UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
***CAMPUS* RIO PARANAÍBA**
INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÁRIAS
MESTRADO EM AGRONOMIA – PRODUÇÃO VEGETAL

URBANO TEIXEIRA GUIMARÃES E SILVA

EFEITO DO SISTEMA DE PREPARO EM ALGUMAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E NA CULTURA DA SOJA

RIO PARANAÍBA - MG
2015

URBANO TEIXEIRA GUIMARÃES E SILVA

EFEITO DO SISTEMA DE PREPARO EM ALGUMAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E NA CULTURA DA SOJA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

RIO PARANAÍBA - MG
2015

URBANO TEIXEIRA GUIMARÃES E SILVA

EFEITO DO SISTEMA DE PREPARO EM ALGUMAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E NA CULTURA DA SOJA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 24 de Novembro de 2015

Prof. Alberto Carvalho Filho (Orientador)	Prof. Renato Adriane Alves Ruas (Coorientador)
Prof. Rouverson Pereira da Silva (Coorientador)	Prof. Carlos Eduardo Angeli Furlani

Dedicado a meu irmão, Jonathas, e
aos meus pais, Jonas e Maria Helena.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Jonas Guimarães e Silva e Maria Helena Teixeira e Silva, por todo o amor, dedicação, apoio e incentivo em todas as etapas da minha vida. Ao meu irmão, Jonathas Teixeira Guimarães e Silva (*In memorian*) pelo exemplo de vida;

À minha futura esposa Alice Goulart da Silva, por compartilhar os momentos difíceis e tentar amenizá-los, por proporcionar momentos de felicidade e alegria e pela grande paciência;

À Universidade Federal de Viçosa, UFV – *Campus* Rio Paranaíba, pela oportunidade de realização deste trabalho;

Ao meu orientador, Professor Dr. Alberto Carvalho Filho, não só por acreditar e confiar em mim na execução desse trabalho, mas principalmente pela amizade e paciência;

Aos professores, Dr. Renato Adriane Alves Ruas, Dr. Rouverson Pereira da Silva e Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani pela participação na banca de defesa, pela disposição e pelas sugestões para a melhoria desse trabalho;

À todos os professores do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, por proporcionarem valiosos momentos de aprendizado;

À todos os meus companheiros e colegas da Pós-Graduação, por tornarem as aulas mais divertidas, menos cansativas e proveitosas;

Aos alunos da Agronomia: João Vitor, Bigode, Luciano, Luiz Otávio, Carlos, Lana, Thiago Resende e Gabiroba, pela valiosa colaboração durante o período de coleta de dados;

À Fapemig e a Capes, pela concessão da bolsa de estudos;

À empresa Agropesg pela concessão dos equipamentos e insumos utilizados nesse trabalho;

Às pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para que meu curso de Pós-Graduação *Strito Sensu* em Agronomia, na Universidade Federal de Viçosa, *Campus* Rio Paranaíba, se tornasse realidade;

À todos, os meus sinceros agradecimentos.

"O homem nasce sem nenhuma estrutura e morre inacabado, por isso, é um ser em construção."

SUMÁRIO

RESUMO vii
Palavras-chave vii
ABSTRACT viii
Keywords viii
1 Alterações na camada mobilizada e cobertura vegetal em função do sistema de preparo do solo 1
RESUMO 1
ABSTRACT 2
1.1 INTRODUÇÃO 3
1.2 MATERIAL E MÉTODOS 6
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 12
1.4 CONCLUSÕES 22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 22
2 Densidade, resistência mecânica à penetração e umidade de um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO cultivado sob diferentes sistemas de preparo 27
RESUMO 27
ABSTRACT 28
2.1 INTRODUÇÃO 29
2.2 MATERIAL E MÉTODOS 32
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 36
2.4 CONCLUSÕES 46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 46
3 Distribuição do tamanho de agregados de uma LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO cultivado sob diferente sistemas de preparo 52
RESUMO 52
ABSTRACT 53
3.1 INTRODUÇÃO 54
3.2 MATERIAL E MÉTODOS 57
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 61
3.4 CONCLUSÕES 71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 71
4 Efeito de diferentes sistemas de preparo do solo na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) 76

RESUMO 76
ABSTRACT 77
4.1 INTRODUÇÃO 78
4.2 MATERIAL E MÉTODOS 79
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 84
4.4 CONCLUSÕES 86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 87

RESUMO

SILVA, Urbano Teixeira Guimarães, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba, outubro de 2015. **Efeito do sistema de preparo em algumas propriedades físicas do solo e na cultura da soja**. Orientador: Alberto Carvalho Filho. Coorientadores: Luciano Baião Vieira, Luis César Dias Drumond, Rouverson Pereira da Silva e Renato Adriane Alves Ruas.

