RAFAEL MENDES PEREIRA

AVALIAÇÃO DE UM PREPARO DO SOLO PARA IMPLANTAÇÃO DA CULTURA DA CENOURA (*Daucus carota* L.)

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

RIO PARANAÍBA
MINAS GERAIS – BRASIL
2014

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e Classificação da Biblioteca Central da UFV

RAFAEL MENDES PEREIRA

AVALIAÇÃO DE UM PREPARO DO SOLO PARA IMPLANTAÇÃO DA CULTURA DA CENOURA (*Daucus carota* L.)

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 24 de julho de 2014.

Walter Luiz Castro Mewes

Alberto Carvalho Filho
(Coorientador)

Luciano Baião Vieira
(Orientador)

Aos meus pais, Fernando e Imar.

Aos meus irmãos, Luciano, Cristiane e Fernanda.

Aos meus sobrinhos, Maria Luisa, João Pedro, Maria Clara, Ana Cecília e Gabriela.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

A Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Campus de Rio Paranaíba, pela oportunidade de realização do curso.

A cidade a aos cidadãos de Rio Paranaíba, pelo abraço acolhedor e protetor que me foi ofertado, em especial Heliegton, Ana Cristina e Rosa.

Aos professores Luciano Baião Vieira, Alberto Carvalho Filho e Remato Adriane Alves Ruas pela orientação e oportunidade de aprendizado.

Aos professores do programa, pelos ensinamentos teóricos e pelo aprendizado da vida.

Ao professor Júlio Cesar Wojcechowski pela colaboração fundamental para desenvolvimento do trabalho.

Aos meus colegas de mestrado, em especial Daianna, Diego e Roney pelo acolhimento e companheirismo ao longo desta jornada.

Aos meus irmãos Luciano, Cristiane e Fernanda e cunhados Rita Elisa e Carlos José.

Aos meus amigos Talita, Maga, Ademilso, Marcela, Cristiano e Ivanir.

A minha mãe Imar e ao meu amigo e companheiro Edgley.

BIOGRAFIA

RAFAEL MENDES PEREIRA, filho de Fernando Antônio Reis Pereira e Imar Mendes Pereira, nascido no dia 19 de dezembro de 1983 na cidade de Ponte Nova, Minas Gerais.

Em novembro de 2002, conclui o ensino médio da Escola Professora Vera Parentoni.

Em setembro de 2011, obteve o título de Engenheiro Agrônomo pela Universidade do Estado de Mato Grosso.

Em março de 2012, iniciou o curso de Mestrado em Produção Vegetal na área de concentração em Mecanização Agrícola, Manejo e Conservação do Solo e Água, na Universidade Federal de Viçosa – Campus de Rio Paranaíba, submetendo-se à defesa de dissertação em julho de 2014.

SUMÁRIO

RESUMO iv
ABSTRACT v
1. INTRODUÇÃO 1
2. REVISÃO DE LITERATURA 3
2.1. Equipamentos agrícolas 3
2.1.1. Grade como equipamento de mobilização dos solos na cultura da cenoura 4
2.1.2. Arado como equipamento de mobilização dos solos na cultura da cenoura 5
2.1.3. Subsolador como equipamento de mobilização dos solos na cultura da cenoura 6
2.1.4. Rotoencanteirador como equipamento de mobilização dos solos na cultura da cenoura 7
2.2. Resistência mecânica do solo à penetração 8
2.3. Teor de água no solo 9
2.4. Variabilidade espacial e temporal dos atributos do Solo 10
3. MATÉRIAL E MÉTODOS 11
3.1. Delineamento experimental e descrição da amostragem 13
3.2. Resistência mecânica do solo à penetração 14
3.3. Teor de água no solo 15
3.4. Avaliação da desagregação da camada de solo mobilizada 15
3.5. Análise dos dados e elaboração de mapas de contorno 17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 17
4.1. Resistência mecânica do solo à penetração 17
4.2. Teor de água no solo 22
4.3. Avaliação da desagregação da camada de solo mobilizada 22
4.4. Mapas de contorno 24
5. CONCLUSÕES 28
6. REFERÊNCIAS 29

RESUMO

PEREIRA, Rafael Mendes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2014. **AVALIAÇÃO DE UM PREPARO DO SOLO PARA IMPLANTAÇÃO DA CULTURA DA CENOURA (*Daucuscarota* L.)** Orientador: Luciano Baião Vieira. Coorientadores: Alberto Carvalho Filho e Renato Adriane Alves Ruas.

A região do Alto Paranaíba apresenta grandes áreas de produção comercial de cenoura. A obtenção de raízes de boa qualidade comercial exige além da aquisição de sementes de qualidade um preparo do solo sem impedimentos físicos e presença de restos culturais. Contudo tem-se que o intervalo de entrada de equipamentos agrícolas para preparo do solo no cultivo da cenoura é determinado por questões comerciais, permitindo técnicas inadequadas de preparo do solo. Este trabalho teve como objetivo descrever alguns dos efeitos dos equipamentos agrícolas no preparo do solo em área comercial de produção de cenouras, quanto a resistência mecânica do solo à penetração (RP), teor de água do solo (U%), diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) e porcentagem de finos (FINOS%), em cinco condições, antes da mobilização do solo “a”, pós passada de grade niveladora “b”, de arado de discos “c”, grade aradora “d” e rotoencanteiradora “e”, onde a ação de um equipamento pós mobilização reflete na sua ação adicionado ao histórico das mobilizações anteriores. Este estudo pretende também elaborar uma ferramenta que permita uma melhor visualização do efeito dos equipamentos para o parâmetro RP ao longo do perfil do solo. O trabalho foi realizado em uma área demarcada sob pivô. Os maiores valores de RP formam encontrados na condição “a”, ou seja, antes do revolvimento do solo em níveis de até 5800 kPa. A variabilidade da umidade comparada verticalmente apresentou diferença estatística apenas para a coleta “e”. O diâmetro médio ponderado não influenciou na porcentagem de agregados finos. A resistência mecânica do solo máxima obtida sem comprometimento de produtividade para a cenoura foi obtida após mobilização por grade aradora. O método de interpolação de dados pelo inverso do quadrado da distância é satisfatório para elaboração de mapas de contorno. Os mapas de contorno se mostraram como ferramenta de fácil leitura e interpretação de RP ao longo do perfil do solo.

ABSTRACT

PEREIRA, Rafael Mendes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July 2014 **EVALUATION OF A SOIL PREPARATION FOR DEPLOYMENT OF CULTURE OF CARROT** (*Daucus carota* L.) Advisor: Luciano Vieira Baião. Co-advisers: Alberto Carvalho Filho and Renato Adriane Alves Ruas.

The region Alto Paranaíba features large areas of commercial carrot production. Obtaining roots of good commercial quality demands beyond the acquisition of quality seeds a training ground without physical impairments and the presence of cultural remains. However it has to be the input range of agricultural equipment for soil preparation in carrot cultivation is determined by trade issues, allowing inadequate soil preparation techniques. This study aimed to describe some of the effects of agricultural machinery for soil tillage in commercial production area of carrots, as the soil resistance to penetration (RP), soil water content (% U), geometric mean diameter (DMG) and mean weight diameter (DMP) and percentage of fines (FINOS %) five conditions before tillage "the" last post of disking "b", the disc plow "c" harrow "d" and rotoencanteiradora "and" where the action of a post mobilization equipment reflects in their action added to the history of previous demonstrations. This study also aims to develop a tool that allows better visualization of the effect of equipment for the RP parameter along the soil profile. The study was conducted in a demarcated area under pivot. The highest form found on the PR condition "a", ie, before turning the soil at levels up to 5800 kPa. The variability of moisture compared vertically statistical difference only for collection "and". The weighted average diameter did not influence the percentage of fine aggregates. The maximum mechanical strength of soil obtained without compromising productivity for the carrot was obtained after mobilization by harrow. The method of data interpolation by the inverse square of the distance is suitable for preparation of contour maps. Contour maps proved as easy to read tool and interpretation of RP throughout the soil profile.

1. INTRODUÇÃO

A cenoura (*Daucus carota L.*) é a olerícola de maior expressão econômica entre aquelas cuja parte comestível é a raiz. Pertencente à família *apiacea* e do grupo das raízes tuberosas se destaca ainda pelo elevado valor nutricional e econômico e, atualmente, cultivada em escala comercial em diversos estados do país, ocupando o sexto volume em comercialização (MAGNO JUNIOR, 2012; ALMEIDA et al., 2010).

No ano de 2011 a produção de cenoura no Brasil foi de 780.800 t, produtividade de 31,2 t ha^{-1} (EMBRAPA HORTALIÇAS, 2013), e destaque na produção para os estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Bahia e Pernambuco, que somam 90%. Na região Sudeste do Brasil se destaca o estado de Minas Gerais, onde na região do Alto Paranaíba, sobressaem os municípios de São Gotardo, Rio Paranaíba, Ibiá, Campos Altos, Tiros e Matutina, cultivando uma área de aproximadamente 8 mil hectares e produtividade média de 35 t ha^{-1} (MAGNO JUNIOR, 2012).

Para a comercialização da cenoura *in natura*, que é uma das formas mais importantes de consumo no Brasil, a raiz deve apresentar características visuais adequadas, tais como: cor alaranjada pronunciada, formato cilíndrico, comprimento entre15 e 22 cm, diâmetro entre 3 e 4 cm, deve possuir pequena diferenciação entre as cores do xilema e do floema, não possuir defeitos de formação como rachaduras, bifurcações e ombro verde ou roxo, este último se refere a um distúrbio fisiológico que causa alteração na coloração pela exposição das raízes à irradiação solar (LUZ et al., 2009). É importante salientar que as diferentes técnicas de cultivo influenciam nas características supracitadas (FILGUEIRA, 2000; LANA & VIEIRA, 2000).

