricultura, v.10, n.1-4, 2002-1.

CRUZ, J.S.; ASSIS JUNIOR, R.N.; MATIAS, S. S. R.; CAMACHO-TAMAYO, J. H.; TAVARES, R. C. Análise espacial de atributos físicos e carbono orgânico em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. Ci. Agrotec. p.34:271-8;2010

DERPSCH, R. Importância de la siembra directa para obtener la sustentabilidad de la producción agrícola. In: CONGRESSO NACIONAL DE AAPRESID, 5., Mar del Plata. 1997. Conferências. s.l. : s.ed., 1997a. p.153-176.

DEMARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.23, n.3, p.703-709, 1999.

DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A. Pesquisa de desenvolvimento em sistema plantio direto no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997.

EMBRAPA ALGODÃO, Sistemas de Produção Versão Eletrônica. Janeiro 2003. Disponível em: <www.sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br> Acesso em 20-03-2016.

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.

FROGBROOK, Z. L.; OLIVER, M.A.; SALAHI, M.; ELLIS, R.H. Exploring the spatial relations between cereal yield and soil chemical properties and the implications for sampling. Soil Use and Management, Chichester. 18, n. 01, p. 01-09, 2002.

GUIMARÃES, RML, TORMENA, C.A.; BLAINSKI, E.; FIDALSKI, J. Intervalo hídrico ótimo para avaliação da degradação física do solo. R Bras Ci Solo.p.37;2013

HAMZA, M.A.; ANDERSON, W.K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Till. Res.*, 82:121-145, 2005.

HEBBLETHWAITE, J. F. The contribution of no-till to sustainable and environmentally beneficial crop production: a global perspective. In: CONGRESSO NACIONAL DE AAPRESID, 5., Mar del Plata, 1997. Conferências. s.l. : s. ed., 1997. p.79-90.

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

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. An introduction to applied geostatistics. Oxford: Oxford University Press, 1989. 561p.

KONDO, M. K.; DIAS JUNIOR, M. S. Compressibilidade de três latossolos em função da umidade e uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.23, p.211-218, 1999.

LABOSKI, C.A.M.; DOWDY, R.H.; ALLMARAS, R.R. & LAMB, J.A. Soil strength and water content influences on corn root distribution in a sandy soil. *Plant Soil, Califónia*203:239-247, 1998.

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

MANTOVANI, E.C.; QUEIROZ, D.M.; DIAS, G.P. Máquinas e operações utilizadas na agricultura de precisão. In: SILVA, F. M. da.(Coord.). *Mecanização e agricultura de precisão. Poços de Caldas : UFLA/SBEA*, 1998. p.109-157.

MANZATTO, C.V.; BHERING, S.B.; SIMÕES, M. Agricultura de precisão: propostas e ações da Embrapa solos. *EMBRAPA Solos*, 1999. Disponível na Internet. <http://www.cnps.embrapa.br/search/pesqs/proj01/proj01.html> em 01 Out. 1999.

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

MUZILLI, O. Desenvolvimento e produtividade das culturas. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. *Plantio direto no Estado do Paraná*. Londrina:IAPAR, 1981 p.199-203. (Circular, 23).

RAGHAVAN, G.S.V.; MICKYES, E. Physical and hydraulic characteristics in compacted clay soils. *Journal of Terramechanics*, Elmsford, v.19, p.235-242, 1983.

ROZA, D. Novidade no campo: Geotecnologias renovam a agricultura. *Revista InfoGEO*, n.11, 2000. Disponível na Internet. http://www.infogeo.com.br/Revista/materia_11.htm em 21 Mai. 2000

SAMPAIO, F.M.T.; FERREIRA, M.M.; OLIVEIRA, M.S.; ALMEIDA, A.C.; JOSÉ, M.R. Variabilidade espacial da umidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob plantio direto. *Eng Agríc.; Jaboticabal*, v..30, p.854-861, 2010.

SHIMAKURA, S. E. Conceitos fundamentais e princípios básicos de bioestatística. Acesso em: 20/01/2016, disponível em: <<http://www.leg.ufpr.br/~silvia/CE055/node26.html>>.

SIQUEIRA, D. S.; MARQUES, JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T. The use of landforms to predict the variability of soil and orange attributes. *Geoderma*; p.155:55-66;2010

SILVA, V. R.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Susceptibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa*, v.4, p.239- 249, 2000a.

SMUCKER, A.J.M.; ERICKSON, A.E. Tillage and compactive modifications of gaseous flow and soil aeration. In: LARSON, W.E.; BLAKE, G.R.; ALLMARAS, R.R.; VOORHEES, W.B.; GUPTA, S.C. *Mechanics related process in structured agricultural soils*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1989. P.205-221

SOANE, B.D. Process of soil compaction under vehicular traffic and means of alleviating it. In: LAL, R.; SANCHEZ, P.A.; CUMMINGS, R.W. *Land clearing and development in the tropics*. Rotterdam: Balkema Publisher, 1986. p.265-297. The role of organic matter in soil compactability: a review of some practical aspects. *Soil and Tillage Research, Amsterdam*, v.16, n.1/2, p.179-201, 1990.

SOUZA, Z. M.; CAMPOS, M. C. C.; CAVALCANTE, Í. H. L.; MARQUES JUNIOR, J.; CESARIN, L. G.; SOUZA, S. R. Dependência espacial da resistência do solo à penetração e teor de água do solo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Ciência Rural, Santa Maria* v.36, n.1, p.128-134, 2006.

SOUZA Z.M, MARQUES JUNIOR J.; Pereira, G.T. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. *Ci Rural*. P.40:48-56;2010

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy, San Diego*, v.38, n.1 p.45-94, 1985.

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

WILDING, L.P.; DRESS L.R. Spatial variability and pedology,.In L.P. WILDING, N. SMECK.; HALL G.F. (ds.). *Pedogenesis and Soil Taxonomy*, Wageningen. Netherlands. p. 83-116,1983.