RESUMO: Os sistemas de preparo e manejo do solo determinam as condições físicas para o desenvolvimento e produtividade das culturas. Objetivou-se com este trabalho, avaliar o efeito do sistema de preparo em algumas propriedades físicas do solo e na cultura da soja. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, com 5 tratamentos (arado de aivecas, arado de discos, grade aradora intermediária, escarificador e enxada rotativa) e 4 repetições. Foram avaliados: rugosidade superficial, camada mobilizada, cobertura vegetal, compactação, agregação do solo e desenvolvimento da cultura da soja. O arado de aivecas proporcionou maior modificação do índice de rugosidade superficial e maior capacidade de penetração e mobilização do solo. O arado de discos e a grade aradora intermediária aumentaram a resistência mecânica do solo à penetração na camada de 0,2 a 0,3 m de profundidade. Os arados de discos e aivecas ocasionam maior altura de planta em comparação ao escarificador.

Palavras-chave: compactação, estrutura do solo, mecanização agrícola, rugosidade superficial

ABSTRACT

SILVA, Urbano Teixeira Guimarães, M.Sc., Federal University of Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba, october 2015. **Effect of tillage system on some soil physical properties and in soybean**. Advisor: Alberto Carvalho Filho. Co-Advisors: Luciano Baião Vieira, Luis César Dias Drumond, Rouverson Pereira da Silva e Renato Adriane Alves Ruas.

ABSTRACT: Soil tillage and management affect soil physical conditions for plant growth and crop productivity. The objective of this work, relate the periodic tillage systems with certain physical properties of the soil and plant development. The experimental design was completely randomized with 5 treatments (moldboard plow, disk harrow, disk plow, chisel plow and rotary hoe) and 4 replications. Were evaluated: surface roughness, mobilized layer, soil cover, soil compaction, soil aggregation and soybean development. That the moldboard plow provided greater surface roughness modification ratio and greater penetration capability and soil cultivation. That the disk plow and disk harrow increased soil mechanical resistance to penetration in the layer from 0,2 at 0,3 m deep. Moldboard plow and disk harrow causes larger plant size compared with the chisel plow.

Keywords: agricultural mechanization, soil compaction, soil structure, surface roughness

1 Alterações na camada mobilizada e cobertura vegetal em função do sistema de preparo do solo

Urbano Teixeira Guimarães e Silva[1], Alberto Carvalho Filho[2]

RESUMO – Procurando relacionar os sistemas de preparo periódico com as alterações na superfície do solo, foi instalado um experimento em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, com textura argilosa, no município de Rio Paranaíba – MG. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, com 5 tratamentos e 4 repetições, tendo como tratamentos o preparo primário do solo com: arado de aivecas, arado de discos, grade aradora intermediária, escarificador e enxada rotativa. Foram avaliados: índice de rugosidade superficial, modificação da rugosidade superficial, área mobilizada, área de elevação, empolamento, espessura média da camada mobilizada e cobertura do solo. Verificou-se que o arado de aivecas proporcionou maior modificação do índice de rugosidade superficial e maior capacidade de penetração e mobilização do solo. O escarificador, equipado com rolo destorroador nivelador, ocasionou menor índice de rugosidade superficial, porém, ainda é adequado ao preparo conservacionista por não inverter a camada de solo mobilizado, mantendo a cobertura vegetal e dispensando uma operação de preparo secundário.

Palavras-chave: área de elevação, área mobilizada, cobertura do solo, modificação da rugosidade superficial

[1]Programa de Pós-graduação em Agronomia, Produção Vegetal, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, Rodovia MG 230, km 7, caixa postal 22, Rio Paranaíba, MG, Brasil. E-mail:urbanoguimaraes@gmail.com. *Autor para correspondência.
[2]Instituto de Ciência Agrárias, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, MG, Brasil.

1 Changes in layer mobilized and cover crop residues in soil due to the tillage systems

Urbano Teixeira Guimarães e Silva[1], Alberto Carvalho Filho[2]

ABSTRACT – Seeking relate the soil tillage systems with changes in soil surface, an experiment was conducted in Red-Yellow Latossol dystrophic, clayey, in the city of Rio Paranaíba - MG. The experimental design was completely randomized with 5 treatments and 4 replications, with the treatments the primary tillage with: moldboard plow, disk harrow, disk plow, chisel plow and rotary hoe. Were evaluated: surface roughness index, modification of surface roughness, mobilized area, elevation area, swelling, average thickness of the mobilized layer and land cover. It was found that the moldboard plow provided greater surface roughness modification ratio and greater penetration capability and soil cultivation. The chisel plow equipped with laminar roller compactor, resulted in a lower surface roughness index, however, is still appropriate to conservation tillage by not reverse the mobilized soil layer, keeping the vegetation cover and dispensing one secondary tillage operation.