A obtenção de raízes de boa qualidade comercial alia qualidade da semente e um correto preparo do solo, com certo nível de desagregação e ausência de impedimentos físicos, químicos e mecânicos (MAGNO JUNIOR, 2012). Para isso, é exigido elevado número de operações agrícolas, a fim de evitar os efeitos negativos na conformação das raízes que se relaciona diretamente com a perda da produtividade. Entretanto, deve-se ressaltar os efeitos negativos do preparo excessivo do solo, que o torna mais susceptível a perda por eluviação, erosão ou mesmo diminuição da produção influenciada pela ineficiência de emergência de plântulas sob efeito de selamento superficial, causado pela alta pulverização do solo (FRANZ et al., 2005; MAGNO JUNIOR, 2012).

As características ideais de um solo para produção de cenoura estão relacionadas com a profundidade de preparo, friabilidade, ausência de camada compactada e teores médios de argila (FILGUEIRA, 2008). Os atributos físicos, principalmente textura,

estrutura e permeabilidade, e as propriedades químicas e biológicas do solo afetam sensivelmente a produtividade e a qualidade das raízes de cenoura (FONTES et al., 2008), sendo os dois primeiros atributos supracitados considerados os mais importantes para o crescimento das plantas de cenoura (VIANA et al., 2004).

O que se espera de um adequado preparo do solo é que ocorram nele alterações mecânicas na agregação entre as partículas, melhorando infiltração de água e aeração, criando condições favoráveis à germinação de sementes e desenvolvimento de plantas (SRIVASTAVA et al., 2006). Isso pode ser alcançado com praticamente todos os equipamentos de mobilização do solo, pois todos, de alguma forma, promovem alterações nos atributos físicos (SÁ, 1998).

Segundo Fontes et al. (2008) o preparo do solo para cultivo convencional de cenoura consta de aração, gradagem e levantamento dos canteiros, sendo também indicado o uso do arado de aiveca de dois em dois anos e adoção da rotação de culturas com leguminosas. Em geral, as propriedades do solo diferem quanto ao sistema de preparo, no que diz respeito aos equipamentos agrícolas utilizados e, principalmente, quanto ao número, sequência e repetibilidade das operações realizadas, essas alterações podem influenciar na produtividade.

Em estudo realizado por Magno Junior (2012) para a cultura da cenoura, ao avaliar oito formas de preparo do solo, observou-se que, independentemente do número de mobilizações do solo e da sequência de uso dos equipamentos, a produtividade total de cenouras não sofreu interferência.

Os efeitos do preparo do solo sobre sua estrutura dependem da intensidade de revolvimento ou trânsito, tipos de equipamentos utilizados, manejo dos resíduos vegetais e condições do solo no momento do preparo (VIEIRA, 1985).

Conforme já salientado, para cultura da cenoura, o resíduo vegetal deve ser eliminado a fim de evitar impedimento físico e melhor conformação das raízes, assim para a operação de eliminação de restos vegetais utiliza-se as grades aradoras como principais equipamentos para mobilização do solo à baixa profundidade.

Contudo tem-se que o intervalo de entrada de equipamentos agrícolas para preparo do solo no cultivo da cenoura na região do Alto Paranaíba (preparo usual) é determinado por questões comerciais, não sendo levados em consideração os atributos do solo no momento da mobilização, este fato pode propiciar efeitos negativos para características físicas do solo e refletir na produtividade da cultura. Não raro, o alto retorno financeiro obtido com a produção de cenoura no Alto Paranaíba omite técnicas

inadequadas de preparo do solo. Este fato acontece também pela escassez de trabalhos científicos realizados na região que visam caracterizar essa operação.

Assim, este estudo pretende descrever feitos dos equipamentos agrícolas (grade niveladora, grade aradora, arado de discos e rotoencanteiradora) no preparo do solo em área comercial de produção de cenouras no município de Rio Paranaíba – MG, em que os equipamentos foram avaliados quanto à resistência mecânica do solo à penetração (RP), teor de água do solo (U%), diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) e porcentagem de finos (FINOS%), para mobilizações consecutivas e de acordo com a rotina de preparo do solo da propriedade, ou seja, a ação de um equipamento pós-mobilização reflete na sua ação adicionado ao histórico das mobilizações anteriores. Este estudo pretende também elaborar uma ferramenta que permita uma melhor visualização do efeito dos equipamentos para o parâmetro RP ao longo do perfil do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Equipamentos agrícolas

Por definição máquina agrícola “é um conjunto de órgãos, constrangidos em seus movimentos por obstáculos fixos e de resistência suficiente para transmitir o efeito de forças e transformar energia”, enquanto que implemento “é um conjunto constrangido de órgãos que não apresentam movimentos relativos nem têm capacidade para transformar energia; seu único movimento é o de deslocamento, normalmente imprimido por uma máquina tratora” (MIALHE, 1974).

A mobilização do solo pode, no entanto, ser realizada tanto por uma máquina quanto por um implemento. No intuito de padronizar e definir melhor estes termos apresentados Carvalho Filho et al. (2007), sugeriu o termo equipamento para agrupar as duas definições, e este será adotado no presente trabalho.

Ainda outros termos podem causar dificuldade para descrever e discutir trabalhos científicos. Para fins de padronização, neste trabalho será adotado o termo rotoencanteiradora, sugerido por Magno Junior, (2012) para descrever os termos enxada rotativa, rotoencanteiradora e fresadora, que realizam trabalhos semelhantes.

O uso de equipamentos agrícolas de mobilização do solo é imprescindível para implantação da cultura da cenoura. Em áreas comerciais os equipamentos comumente utilizados são as grades, arados, subsoladores e rotoencanteiradoras.

2.1.1. Grade como equipamento de mobilização dos solos na cultura da cenoura

As grades são equipamentos destinados ao preparo do solo, visando o destorroamento e o nivelamento do terreno por meio de desagregação de torrões, diminuição de vazios formados entre os torrões, também picam e incorporam superficialmente restos culturais e ainda rompem camadas superficiais de solo adensadas ou compactadas.

Devido à necessidade de decomposição total de resíduos vegetais em áreas de cultivo de cenoura, e a comum utilização da rotação de cultuas ou mesmo a presença de plantas daninhas, recomenda-se como primeira intervenção de mobilização dos solos na cultura da cenoura o uso da gradagem para incorporação destes restos de cultura (Figura 1a e 1b).

Além da remoção de partes vegetais que venham a promover impedimento físico para o desenvolvimento das raízes de cenoura, a eliminação de restos culturais é também indicada, segundo Guimarães, et al. (2012), no controle de pragas tais como Lagarta rosca – *Agrotis ipsilon* e da Lagarta militar – *Spodoptera frugiperda*, uma vez que não se têm inseticidas registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para estas pragas.

A gradagem também pode ser indicada com antecedência em relação ao plantio, de modo a favorecer a uniformidade de emergência das plantas daninhas e assim facilitar a seu controle por dessecação e/ou segunda gradagem para incorporação (EMBRAPA, 2012).

Figura 1 – Preparo do solo para cultivo de cenoura. Restos de cultura “a” e mobilização com grade de discos “b”

2.1.2. Arado como equipamento de mobilização dos solos na cultura da cenoura

O arado é um dos mais antigos equipamentos de preparo do solo, e é comumente utilizado na cultura da cenoura. Sua ação no solo compreende em cortar, elevar, tombar e esboroar a leiva (BALASTREIRE, 2004).

Os arados de discos ou aivecas quando utilizados com teor de água abaixo do limite mínimo de friabilidade, segundo Magno Junior, (2012), auxiliam no controle de pragas e patógenos de solo, como por exemplo, nematoides, pela exposição de torrões de solo mobilizado à luz solar. Porém os arados de discos, (Figura 2) são mais vantajosos que os de aivecas, pela função ativa dos discos, que pelo movimento de rotação apresentam maior mobilidade sobre os obstáculos, o que diminui a influencia diretamente quanto a impacto sobre a estrutura do equipamento (BALASTREIRE, 2004).

A profundidade de trabalho dos arados é, de forma geral, maior que das grades. Por este motivo o equipamento é utilizado também para rompimento de camadas compactas superficialmente (0,30 m).

Ao avaliar a produtividade de arroz em diferentes profundidades de aração Stone & Moreira, (1996) verificou diferença de rendimento da cultura, e a este fator atribui uma maior concentração de nutrientes em camadas superficiais. Portanto culturas que exploram solos mais superficiais podem ser favorecidas pelo acúmulo de nutrientes nesta camada e o uso de arados pode promover essa alteração de acumulo de nutrientes pela sua ação no solo.

Figura 2 – Preparo do solo para cultivo de cenoura. Mobilização por arado de discos.

2.1.3. Subsolador como equipamento de mobilização dos solos na cultura da cenoura

Os subsoladores, segundo Balastreire (2004), são equipamentos utilizados para promover a desagregação de camadas compactadas, a fim de facilitar a penetração das raízes das culturas e da água para as camadas mais profundas do solo, podendo trabalhar a profundidades de até 1,10 m em áreas florestais (SASAKI, 2005).

Para a cultura da cenoura este equipamento vem sendo utilizado entre passadas do rotoencanteirador (Figura 3), com a finalidade de melhorar a infiltração de água no solo. O uso deste equipamento se dá entre os canteiros formando drenos subterrâneos, facilitando escoamento da água e evitando erosão hídrica superficial.