Keywords: elevation area, mobilized area, modification of surface roughness, soil cover

[1]Programa de Pós-graduação em Agronomia, Produção Vegetal, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, Rodovia MG 230, km 7, caixa postal 22, Rio Paranaíba, MG, Brasil. E-mail:urbanoguimaraes@gmail.com. *Autor para correspondência.
[2]Instituto de Ciência Agrárias, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, MG, Brasil.

1.1 INTRODUÇÃO

O principal objetivo do preparo periódico do solo é diminuir o nível de agregação entre suas partículas, melhorando a infiltração de água, a aeração e criando condições favoráveis à germinação e ao desenvolvimento das plantas (SRIVASTAVA et al., 2006). Porém, existem poucas pesquisas sobre o sistema de preparo do solo para a implantação de diversas culturas. Em muitas situações, esse preparo é feito sem nenhum critério científico, o que acarreta, com o passar do tempo, impacto ambiental, causado principalmente, pelas alterações nas propriedades físicas do solo, afetando o seu potencial produtivo.

A degradação das propriedades físicas do solo, causadas pelo seu preparo, causa a diminuição da rugosidade superficial, favorecendo o processo de erosão (ZOLDAN JUNIOR, 2008). A rugosidade superficial pode ser definida como o aspecto das irregularidades que a superfície do solo apresenta (HELMING et al., 1998). Essas irregularidades influenciam diretamente a retenção e a infiltração da água no solo, reduzindo a velocidade e o volume de escoamento e aprisionando os sedimentos da erosão (CASTRO et al., 2006).

A erosão consiste no processo de desprendimento e arraste das partículas do solo, ocasionado principalmente pela ação da água, constituindo a principal causa da degradação dos solos agrícolas. As alterações provocadas pela ação de equipamentos agrícolas na rugosidade superficial do solo, seu manejo e as condições climáticas determinam a quantidade de água que pode ser mantida na superfície do solo como lâmina armazenada superficialmente (PRUSKI, 2010).

A modificação da rugosidade da superfície mobilizada expressa, em termos percentuais, a mudança entre a rugosidade inicial e rugosidade final após o preparo do solo. A ação dos diferentes órgãos ativos dos equipamentos pode ocasionar grande variação no índice de rugosidade do solo, sendo necessários mais estudos para demonstrar a modificação desse índice pelos sistemas de seu preparo (CARVALHO FILHO et al., 2007a).

A rugosidade superficial provocada pela ação dos equipamentos pode ser avaliada por meio da determinação da mobilização do solo. Dessa maneira, solos com maior deformidade podem se tornar mais uniforme, bem como solos mais planos podem se tornar mais rugosos pela ação de diferentes equipamentos. A área do perfil mobilizado varia em função do tipo e ângulo dos órgãos ativos dos equipamentos e da velocidade de deslocamento.

O perfil do solo preparado é um importante parâmetro para a condição inicial e final da camada do solo mobilizada. Existem dois fenômenos decorrentes da operação de preparo: o deslocamento vertical do perfil do solo e a sua área mobilizada. Para a caracterização desses fenômenos, torna-se necessário o levantamento de três perfis: o perfil natural, o perfil de elevação e o perfil de fundo do solo mobilizado (DANIEL & MARETTI,1990). O perfil de elevação é obtido com um perfilômetro colocado no mesmo local e nível que se encontrava para avaliação do perfil natural, enquanto que o perfil de fundo é obtido com a avaliação da profundidade trabalhada, no mesmo local que os perfis anteriores.

O empolamento do solo representa a relação percentual entre a área de elevação e a área mobilizada. Através desse índice também é possível avaliar a predisposição do solo à erosão. Quanto maior o empolamento, menor é a relação entre a área mobilizada com a

área de elevação, sendo de grande importância para adequar o tipo de preparo e o equipamento a ser utilizado (GAMERO & SILVA, 1993).

Considera-se como manejo conservacionista aquele que proporciona a menor mobilização possível do solo, mantendo no mínimo 30% da cobertura vegetal, entre o período compreendido da colheita da cultura anterior e a implantação da cultura seguinte (BUHLER, 1995). O solo deve ser preparado com o mínimo de mobilização, não implicando com isso, numa diminuição da profundidade de operação, mas sim, numa redução do número de operações, deixando rugosa sua superfície e mantendo parte dos resíduos culturais. Geralmente, esse preparo é composto por uma escarificacão, que ocasiona menos inversão de leiva e menor custo de preparo, tornando o solo menos suscetível a erosão e às perdas de água.

O manejo conservacionista do solo implica em melhorar e manter sua estrutura, com espaço poroso satisfatório, fazendo com que a disponibilidade de água e a troca de gases e nutrientes, sejam suficientes para o desenvolvimento das plantas (CARVALHO FILHO et al., 2007b). Os principais requisitos do manejo conservacionista são alcançados quando se obtém bom nível de agregação do solo e superfície rugosa, realizando-se pequeno número de operações de preparo.

O perfil de solo mobilizado depende, além dos equipamentos, da interação com outros fatores, como a classe de solo, clima e a intensidade das operações de preparo. Nem sempre o aumento da rugosidade superficial é desejável pois dificulta as operações de semeadura e de colheita. Recomenda-se deixar maior rugosidade superficial no preparo primário do solo, evitando-se possível problema de erosão entre os preparos primário e secundário do solo.

Os equipamentos podem ocasionar diferentes perfis de solo mobilizado em função da intensidade das operações e da classe de solo utilizado. Portanto, o objetivo deste

trabalho foi verificar as alterações na rugosidade superficial, camada mobilizada e cobertura vegetal em função de cinco sistema de preparo do solo.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na área experimental da Universidade Federal de Viçosa, *Campus* Rio Paranaíba, localizada na posição geográfica (19º 12' 43" S e 46º 07' 56" W) e na altitude de 1128 m, na bacia do Rio São Francisco, região do Alto Paranaíba, município de Rio Paranaíba (MG).

Esse município se caracteriza por apresentar clima temperado úmido, com duas estações muito bem definidas, com verão moderadamente quente e chuvoso e com inverno seco e frio, sendo classificado pela escala de Köeppen como Cwb. A temperatura média é de 20,4 ºC e a pluviosidade média anual de 1570 mm.

O experimento foi instalado em novembro de 2014, em um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (LVAd) com 31,0 g dm^{-3} de matéria orgânica, 440 g kg^{-1} de argila e densidade média na camada arável igual a 0,99 kg dm^{-3} (EMBRAPA, 2006). O solo possui relevo com declividade de 3% e cobertura vegetal natural de Cerrado. Anteriormente foi cultivado com aveia (*Avena sativa*) para a cobertura do solo durante o período de inverno na sucessão com pastagem de braquiária degradada, implantada há mais de 6 anos, sem renovação e em pousio. O preparo do solo para o cultivo da aveia foi realizado com o mesmo delineamento experimental utilizado nesse trabalho.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente ao acaso, com 5 tratamentos e 4 repetições, totalizando 20 unidades experimentais. Cada unidade experimental teve o dimensionamento de 100 m² (10 x 10 m). Foram deixados carreadores com 10 m longitudinalmente e 10 m transversamente entre as unidades experimentais para manobra e regulagem dos equipamentos.

Os tratamentos foram:

T1 – Preparo primário do solo com arado de aivecas reversível, modelo A-3, marca MASCHIETTO®, montado, equipado com três aivecas recortadas, com largura de corte de 1350 mm, com massa de 570 kg, trabalhando a 300 mm de profundidade e velocidade de trabalho de 5,0 km h^{-1};

T2 – Preparo primário do solo com arado de discos, modelo AF-3, marca BALDAN®, montado, equipado com três discos côncavos lisos (Ø 28" x 6,0 mm), com ângulo vertical de 20º, com ângulo horizontal de 50º, com largura de corte de 900 mm, com massa de 402 kg, trabalhando a 200 mm de profundidade e velocidade de trabalho de 5,0 km h^{-1};

T3 – Preparo primário do solo com grade aradora intermediária, modelo GAC300, marca KÖHLER®, de arrasto, tipo off set, equipado com 14 discos côncavos recortados (Ø 30" x 6,0 mm), com largura de corte de 1920 mm, com massa de 1690 kg, trabalhando a 150 mm de profundidade e velocidade de trabalho de 5,0 km h^{-1};

T4 – Preparo primário do solo com escarificador, modelo Jumbo Matic Hidráulico, marca JAN®, com discos de corte e rolo destorroador nivelador, equipado com cinco hastes parabólicas e ponteiras sem asa, com largura de trabalho de 2000 mm, com massa de 645 kg, trabalhando até 200 mm de profundidade e velocidade de trabalho de 5,0 km h^{-1};

T5 – Preparo primário do solo com enxada rotativa, modelo ERP 200 B, marca MEC-RUL®, montada, equipado com oito flanges e quarenta e oito lâminas velozes, com massa de 443 kg, com largura de corte de 2000 mm, regulada com a tampa abaixada, trabalhando até 100 mm de profundidade e velocidade de trabalho de 5,0 km h^{-1}.

Foi adotado o preparo secundário para os arados (T1 e T2) e para a grade aradora intermediária (T3), com duas gradagens para destorroamento e nivelamento após o preparo primário. Utilizou-se a mesma grade aradora adotada no preparo primário, modelo GAC300, marca KÖHLER®. Para os tratamentos com o escarificador (T4) e enxada rotativa (T5) não foi adotado o preparo secundário do solo. A profundidade de trabalho escolhida em cada equipamento foi a mesma utilizada pelos produtores da região.