O momento de mobilização com o subsolador implica na eficiência de uso deste equipamento. No caso do solo muito úmido, pode haver o efeito do solo fluir plasticamente pela haste e havendo menor mobilização apesar de exigir menor potência para ser tracionado (NICHOLS et al. 1985; CASSEL, 1979). Sassaki (2005) observou relação inversa para volume de solo mobilizado e teor de água em três Latossolos em que o menor teor de água relaciona a maior área de solo mobilizado. Na cultura da cenoura quando utilizado em condições de baixa umidade pode promover quebra nas laterais dos canteiros pela maior volume de solo mobilizado.

Figura 3 – Preparo do solo para cultivo de cenoura. Mobilização por subsolador entre canteiros de cenoura com finalidade de drenagem de água

2.1.4. Rotoencanteirador como equipamento de mobilização dos solos na cultura da cenoura

O rotoencanteirador, segundo Assis (2012), é um equipamento que revolve o solo por meio de pequenas enxadas/facas acionadas pela tomada de potência do trator, sendo semelhante à uma enxada rotativa (MAGNO JUNIOR, 2012), promovendo, além da mobilização, a elevação do solo para formação dos canteiros. Outro uso atribuído a este equipamento é incorporação de adubos, corretivos, plantas daninhas e restos de cultura (SILVA et al., 2008).

O uso de rotoencanteirador (Figura 4) promove desagregação da estrutura do solo, o que pode levar ao selamento superficial e perda de produtividade por menor emergência de plântulas, entretanto deve-se considerar a necessidade de desagregação para que haja contato semente/solo.

Figura 4 – Preparo do solo para cultivo de cenoura. Mobilização por rotoencanteirador e levantamento de canteiros

2.2. Resistência mecânica do solo à penetração

As medidas para avaliar o impedimento mecânico no solo são assumidas como sendo a quantidade de pressão que os penetrômetros exercem ao penetrarem através do solo, e o valores são geralmente expressos em kgf/cm^2 e MPa (TORRES et al., 1999).

Mantovani (1986) citou condições visuais para diagnósticos de efeito de compactação levando em consideração sintomas visuais em plantas como sendo: demora na emergência de plântulas, plantas mais baixas que o normal, folhas com caracterização não característica, sistema radicular superficial e raízes mal formadas; e sintomas visuais no solo tais como: crosta no solo, zona compactada de superfície, água empoçada, erosão excessiva pela água e aumento de requerimento de potência dos tratores para o preparo do solo.

A resistência mecânica pode ser entendida com um índice integrado pela compactação do solo, que é definida por Cunha et al. (2002) como sendo a ação mecânica por meio da qual se impõe, ao solo, uma redução em seu índice de vazios, que é a relação entre o volume de vazios e o volume de sólidos, integrado também pelo conteúdo de umidade, pela textura, pelo tipo de argila e dos outros minerais que

constituem o solo (TORRES et al., 1999), sendo portanto um indicativo de restrição à produção agrícola.

Quando o solo é compactado sua resistência é aumentada e a porosidade total é reduzida, com menor proporção de microporos à macroporos. Com isso, o conteúdo volumétrico de água e a capacidade de campo são aumentados, enquanto a aeração, a taxa de infiltração de água e a condutividade hidráulica do solo saturado são reduzidas (REICHERT et al., 2007).

Segundo Reichert et al. (2007), a grande diversidade de valores críticos de resistência mecânica do solo à penetração se deve a fatores como: dificuldade na padronização da umidade ou tensão em que são realizadas as avaliações, diferentes tipos de equipamentos utilizados e, ainda, quanto à coleta de informações se dá no campo e em casa de vegetação, fornecendo condições diferenciadas para condução da pesquisa o que dificulta comparações ente os valores obtidos. Segundo Voorhees et al. (1984) o fator limitante ao crescimento radicular é a resistência que o solo oferece a este órgão e pode ser determinado por um penetrômetro.

Várias técnicas podem ser utilizadas para evitar ou reduzir a compactação do solo dentre as quais se destacam: redução da pressão aplicada com o aumento da área de contato dos rodados dos veículos com solo; manejo do solo em condições ótimas de umidade; redução da intensidade e frequência de tráfego de maquinários; controle do tráfego com base em áreas de acesso; incremento de material orgânico; uso de escarificadores e rotação de culturas, que incluem plantas com sistema radicular estratificado (HAMZA & ANDERSON, 2005; BOTTA et al., 2007), para tanto é importante conhecer e descrever o estado de compactação do solo sob o efeito dos diferentes equipamentos de preparo que são utilizados na condução de uma lavoura.

2.3. Teor de água no solo

Souza & Alves, (2003) ao estudarem solos com diferentes sistemas de uso e manejo, consideraram que a infiltração de água reflete as condições físicas do solo como estrutura, porosidade e ausência de camadas compactadas, estes autores afirmam ainda que as diferentes formas de uso e manejo do solo promoveram alterações no movimento da água no solo e na resistência do solo à penetração.

Com o aumento do teor de água pode-se obter um menor valor de resistência à penetração em um mesmo solo (BEUTLER et al., 2004). O teor de água no solo reflete diretamente nos valores de RP, portanto que esta determinação devesse ser realizada em

valores próximos à capacidade de campo, em que elevados teores de água no solo podem reduzir os valores absolutos da medida de RP (MARTINS, 2002; CONTE et al., 2011).

2.4. Variabilidade espacial e temporal dos atributos do Solo

No estudo da relação solo/planta/máquina há a necessidade da caracterização do estado físico do terreno, para tanto, métodos de sondagem são amplamente apresentados como indicador mecânico de estado físico do solo, ressaltando que tais características não são estáticas e a complexidade dos parâmetros do solo tornam esta avaliação objeto de estudo a aproximadamente trinta anos. Atualmente, várias aplicações estão consolidadas, tais como: detecção de camadas compactadas, estudo da ação de ferramentas de equipamentos no solo, prevenção de impedimento mecânico ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas, predição da força de tração necessária para execução de trabalhos, conhecimento de processos de umedecimento e ressecamento, dentre outras (CUNHA et al., 2002).

O conhecimento da variabilidade das propriedades do solo e das culturas no espaço e no tempo é considerado, atualmente, o princípio básico para o manejo preciso das áreas agrícolas, qualquer que seja sua escala (GREGO & VIEIRA, 2005). Estes mesmos autores afirmam ainda que o nível de detalhamento é obtido por meio da distância entre pontos de amostragem e depende tanto da propriedade a ser analisada quanto ao tamanho da área amostrada.

Os avanços tecnológicos têm mostrado a importância de se medir a variação espacial e temporal de propriedades que afetam o rendimento das culturas, com o objetivo de otimizar o aproveitamento de recursos e diminuir custos e que somente a informação dada pela variância dos dados é insuficiente para explicar um fenômeno em estudo, portanto seria necessário levar em consideração a distância entre as observações e a força influenciadora destes valores. Tal variação para características dos solos somente começou a ser estudada nas décadas de 50 e 60, com o avanço na teoria de estatística espacial, pois a estatística clássica assume que as variações das características do solo dentro das unidades amostrais não são correlacionadas, e que a média das amostras é o melhor estimador das características de solo em qualquer local na unidade amostral (BURROUGH et al., 1994, CARVALHO et al., 2002, LIMA et al., 2006).

As ferramentas estatísticas, por não considerarem a posição dos valores no espaço, podem ser insuficientes para descrever diversos fenômenos naturais. Para a geoestatística um valor medido carrega consigo uma informação sobre a sua vizinhança, uma vez que os fenômenos naturais não ocorrem pontualmente. Assim é importante assinalar que a geoestatística não se refere a um tipo especial, diferente ou alternativo de estatística. O fato é que cada observação é descrita não apenas pelo seu valor, mas também das informações de sua posição, expressa por um sistema de coordenadas (LIMA et al., 2006).

Quando se tem apenas pontos amostrais, não se tem uma definição de como está se comportando toda a área em estudo, a não ser o ponto amostrado. Para que se possa visualizar o comportamento da variável por toda a área em estudo, é necessário que se utilize algum método de interpolação para a criação de mapas de contorno, que permitirá a análise de toda área em estudo, inclusive porções não amostradas (KESTRING, 2011).

A interpolação dos dados pelo método do Inverso do Quadrado da Distância (IQD) parte do pressuposto que um corpo emite uma “luz” influenciada por um “valor/força” e sua intensidade, “o brilho”, que diminui à medida que se afasta da fonte ou, assim a radiação emitida por uma fonte distante do corpo é mais fraca por que quando perto, ou seja, a capacidade ou a intensidade de um valor de RP tende a se propagar em pontos não amostrados com intensidades relativas ao valor de origem. Por este método os pontos não amostrados são influenciados por grupo de valores médio de pontos vizinhos, sendo que valores específicos influenciam com pesos diferentes de grupo de valores.

3. MATÉRIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em área irrigada por pivô central pertencente à Universidade Federal de Viçosa, *Campus* de Rio Paranaíba. O solo da área caracteriza-se como sendo um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico Típico com textura argilosa, sendo cultivado em anos anteriores com culturas anuais (Figura 5). A área experimental foi cultivada com milho, em plantio que constou de aração para incorporação de plantas daninhas, após uso de dessecante seguida de semeadura, com o objetivo de reestruturação do solo, rotação de culturas e produção de grãos, e a instalação do experimento se deu na fase de pousio pós colheita mecanizada do milho.