Em todas operações mecanizadas utilizou-se o trator New Holand TL85E, 4x2 TDA, com potência de 88 cv e transmissão 12x12 Power Shuttle. A umidade do solo no momento dos preparos primário e secundário foi, respectivamente, de 21 e 27%.

Para determinação das elevações da superfície do solo foi utilizado um perfilômetro com largura de 1,0 m, com 20 pontos de 0,05 em 0,05 m e montado sobre duas bases corrediças perpendiculares, em nível e no sentido do deslocamento do trator, com 1,0 m de comprimento (Figura 1). A cada 20 leituras, o perfilômetro foi deslocado 0,1 m no sentido longitudinal e tomadas mais 20 leituras, até a obtenção de 200 leituras em uma área de 1,0 m^2 (ALLMARAS et al., 1966). As leituras das cotas do terreno foram obtidas por meio de régua de 600 mm de comprimento, graduada de 1 em 1 mm (GAMERO & BENEZ, 1990).

Para o posicionamento e nivelamento do perfilômetro, foram instaladas duas estacas nas laterais das parcelas para servirem como referência da posição e do nível do aparelho antes e após o preparo do solo. Para o nivelamento do perfilômetro longitudinal foi utilizado um nível de bolha. Assim, foram realizadas as leituras do perfil do solo antes

dos preparos, obtendo-se o perfil natural, e após os preparos primário e secundário, para obtenção do perfil da superfície e do perfil interno do solo mobilizado.

O índice de rugosidade superficial (σy) representa o produto do desvio padrão entre os logaritmos naturais das leituras das elevações, multiplicado pela altura média das elevações (ALLMARAS et al., 1966) (Equação 1):

$$\sigma\gamma = \sigma x \times hm \quad (1)$$

Em que:

σy = estimativa do índice de rugosidade (mm);

σx = desvio padrão entre os logaritmos naturais das alturas (mm);

hm = média das alturas (mm).

Figura 1 – Perfilômetro montado sobre duas barras corrediças

A modificação da rugosidade superficial do solo (MR) foi calculada considerando-se a diferença entre os índices de rugosidade antes e após o preparo, em relação ao índice de rugosidade antes do preparo do solo, expressa em porcentagem (SANTOS, 1993), (Equação 2):

$$MR = \frac{IRf - IRi}{IRi} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

MR = modificação da rugosidade superficial (%);

IRf = índice de rugosidade após o preparo do solo (mm);

IRi = índice de rugosidade antes do preparo do solo (mm).

As leituras do perfil após o preparo do solo, para obtenção do perfil da superfície e do perfil interno do solo mobilizado, são denominados, respectivamente, de perfil de elevação e perfil de fundo. A área mobilizada consiste na área situada entre o perfil natural e o perfil de fundo de sulco, enquanto a área de elevação é aquela situada entre o perfil natural e o perfil da superfície do solo após a mobilização, ambos avaliados em uma faixa trabalhada com largura de 1,0 m (GAMERO & BENEZ, 1990). O cálculo da área mobilizada (Am) e da área de elevação (Ae) foram obtidos por meio da Regra de Simpson (Equação 3):

$$\int_{X0}^{Xn} f(x)dx = \frac{h}{3}(f_0 + 4f_1 + 2f_2 + 4f_3 + 2f_4 + \ldots + 2f_{n-2} + 4f_{n-1} + fn) \quad (3)$$

Em que:

n = número de intervalos;

f = altura das cotas (m);

h = distância entre cotas (m);

X = número de cotas.

Obtidos as cotas do perfil do solo mobilizado, a espessura média da camada mobilizada (Ec) (Equação 4):

$$Ec = \frac{Am}{Lp} \quad (4)$$

Em que:

Ec = espessura média da camada mobilizada (m);

Am = área mobilizada do solo (m²);

Lp = largura útil do perfilômetro (m).

O empolamento do solo (Em) foi determinado pela razão entre a área de elevação e a área mobilizada pelos órgãos ativos dos equipamentos (GAMERO & BENEZ, 1990) (Equação 5):

$$Em = \frac{Ae}{Am} \times 100 \quad (5)$$

Em que:

Em = empolamento do solo (%);

Ae = área de elevação do solo (m²);

Am = área mobilizada do solo (m²).

A avaliação da quantidade de resíduos sobre o solo foi realizada antes e após o seu preparo primário, utilizando-se uma trena métrica colocada sobre cada parcela, nas duas diagonais, tomando-se leituras em 100 pontos em cada diagonal (de um lado ao outro da parcela), distanciadas 0,1 m entre si. O percentual de cobertura foi avaliado considerando-se a coincidência de cada marca sobre os resíduos vegetais, conforme adaptação do método de LAFLEN et al. (1981).

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando necessário, comparados por meio do teste de médias de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Rugosidade do solo

Observa-se que os índices de rugosidade eram semelhantes antes do preparo do solo e que, logo após a mobilização, apresentaram diferenças em função dos equipamentos adotados no preparo primário do solo (Figura 2). O arado de aivecas proporcionou maior índice de rugosidade superficial, enquanto os demais equipamentos não indicaram diferenças significativas. Essa diferença se deve a melhor capacidade de

penetração, corte, elevação e inversão da leiva provocada pela a aiveca do arado, tornando a superfície do solo mais irregular. O preparo do solo com arado de aivecas, se iniciado em nível no terreno, com o aumento da rugosidade do solo, pode influenciar positivamente na quantidade de água armazenada na superfície do solo, retardando o início do escoamento superficial em caso de chuvas mais intensas (CARVALHO FILHO et al., 2001).

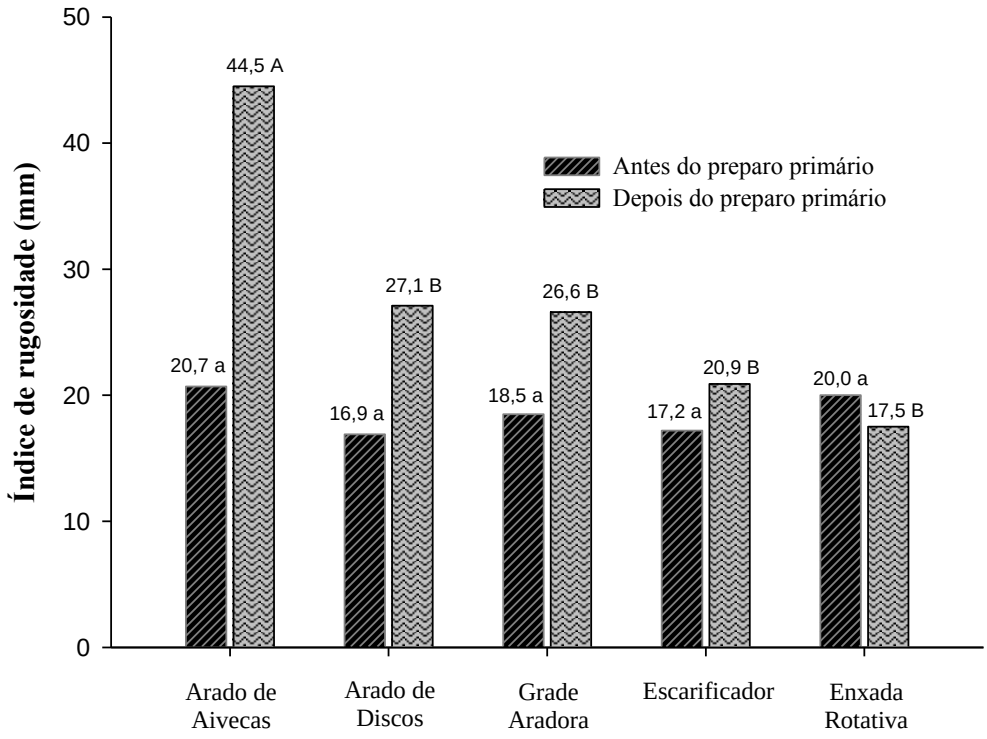

Figura 2. Índice de rugosidade (mm) antes e depois do preparo primário do solo, em função do sistema de preparo. Médias comparadas entre equipamentos, quando precedida de mesma letra minúscula ou maiúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os índices de rugosidade ocasionados pelo arado de discos e pela grade aradora intermediária não apresentaram diferença comparados com o escarificador e a enxada

rotativa. O que evidencia a capacidade desses equipamentos em cortar e destorroar o solo de forma mais homogênea, deixando-o mais nivelado na superfície. COAN (1995), também não observou diferenças entre os mesmos equipamentos. A enxada rotativa proporcionou baixo índice de rugosidade do solo, fato também verificado por BURWELL & LARSON (1969).

Os diferentes órgãos ativos dos equipamentos ocasionaram valores similares do índice de rugosidade superficial, o que, aplicado à seleção de equipamentos, pode trazer vantagens econômicas e de conservação do solo e da água, como por exemplo a escolha do equipamento com menor demanda energética. Porém, podem ser obtidos valores distintos do índice de rugosidade superficial, em função da metodologia adotada na determinação desta variável, por isso, cumpre observar este detalhe na discussão dos resultados em comparação CARVALHO FILHO et al. (2007a).