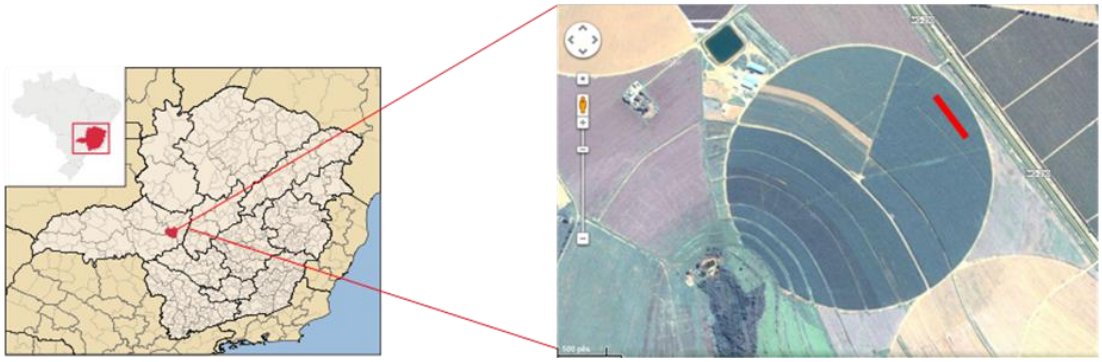


Figura 5 - Localização da área em estudo no município de Rio Paranaíba – MG. Em destaque área experimental da Universidade Federal de Viçosa no *Campus* de Rio Paranaíba e em vermelho a área do experimento.

Em levantamento sobre uso de equipamento no preparo do solo para implantação da cultura da cenoura Magno Junior (2012) descreve para a região em estudo, que a mecanização na cultura de cenoura não tem uma regra prática a ser seguida, mas os equipamentos são praticamente os mesmos, o que muda são as ordens e a quantidade de operações.

De forma prática o mesmo autor descreve que, inicialmente, passa-se a grade niveladora, com o objetivo de ir desintegrando a palha para acelerar sua decomposição, sendo o número de passagens depende do tipo de palhada. Seguida de passagem da grade niveladora, trabalhando à profundidade média de 0,20m, podendo ainda usar apenas a grade aradora, dispensando o uso do arado no preparo periódico do solo. No caso do uso dos arados, os de Aiveca, por terem uma maior profundidade de trabalho, melhor inversão da leiva e menor custo de manutenção, visto que seus órgãos ativos são fixos, são mais utilizados. O número de passagens do arado também dependerá da umidade do solo e do tempo disponível para preparo.

Após aração ou gradagem é realizada operação com o rotoencanteirador sendo muito comum encontrar rotoencanteirador de 1,70 m de largura como também de 3,6m. A adubação de plantio é realizada em área total, sendo realizadas em algumas propriedades através de adubadora a lanço e em outras propriedades através de adubadora de fluxo contínuo.

A semeadura é realizada através de semeadora pneumática de precisão, montada no sistema de levante hidráulico. A aplicação de defensivos é realizada através de pulverizador hidráulico de barras, com vazão variando de 100 Lha^{-1} (dessecação) até 300 a 600 Lha^{-1} (aplicação de inseticidas, fungicidas e herbicidas).

Em determinadas propriedades, após o encanteiramento, o pulverizador é passado vazio sobre a área para compactar o local das próximas passagens, para evitar risco de atolamento durante as seguintes operações de pulverização.

A colheita é realizada manualmente após o levantamento das cenouras no canteiro, realizada por implemento acoplado no sistema de levante hidráulico do trator e os tratores usados na colheita da cenoura são equipados com pneus especiais, com medidas 9-54.

3.1. Delineamento experimental e descrição da amostragem

Na realização deste trabalho foi demarcada uma área com dimensões de 250 x 100m sob pivô central de 53 ha. Desta área foram estabelecidas duas linhas, distantes entre si 50 metros, com 5 pontos de coleta ao longo de cada uma delas, totalizando 10 pontos amostrais (Figura 6). Em cada ponto foram fixadas duas estacas, distantes entre si 1,90 m, onde foram coletados dados de resistência mecânica do solo à penetração (RP) e amostras de solo para determinação do teor de água (U%), determinação da desagregação da camada mobilizada do solo em diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e porcentagem de finos (FINOS%).

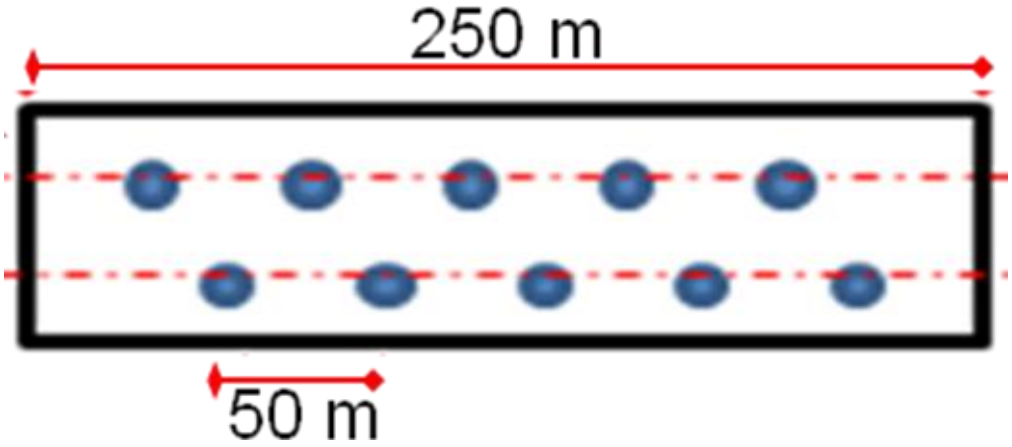


Figura 6 – Esquema de distribuição de pontos amostrados.

Foram utilizados os seguintes equipamentos de preparo do solo para implantação dos experimentos:

- Grade niveladora, marca Baldan, equipada com 36 discos de 20'' polegadas, espaçamento entre discos de 0,20 m, regulada para trabalhar a 0,15 m de profundidade e velocidade de trabalho de 10 kmh^{-1}, tracionada por um trator John Deere 6615 (115 kW de potência no motor).

- Grade aradora, marca Baldan, equipada com 12 discos de 32 polegadas, espaçamento entre discos de 0,30 m, velocidade de trabalho de 10 kmh^{-1}, tracionada por um trator marca John Deere 6615 (115 kW de potência no motor).
- Rotoencanteiradora, marca German, de 2,0 m de largura. Velocidade de trabalho de 25 kmh^{-1}, acionada por um trator New Holland TL 85 (85 kW de potência no motor).

3.2. Resistência mecânica do solo à penetração

A determinação da resistência mecânica do solo à penetração foi realiza em quatro momentos: antes da passada dos equipamentos, que, no trabalho será denominada de coleta “a”, ou seja, antes da primeira mobilização do solo; pós-passada de grade niveladora, coleta “b”(que corresponde a soma de efeito “a” + “b”); pós passada de arado de discos, coleta “c” ”(que corresponde a soma de efeito “a” + “b” + “c”); e pós passada da grade aradora, coleta “d” ”(que corresponde a soma de efeito “a” + “b” + “c” + “d”). Foram tomadas 13 leituras transversalmente, em relação ao “tiro” de passagem dos equipamentos agrícolas, a cada 0,15 m, e os valores obtidos até a profundidade de 0,60 m em intervalo de 0,01 m. Para tanto foi utilizado um penetrômetro eletrônico marca FALKER, modelo PenetroLOG PLG 1020 (Figura 7), com profundidade máxima de atuação de 0,6 m. O equipamento foi montado com haste cone padrão, ASAE (1999), ângulo de 30º, área basal de 130 mm^2 e os dados expressos em kPa (ASAE, 2009).

Figura7 – Penetrômetro eletrônico marca FALKER, modelo PenetroLOG PLG 1020.

3.3. Teor de água no solo

A determinação do teor de água no solo (U%) foi realizada no momento de coleta dos dados de resistência mecânica do solo à penetração, nas camadas: 0,00 – 0,20; 0,20 – 0,40 e 0,40 – 0,60 m, sendo retiradas em tréplica dos pontos amostrados, a uma distância de 0,50 m do ponto de coleta da resistência à penetração, totalizando 90 amostras.

Para coleta das amostras foi utilizado trado tipo sonda. O material coletado foi acondicionado em papel-alumínio e transportado até o laboratório em caixa térmica, a fim de evitar a troca de umidade com o meio. As amostras foram pesadas em balança com precisão de 0,01 g e submetidas e estufa a 105 ºC por 24 horas, para estabilização da massa. O teor de água foi então determinado conforme metodologia sugerida pela Embrapa (1997), descrita na equação 1.

$$U\% = \left[\frac{mi - mii}{ms}\right] * 100 \quad (1)$$

Em que:

U%: teor de água

mi: massa do solo úmido, mais a massa da embalagem;

mii: massa do solo seco, mais a massa da embalagem;

ms: massa do solo seco

3.4. Avaliação da desagregação da camada de solo mobilizada

Para a determinação do Diâmetro Médio Ponderado (DMP), que corresponde às classes de tamanhos de agregados de solo, foram coletadas amostras de aproximadamente 0,5 kg solo, em sacos plásticos, representando o perfil mobilizado de solo. A profundidade de coleta foi determinada pela regulagem de trabalho para cada equipamento agrícola. As amostras foram levadas ao laboratório e colocadas sobre folha de papel à sombra, a fim de atingir umidade higroscópica.