O escarificador proporcionou menor índice de rugosidade superficial comparado com o arado de aivecas, ao contrário do resultado encontrado por CARVALHO FILHO et al. (2007a), no qual o escarificador foi igual ao arado de aivecas. O menor índice de rugosidade superficial ocasionado pelo escarificador no presente trabalho pode ser justificado pelo equipamento ser equipado com rolo destorroador nivelador, com a finalidade de destorroar e uniformizar a superfície do solo, dispensando o preparo secundário. Apesar da baixa rugosidade superficial, o escarificador ainda é adequado ao sistema conservacionista por proporcionar operação profunda sem inverter a camada de solo, deixando a cobertura vegetal na superfície, além de dispensar operação de preparo secundário quando dotado do rolo destorroador nivelador.

O preparo conservacionista do solo normalmente ocasiona elevado índice de rugosidade superficial quando comparado ao preparo convencional, em consequência dos tipos de equipamento utilizados (BERTOL et al., 2007). Porém, o preparo

conservacionista utilizando escarificador equipado com rolo destorroador nivelador pode ocasionar índice de rugosidade superficial igual ou menor do que o preparo convencional.

Observou-se que o índice de rugosidade superficial antes do preparo secundário do solo eram diferentes entre os equipamentos usados no preparo primário e que, logo após o preparo secundário, o índice de rugosidade dos sistemas de preparo não proporcionaram diferenças significativas (Figura 3).

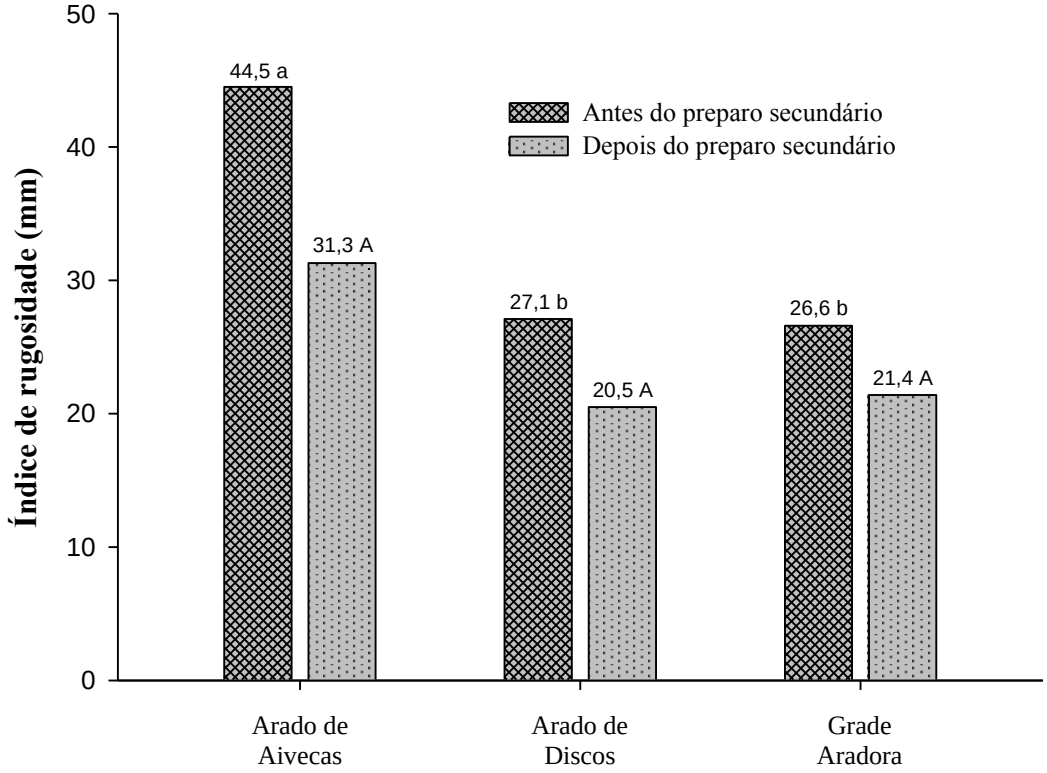

Figura 3. Índice de rugosidade (mm) antes e depois do preparo secundário do solo, em função do sistema de preparo. Médias comparadas entre equipamentos, quando precedida de mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A grade aradora intermediária utilizada no preparo secundário do solo reduziu o índice de rugosidade superficial, inclusive após o preparo com arado de aivecas, anulando os efeitos de seus órgãos ativos sobre a rugosidade superficial do solo. O que evidencia a

capacidade da grade aradora intermediária em cortar e destorroar o solo de forma mais homogênea, deixando-o mais uniforme na superfície.

Devido ao maior índice de rugosidade superficial provocado pelo arado de aivecas no preparo primário do solo, esse equipamento foi o que ocasionou maior modificação no índice de rugosidade superficial (Figura 4). Alguns autores, como CARVALHO FILHO et al. (2007a) e COAN (1995), já haviam destacado os maiores valores da modificação da rugosidade superficial do solo ocasionado pelo uso do arado de aivecas, apesar de não terem sido encontradas diferenças significativas trabalhando com os mesmos equipamentos.