Foi utilizado um jogo de coluna de peneiras com as seguintes medidas: 19,10; 9,52; 4,76; 2,38; 1,19; 0,59; 0,29; 0,14 e < 0,14 mm, em ordem decrescente, dispostas verticalmente sob agitador eletromagnético (Figura 8), durante 60 segundos com o

reostato na posição 4, frequência de 50 Hz, que corresponde a amplitude de vibração de aproximadamente (0,48±0,08) mm.

Figura 8 – Agitador eletromagnético equipado com peneiras de malhas 19,10; 9,52; 4,76; 2,38; 1,19; 0,59; 0,29; 0,14 e < 0,14 mm, usado para determinação dos valores de diâmetro médio ponderado dos agregados do solo.

As frações obtidas em cada malha foram pesadas em balança com precisão de 0,01 g e os valores de DMP obtidos por meio da equação 2, propostas por Castro Filho et al. (1998), para valores maiores que 2,38 mm. E para o solo que ficou retido nas peneiras com malha inferior a 2,38 mm foi classificado como finos, e determinada em porcentagem.

$$DMP = \left[\frac{\sum\ iMi\ .Xi}{\sum\ iMi}\right] \qquad (2)$$

Em que:

DMP: é o diâmetro médio ponderado (mm);

M_i: massa de solo retida na peneira i (g); e

X_i: malha da peneira i (mm).

Os valores do diâmetro médio geométrico (DMG) foram obtidos segundo equação 3, proposta por Schaller e Stockinger (1953).

$$DMG = Antilog\left[\frac{\sum_{i=1}^{n} Wi\ log\ di}{\sum_{i=1}^{n} Wi}\right] \quad (3)$$

Em que:

DMG: é o diâmetro médio geométrico (mm);

Wi: massa retida por classe de tamanho (g);

Di: tamanho médio da classe.

3.5. Análise dos dados e elaboração de mapas de contorno

Para análise exploratória dos dados e caracterização de suas propriedades, computou-se os parâmetros principais da análise descritiva por histogramas, utilizando a ferramenta Geostatistic Analyst® do *software* ArcMap versão 9.3 para o parâmetro RP e os parâmetros DMP, DMG e FINOS% foram avaliados pelo software BioEstat 4.0. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 10% de probabilidade por se tratar de experimento realizado em condições reais de campo. Para os mapas de contorno foram utilizados valores reais e RP em intervalos de leitura de 0,01 m, descartando os primeiros 0,05 m. Foi utilizado o *software* ArcMap versão 9.3, a partir de posições espaciais dos pontos amostrados, representados em planilha Excel pelos valores X, Y e Z, em que as coordenadas são os valores X, posição do eixo na ordenada leste-oeste, Y, posição na abscissa norte-sul, e Z é o valor observado na ordenada nesse ponto. Para a interpolação de dados utilizou-se o aplicativo GeostatisticalAnalyst®, onde o arquivo “xls” (coordenadas numéricas) é convertido em “shape” (coordenadas geográficas) e realizado um teste de validação dos interpoladores para predição de pontos não amostrados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Resistência mecânica do solo à penetração

A distribuição de frequência dos dados de RP foi avaliada por meio da estatística descritiva (Tabela 1). Os maiores valores de RP foram encontrados na condição “a”, ou seja, antes do revolvimento do solo.

Os coeficientes de variação da RP para as camadas de profundidades foram relativamente elevados. Estes comportamentos de RP estão de acordo com os resultados

obtidos por Souza et al. (2001) e Souza et al. (2006). Os coeficientes de variação de U foram semelhantes aos obtidos por Utset e Cid (2001) e Grego e Vieira (2005).

Valores máximos de RP (4260 kPa) nas camadas de 0,10 a 0,20 m, obtidos por Santos et al. (2005), não afetaram a produtividade da cultura do feijoeiro em sistema de plantio direto, valores, semelhantes foram encontrados neste trabalho, entretanto, Conte et al. (2011), em área de pastagem, nas profundidades de até 0,20 m, obtiveram valores de máxima RP inferiores (3.000 kPa). Porém para a cultura da cenoura nas camadas de até 0,30 a RP até 981,00 kPa e nas camadas até 0,60 m de 2277,33 kPa não influenciou na produtividade (MAGNO JUNIOR , 2012).

Os valores máximos de RP foram encontrados antes da mobilização do solo “a” nas camadas 0 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m (4892,90 e 5885,40 kPa). Sanches (2012) atribuiu maiores valores de RP em camadas subsuperficiais pelo princípio de acúmulo das tensões impostas pelo tráfego de equipamentos, enquanto que Tormena et al. (2002) atribuem a estes resultados uma tendência de redução da resistência à penetração em profundidade, o que se deve ao efeito do secamento do solo em superfície, ou seja, com o aumento da umidade em profundidade ocorre, simultaneamente, a redução da RP. Os valores de umidade não apresentaram mesma tendência para as coletas “b” e “d” pela precipitação pluviométrica antes da coleta.

Valores altos de RP também foram observados pós-mobilização do solo por grade niveladora “b” nas camadas de 0,40 – 0,60 m (5957,60 kPa), o que demonstra efeito não significativo deste equipamento nesta profundidade. Os valores de máximo corroboram com dados obtidos por Roque et al. (2008) que registrou 5320,00 kPa de resistência para a cultura do feijoeiro, em preparo do solo com mesmo equipamento.

Os valores médios de RP para as mobilizações do solo avaliadas estão apresentadas na tabela 2. Verifica-se diferença significativa para as médias de RP na camada 0-0,20 m para todas as mobilizações em relação às camadas mais profundas, porém nas camadas 0-0,60 para as mobilizações “a” e “b” não houve diferença significativa, a este fato atribui-se o não efeito da grade em profundidade maior que 0-0-0,20. A RP não diferiu estatisticamente para as mobilizações “c” e “d” nas camadas de 0-0,40 m, pois o há efeito acumulativo dos equipamentos nesta profundidade.

Tabela 1. Estatística descritiva para a variável RP

Variável	RP (%)			
	A	b	c	d
	0-20			
Mínimo	4961.44	69.37	9.87	58.56
Máximo	4892.90	3156.20	1194.60	519.19
Média	2693.52	1157.70	254.52	222.84
Desvio P.	938.80	653.00	156.14	102.39
Assimetria	0.26	0.47	1.97	0.76
Curtose	2.39	2.92	11.73	2.79
Mediana	2635.80	1122.30	228.50	194.63
C.V. (%)	34.85	56.40	61.35	45.95
	20-40			
Mínimo	1559.80	442.00	113.25	20.50
Máximo	5885.40	6132.80	1662.00	1455.80
Média	4103.10	3942.80	698.45	637.61
Desvio P.	846.40	974.57	318.45	357.68
Assimetria	-0.72	-0.71	0.56	0.25
Curtose	3.46	4.58	2.85	2.27
Mediana	4188.50	4007.80	667.20	599.32
C.V. (%)	20.63	24.72	45.59	56.10
	40-60			
Mínimo	177.35	368.85	1111.00	919.10
Máximo	5102.90	5957.60	4510.60	2133.10
Média	4019.30	3878.40	2104.20	1513.30
Desvio P.	733.76	1168.00	623.95	173.14
Assimetria	-2.44	-1.48	1.02	0.12
Curtose	13.12	5.41	4.48	5.01
Mediana	4132.80	4051.30	2065.40	1506.50
C.V. (%)	18.26	30.12	29.65	11.44

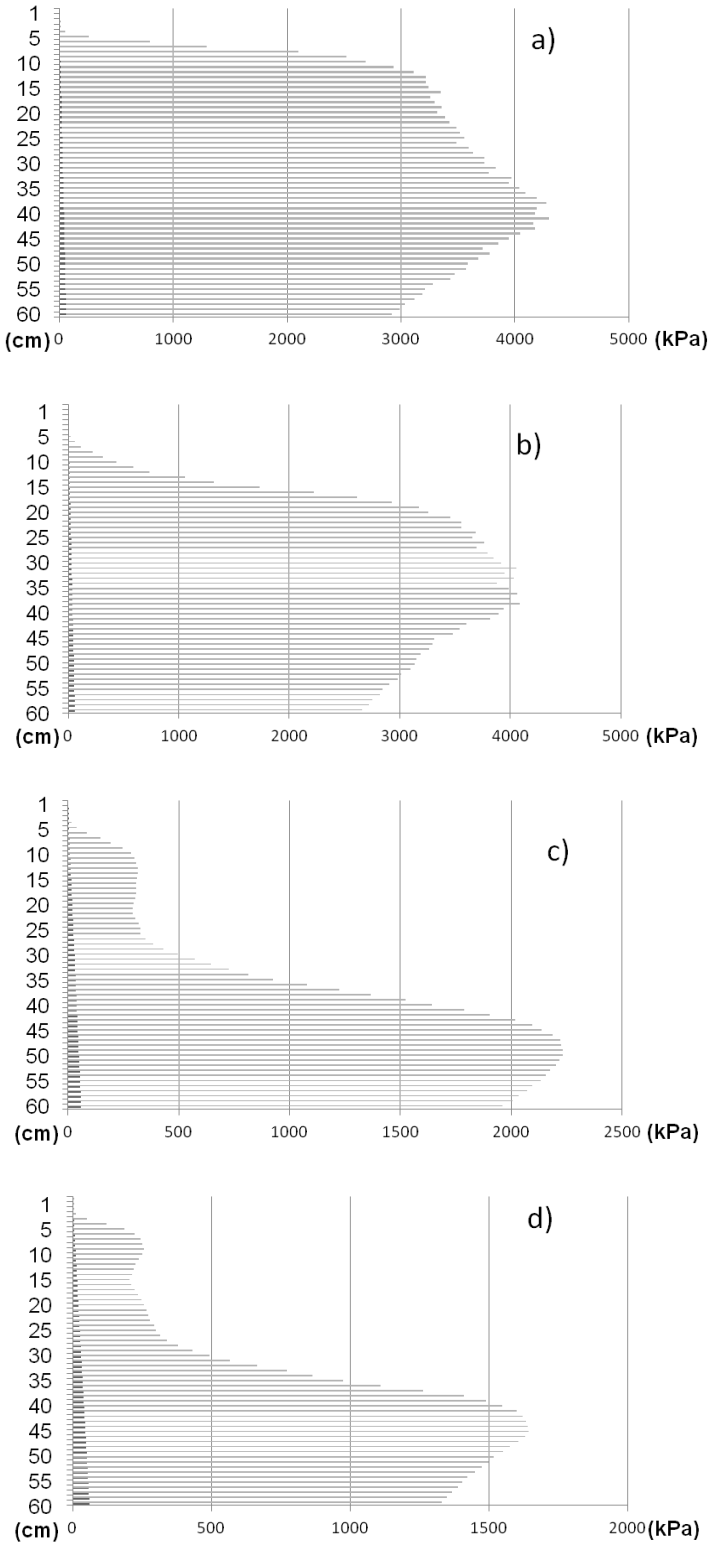
Tabela 2 - Valores médios de resistência mecânica do solo à penetração, antes da mobilização do solo “a”, pós-mobilização por grade niveladora “b”, pós-mobilização por arado de discos “c” e pós-mobilização por grade aradora “d”.

Prof.	RP (KPa)			
(cm)	“a”	“b”	“c”	“d”
00-20	2195,69 a C	1134,58 a B	234,56 a A	252,52 a A
20-40	3553,50 b B	3686,84 b B	655,05 b A	652,73 b A
40-60	3945,71 b C	3639,08 b C	2506,25 c B	1486,51 c A

Médias seguidas pelas mesmas letras são iguais estatisticamente entre si, em nível de 10% de probabilidade pelo teste de Tukey, para letras minúsculas em coluna e maiúsculas em linha.

A espessura da camada superficial do solo até o fundo da camada mobilizada pelos órgãos ativos dos equipamentos utilizados será aqui denominada de camada mobilizada. Assim, de acordo com o modelo de histograma apresentado, figura 9, é possível identificar a profundidade de trabalho de cada equipamento utilizado, pelo seu efeito de desagregação e consequentemente menor valor de RP. O histograma “a” foi obtido antes da mobilização do solo; em “b” a ação por grade niveladora, que representou a camada mobilizada de trabalho em torno de 0,17; enquanto o arado de discos, “c” em torno de 0,35; e para o histograma “d”, representando novamente a passada da grade, foi observado diminuição de RP até a camada mobilizada pelo arado de discos pela somatória do efeito de desagregação do solo.

A similaridade de valores nas coletas “a” e “b” em profundidades superiores a 0,20m deve-se ao fato da grade niveladora não influenciar a RP nestas profundidades, por apresentarem resultados dos efeitos do sistema de preparo do solo das culturas que antecederam a instalação deste trabalho. Ao passo que a grade aradora influenciou a RP em camadas mais profundas que a de sua profundidade de atuação efetiva. Segundo Daniel & Maretti (1990) a profundidade máxima de efeito de compactação imposta por equipamentos agrícolas não excede aos 0,50 m de profundidade, independente do tipo de solo e peso dos equipamentos, e deve-se tomar tal profundidade como referência para avaliação de camadas de solo compactadas.



igura 9 – Valores de RP nas profundidades de 0-60 cm gerado pelo *software* Falker versão 1.41: antes da primeira mobilização do solo (a), pós-mobilização por grade niveladora (b), pós-mobilização pelo arado de discos (c) e pós-mobilização por grade aradora (d). Nas umidades médias do solo, no momento da coleta, 5,22%; 25,91%; 31,38% e 10,17%, respectivamente.

4.2. Teor de água no solo

Os valores médios de U% para as mobilizações do solo avaliadas estão apresentados na tabela 3. A variabilidade foi comparada apenas verticalmente, pois as coletas se deram em momentos distintos e foi observado variabilidade apenas para avaliação por passada de rotoencanteiradora “e” nas camadas extremas. A este fato pode-se atribuir o efeito do equipamento apenas nas camadas mais superficiais, promovendo uma maior desagregação desta camada mobilizada, influenciando na relação macro e microporos. Sendo a porosidade, segundo Reinert & Reichert (2006), responsável por um conjunto de fenômenos tais como a retenção e fluxo de água e ar.

Tabela 3 - Valores médios de teor de água do solo, antes da mobilização do solo “a”, pós-mobilização por grade niveladora “b”, pós-mobilização por arado de discos “c”, pós-mobilização por grade aradora “d” e pós-mobilização por rotoencanteirador “e”.

Prof.	U %				
(cm)	“a”^{ns}	“b”^{ns}	“c”^{ns}	“d”^{ns}	“e”
00-20	4,70	25.50	30,21	11,98	31,29a
20-40	5,03	27,81	31,76	9,67	35,06ab
40-60	5,93	24,41	33,12	9,01	38,48b
CV%	63,88	12,11	15,45	37,46	31,66

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna são iguais estatisticamente entre se
^{ns} não significativo, em nível de 10% de probabilidade pelo teste de Tukey.

4.3. Avaliação da desagregação da camada de solo mobilizada

Os equipamentos de mobilização do solo avaliados promovem diferentes participações de tamanhos de agregados, conforme apresentado na tabela 4.

Quanto à classe de agregados de 1,19 mm, observa-se maior similaridade para todas as mobilizações do solo avaliadas, diferentemente para a classe de agregados 19,1 mm, com maior amplitude, ou seja, os equipamentos avaliados exercem maior influência na classe de agregados de 19,1 mm que 1,19 mm.

As variações de participação de agregados foram crescentes para as classes 9,52, 4,76 e 2,38 mm para todas as mobilizações exceto para o arado de discos que apresentou ainda maior constância para essas classes de agregados. O arado de discos apresentou também menor participação de agregados na classe 2,38 mm. Em pesquisa

similar Magno Junior (2012) verificou maior porcentagem de finos pós-mobilização por rotoencateirador “e”, a este fato atribui-se maior desagregação do solo, porém este resultado só foi verificado para a classe de agregados 19,1, 9,52 e menor que 1,19 mm. O mesmo autor relata ainda que o rotoencateirador apresenta como característica anular o efeito dos equipamentos anteriores, o que não se verificou para as classes de agregados 4,76, 2,38 e 1,19 mm.

Tabela 4 – Participação de agregados em diferentes malhas de peneira, pós-mobilização por grade niveladora “b”, pós-mobilização por arado de discos “c”, pós-mobilização por grade aradora “d” e pós mobilização por rotoencanteirador “e”.

Mobilização do solo	Malha da peneira (mm)					
	19,1	9,52	4,76	2,38	1,19	<1,19
	Participação de agregados (%)					
“b”	10,73	8,94	10,28	10,92	8,11	51,01
“c”	13,26	12,36	13,25	13,66	8,87	38,60
“d”	10,09	10,22	10,83	10,12	8,82	49,92
“e”	5,71	7,98	10,46	11,28	8,98	55,58

Na Tabela 5, são apresentadas as médias para as características: diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e porcentagem de agregados finos (FINOS%). Somente a característica DMG não apresentou significância estatística entre seus valores.

O DMP foi menor para efeito acumulativo dos equipamentos avaliados, porém não diferenciando estatisticamente da primeira mobilização. Conte et al. (2011) ao avaliar DMP ao longo de vários anos, observou que a profundidade de amostragem também apresenta efeito significativo e a este fato atribuiu a aproximação de partículas minerais promovidas pelo pisoteio de animais e pelo tráfego intensivo de equipamentos agrícolas.

Tabela 5 - Valores médios de diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e porcentagem de finos (FINOS%) do solo pós-mobilização por grade niveladora “b”, arado de discos “c”, grade aradora “d” e rotoencanteirador “e”.

F.V.	Médias			
	“b”	“c”	“d”	“e”
DMP (mm)	7,23 A B	7,64 B	7,59 B	6,00 A
DMG (mm)^{ns}	0,87	0,88	0,87	0,87
Finos (%)	51,01 B	38,60 A	49,92 B	55.53 B

Médias seguidas pelas mesmas letras na linha são iguais estatisticamente entre si e ^{ns} não significativo, em nível de 10% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os valores DMG de foram superiores aos encontrados por Oliveira et al. (2003), ao avaliar o efeito do preparo com arado de discos em plantio direto, ainda verificou que houve diferença significativa entre os valores na camada de 0-0,05, enquanto que para camada de 0,20-0,30 todos valores foram iguais entre si, sem diferença significativa.

A participação de finos para mobilização por arado de discos “c” diferenciou-se, estatisticamente, das demais mobilizações, a menor participação de finos deve-se à forma com que o equipamento mobiliza o solo, o qual ao promover o tombamento da leiva forma torrões.

4.4. Mapas de contorno

Em uma das etapas para a elaboração dos mapas de contorno são gerados histogramas que permitem uma visualização de distribuição real dos pontos coletados ao longo do perfil, sendo que os pontos em azul representam os valores reais de RP enquanto que curva representa uma tendência de uniformidade de valores.

Antes da primeira mobilização do solo a umidade média do solo era de 5,22%, figura 10 (a) representa um histograma com alta contagem de pontos numa região mais central o que permite afirmar uma concentração de valores próximos de RP na camada intermediaria de profundidade do solo, que de acordo com a figura 11 (a) representa altos valores de RP nesta camada. Nesta figura é possível observar distribuição de pontos de alta RP ao longo de todo perfil estudado, o que reflete a condição de pousio do solo entre culturas e indica uma necessidade de mobilização para homogeneização da RP.

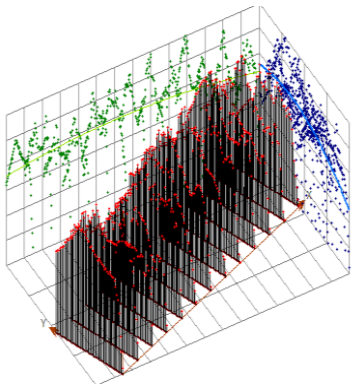


Figura 10 (a) – Valores de RP nas profundidades de 0-60 cm gerado pelo *software* ArcMap: antes da primeira mobilização do solo, e umidade média do solo 5,22%.

Pós-mobilização por grade niveladora, figura 10 (b), representa um histograma com alta contagem de pontos numa região mais central do histograma e outra concentração de pontos em uma camada mais profunda, o que permite afirmar que existem duas regiões distintas, uma com concentração de valores baixos mais profundos e outra de valores altos próximos ao centro, o que é facilmente observado na figura 11 (b), sendo as mudanças de RP observadas apenas nas camadas superficiais, homogeneizando os valores de RP na profundidade de até 0,20 m, sabendo que a RP máxima não foi alterada, quando comparada ao efeito do equipamento anterior.

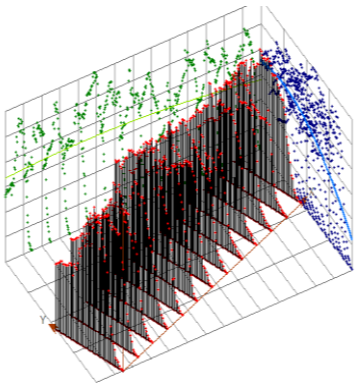


Figura 10 (b) – Valores de RP nas profundidades de 0-60 cm gerado pelo *software* ArcMap: pós-mobilização por grade niveladora, e umidade média do solo 25,91%.

Pós-mobilização pelo arado de discos, figura 10 (c), apresenta um histograma com alta contagem de pontos em duas regiões extremas, o que permite afirmar que existem duas regiões distintas, e a região central se apresenta com distribuição de valores de

forma homogênea. O solo amostrado, neste momento, figura 11 (c), apresentou valores RP menores que a máxima tolerada para a cultura da cenoura sem perdas de produtividade, ou seja, sem restrição de RP ao desenvolvimento de raízes de cenoura.

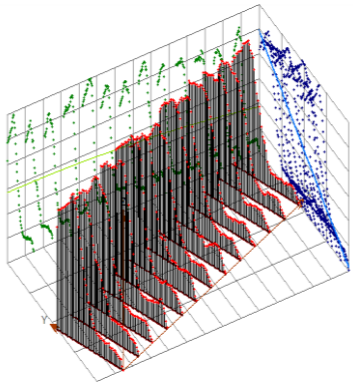


Figura 10 (c) – Valores de RP nas profundidades de 0-60 cm gerado pelo *software* ArcMap: pós mobilização pelo arado de discos , e umidade média do solo 31,38%.

Pós mobilização por grade aradora, figura 10 (d) apresenta um histograma com alta contagem de pontos em duas regiões extremas, o que permite afirmar que existem duas regiões distintas, sendo essas regiões mais próximas entre si, quando comparada à figura 10 (c), ou seja, há uma menor amplitude de valores de RP máximo e mínimo. Conforme pode ser visualizado na figura 11 (d), em que o valor máximo de RP é o menor quando comparado às demais coletas.

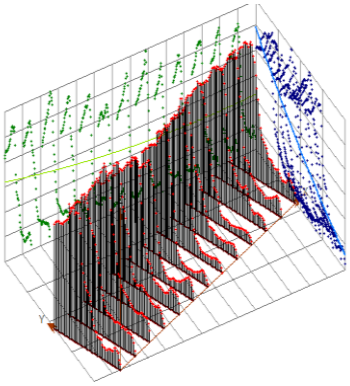


Figura 10 (d) – Valores de RP nas profundidades de 0-60 cm gerado pelo *software* ArcMap: pós mobilização por grade aradora, e umidade média do solo 10,17%.

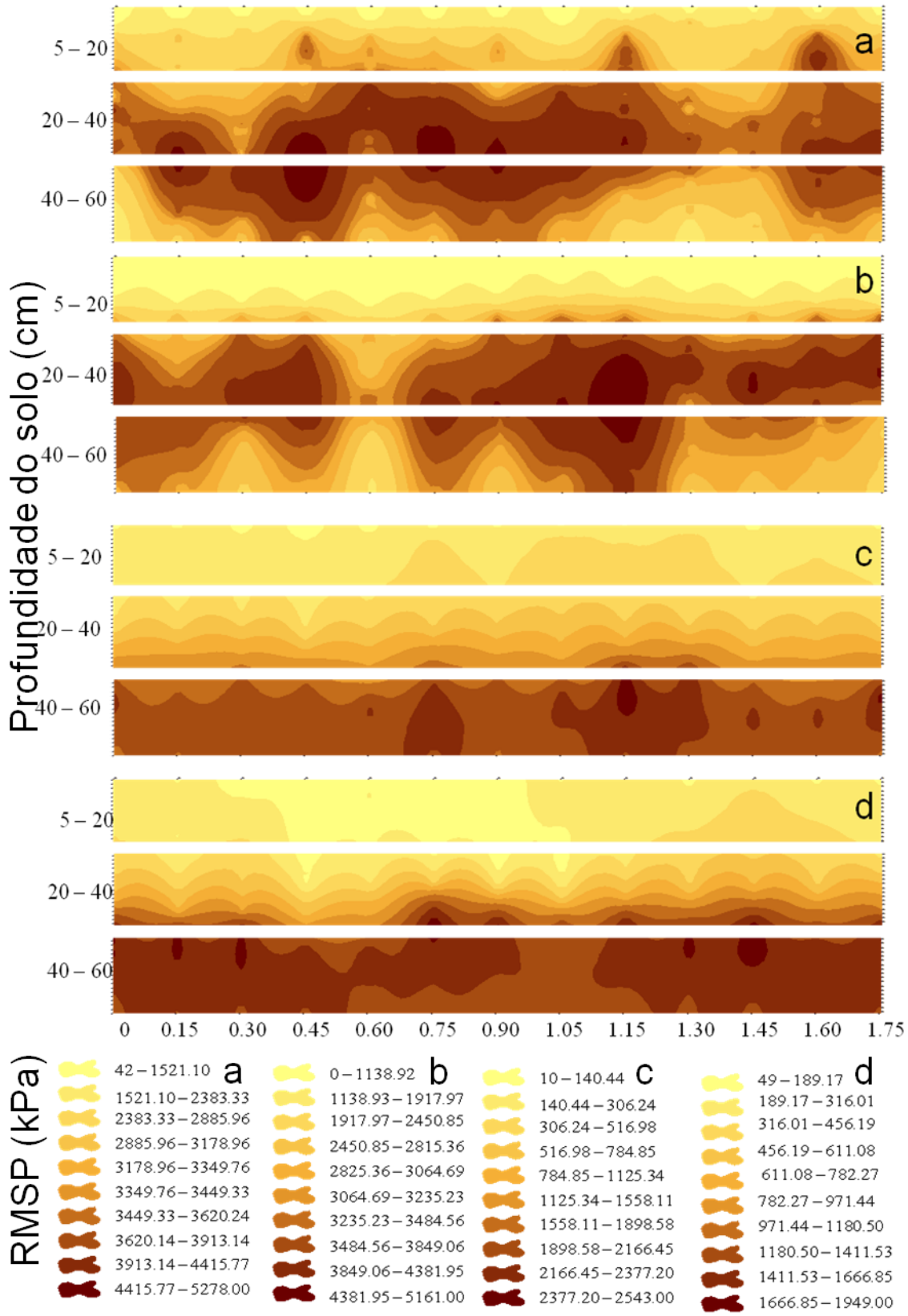


Figura 11 – Mapas de contorno de valores de RP pelo método do LIQD. Antes da primeira mobilização do solo (a), pós mobilização por grade niveladora (b), pós-mobilização pelo arado de discos (c) e pós mobilização por grade aradora (d). Nas umidades médias do solo 5,22%; 25,91%; 31,38% e 10,17%, respectivamente.

5. CONCLUSÕES

- A resistência mecânica do solo máxima obtida sem comprometimento de produtividade para a cenoura (2277,33 kPa) foi obtida após mobilização por grade aradora, arado de discos e grade aradora;
- Pós-passada do arado de discos houve concentração de compactação nas camadas mais profundas que 0,40m e permaneceu em operação sucessiva com arado de discos;
- O diâmetro médio ponderado não influenciou na porcentagem de agregados finos;
- A mobilização do solo com arado de discos promove menor participação de finos.
- O DMP é menor para maior número de mobilizações.
- O teor de água no solo pode variar, verticalmente, ao longo do perfil do solo de acordo com o tipo de equipamento avaliado.
- O histograma gerado pelo *sotware* Falker assim como os mapas de contorno gerados pelo sotware ArcMap mostraram-se como ferramentas eficientes para ilustrar a variação de RP no perfil do solo sob efeito dos equipamentos avaliados;
- O método de interpolação de dados pelo inverso do quadrado da distância é satisfatório para elaboração de mapas de contorno.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S. S.; DEUNER, C.; MADALOZ, L.; VILLELA, F. A. Avaliação do potencial fisiológico de sementes de cenoura. **Revista da FZVA**. Uruguaiana, v.17, n.1, p. 125-135. 2010.

ALVES, S. S. V.; NEGREIROS, M. Z.; AROUCHA, E. M. M.; LOPES, W. A. R.; TEÓFILO, T. M. S.; FREITAS, F. C. L.; NUNES, G. H. S. Quality of carrot roots under different population densities. **Revista Ceres**, v. 57, n. 2, p. 218-223, 2010.

ASAE (a), American Society of Agricultural Engineers. **Agricultural Machinery Management. In: ASAE Standards: standards engineering practices data.** ASAE - EP 496.2 DEC98. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, p.353-358, 1999.

ASSIS. R. l. **Preparo de solo enxada rotativa, subsolador e escarificador.** Curso técnico em Agropecuária. Instituto Federal Goiano, Campus Iporá, 2012.

BALASTREIRE, L.A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 2004. 310 p.

AZEVÊDO, P. E. **Rendimento e qualidade de cenoura 'Brasília' em função da procedência das sementes.** Dissertação apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, 2009.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A.P. **Compactação do solo e intervalo hídrico ótimo na produtividade do arroz sequeiro**. Pesq. Agropec. Bras., v. 39, p. 575-580, 2004.

BURROUGH, P. A.; BOUMA, J.; YATES, S. R. **The state of the art in pedometrics.** Geoderma, Amsterdam, v. 62, n. 1/3, p. 311-326, 1994.

CARVALHO FILHO, A.; CENTURION, J. F.; SILVA, R. P. ; FURLANI,C. E. A.; CARVALHO,L. C. C. Métodos de preparo do solo: alterações na rugosidade do solo**.** **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v.27, n.1, p.229-237, 2007.

CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. **Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos.** Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, ago. 2002.

CASSEL, D. K. **Subsoiling.** Crops and Solis Magazine, v.32, p.7-10, 1979.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. **Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras.** R. Bras. Ci. Solo, 22:527-538, 1998.

CONTE, O.; FLORES, J. P. C.; CASSOL, L. C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; LEVIEN, R. WESP, C. L. **Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária.** Pesq. agropec. bras., Brasília, v.46, n.10, p.1301-1309, out. 2011.

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

DANIEL, L. A. & MARETTI, H. J. Avaliação da camada de solo compactada e análise de crescimento de plantas. In: CICLO DE ESTUDOS SOBRE MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA, 4, 1990, Jundiaí. **Anais...** São Paulo: Fundação Cargill, 1990.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, p.212. 1997.

EMBRAPA CERRADOS. **O cerrado.** 2012. Disponível em: http://www.cpac.embrapa.br/unidade/ocerrado/. Acessado em: 05/12/2013.

EMBRAPA HORTALIÇAS. **Cultivo da cenoura - Colheita.** 2013. Disponível em: < http://www.cnph.embrapa.br/sistprod/cenoura/colheita.htm>. Acesso em: 20 de janeiro de 2013.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo Manual de Olericultura, agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças.** Viçosa, UFV. 3 ed, p 421. 2008.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças.** Viçosa, UFV, p.402, 2000.

FONTES, R. R.; SOUZA, A. F.; MESQUITA FILHO, M. V. **Sistemas de produção – Cenoura (*Daucus carota*).** Embrapa Hortaliças, 2008.

FRANZ, C. A. B.; FOLLE, S. M.; SPAIN, J.; BARCELOS, A. O.; XAVIER, F. F. B. **Rolo compactador para uso em formação de pastagens.** Comunicado Técnico 61. Planaltina, Distrito Federal, 2005.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. **Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela** experimental. Revista Brasileira de Ciência Solo, 29:169-177, 2005.

GUIMARÃES, J. A.; MICHEREFF FILHO, M.; MOURA, A. P.; CARVALHO, A. D. F. **Reconhecimento e manejo das principais pragas da cenoura.** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2012. 6p. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 82).

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. **Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions**. Soil and Tillage Research**.** Volume 82, Issue 2, June 2005, Pages 121–145.

KESTRING, F. B. F. **Análise estatística de mapas temáticos de produtividade da soja com diferentes grades amostrais.** Cascavel, Universidade do Oeste do Paraná, 2011. 85p.

LANA M. M. & VIEIRA J. V. **Fisiologia e manuseio pós-colheita de cenoura**. Brasília, Embrapa Hortaliças p.15. 2000.

LIMA, J. S. S.; SILVA, J. T. O.; OLIVEIRA, R. B.; ALMEIDA, V. S.; VANZO, F. L. Estudo da viabilidade de métodos geoestatísticos na mensuração da variabilidade espacial da dureza da madeira de paraju (*Manilkara* sp)**. R. Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.4, p.651-657, 2006

LUZ, J. M.; JÚNIOR, J. A. S.; TEIXEIRA, M. S. S. C.; SILVA. M. A. D.; SEVERINO, G. M.; MELO, B. **Desempenho de cultivares de cenoura no verão e outono-inverno em Uberlândia-MG.** Hortic. Bras. vol.27 n.1. Jan./Mar. Brasília, 2009.

MAGNO JUNIOR, R. G. **Caracterização física e preparo alternativo do solo para implantação da cultura da cenoura (*daucus carota* l.), visando a colheita mecanizada.** Exame de qualificação (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2012.

MANTOVANI, E. C. **Compactação do solo.** EMPRAPA, Milho e Sorgo. Sete lagoas, MG. 1986.

MARTINS, C.B. **Análise da resistência mecânica à penetração de um Latossolo Vermelho distrófico em função do grau de umidade.** Ilha Solteira, Faculdade de Engenharia, 2002. 46p.

MIALHE, L.G. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Ceres, 1974. 301 p.

NICHOLS, M. L.; REES, I. F.; REAVES, C. A. **Soil reaction to plowshare design.** Agricultural Engineering, v.39, p.336-339, 1985.

OLIVEIRA,G. C.; DIAS JÚNIOR, M. S.; RES CKE, D. V. S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** v.38, n.2, p.291-299. 2003

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. **Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação.** Tópicos Ciência do Solo, 5:49-134, 2007.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Universidade Federal de Santa Maria, 2006. 18p.

ROQUE, M. W.; MATSURA, E. E.; SOUZA, Z. M.; BIZARI, D. R.; SOUZA, A. L. **Correlação linear e espacial entre a resistência do solo ao penetrômetro e a produtividade do feijoeiro irrigado.** Revista Brasileira de Ciência Solo, 32:1827-1835, 2008.

SÁ, J. C. M. **Reciclagem de nutrientes dos resíduos culturais, e estratégia de fertilização para a produção de grãos no sistema plantio direto. In: Seminário sobre o Sistema de Plantio Direto na UFV.** Viçosa, 1998. Universidade Federal de Viçosa, p.19-61, 1998.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRICIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C**. Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul.** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2005. 58p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 29).

SANCHES, E**. Propriedades físicas do solo e produtividade de soja em sucessão a plantas de cobertura de inverno. (Dissertação de Mestrado).** Universidade Estadual do Centro-Oeste. 2012.

SASSAKI, C. M.; **Desempenho operacional de um subsolador em função da estrutura, do teor de argila e de água em três latossolos**. (Tese de Doutorado). Piracicaba, Universidade de São Paulo, 2005. 95p.

SCHALLER, F. W.; STOCKINGER, K. R. **A Comparison of Five Methods for Expressing Aggregation Data Soil.** Sci. Soc. Am. J. 1953. 17:310–313. doi:10.2136/sssaj1953.03615995001700040002x.

SILVA, G. S.; REZENDE, B. L. A.; CECÍLIO FILHO, A. B.; BARROS JÚNIOR, A. P.; MARTINS, M. I. E. G.; PORTO, D. R. Q. **Viabilidade econômica do cultivo da alface crespa em monocultura e em consórcio com pepino.** Ciênc. agrotec., Lavras, v. 32, n. 5, p. 1516-1523, set./out., 2008.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. **Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos.** R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, Campina Grande, v.7, n.1, p.18-23, 2003.

SRIVASTAVA, A. K.;CARROL, E. G.; ROGER, P. R.; DENNIS, R. B. Soil tillage. Chapter 8. In **Engineering principles of agricultural machines**, 2. ed., 169-230. St. Joseph, Michigan: ASAE, 2006.

STONE, L. F. & MOREIRA, J. A. A. **Resposta do arroz de sequeiro à profundidade de aração, adubação potássica e condições hídricas do solo.** Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v.31, n 12, p885-895, dez. 1996.

TOMRENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVEZ, A. C. A. ; TORRES, E.; SARAIVA, O.F. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja.** Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 23).

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVEZ, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. ***Scientia Agricola***, v.59, n.4, p.795-801, out./dez. 2002.

VIANA, J. H. M., FERNANDES FILHO, E. I., SCHAEFER, C. E. G. R. Efeitos de ciclos de umedecimento e secagem na reorganização da estrutura microgranular de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** vol.28, n.1, p.11-19. 2004.

VOORHEES, W. B.; LINDSTROM, M. J**. Long-Term Effects of Tillage Method on Soil Tilth Independent of Wheel Traffic Compaction.** Soil. Sci. Soc. Am. J. 1984.