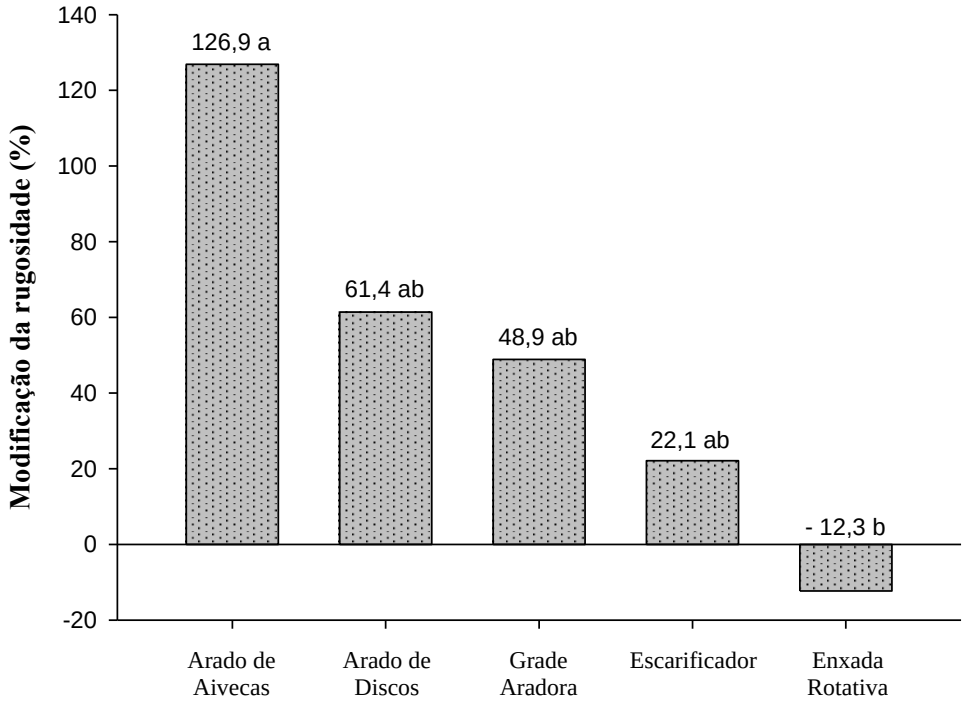

Figura 4. Modificação da rugosidade superficial (%), em função do preparo primário do solo. Médias comparadas entre equipamentos, quando precedida de mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A menor modificação da rugosidade superficial ocorreu para o preparo do solo com enxada rotativa quando comparado ao arado de aivecas, inclusive reduzindo o índice de rugosidade superficial natural do solo, deixando-o mais susceptível ao processo de escoamento superficial da água em casos de chuvas mais intensas.

1.3.2 Mobilização do solo

Verificou-se diferença entre os dados avaliados quanto à área mobilizada e espessura média da camada mobilizada (Tabela 1).

Tabela 1 – Área mobilizada (Am), área de elevação (Ae), espessura média da camada mobilizada (Emc) e empolamento do solo (Em) em função do preparo primário de um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico, em Rio Paranaíba-MG

Equipamentos utilizados no preparo primário do solo	Am (m^2)	Ae (m^2)	Emc (cm)	Em (%)
Arado de aivecas	0,26 a	0,024	26,1 a	9,3
Arado de discos	0,18 b	0,022	18,5 b	12,2
Grade aradora	0,14 bc	0,001	14,2 b	0,7
Escarificador	0,17 bc	-0,001	16,8 b	-0,6
Enxada rotativa	0,13 c	0,008	13,7 b	5,7
C.V. (%)	11,9	163,6	12,2	168,5
Fc	21.321**	2.141^{ns}	20.236**	1.301^{ns}

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. C.V.: Coeficiente de variação; Fc: Teste F calculado; ns: não significativo (P>0,05); **: significativo a 1% de probabilidade (P≤0,01).

A área de elevação e o empolamento do solo não apresentaram diferenças, o que corrobora com os resultados encontrados por SALVADOR et al. (1993) trabalhando com os mesmos equipamentos, exceto com enxada rotativa.

Observou-se diferença entre os equipamentos utilizados no preparo primário sobre a área mobilizada do solo, devido aos seus órgãos ativos possuírem características diferentes quanto à capacidade de penetração, corte, elevação e inversão da leiva.

O tratamento com arado de aivecas proporcionou maior capacidade de penetração e mobilização do solo do que os outros tratamentos (0,26 m^2), seguido pelo arado de discos (0,18 m^2), como também observado por CARVALHO FILHO, et al. (2008). A menor área mobilizada foi provocada pela enxada rotativa (0,13 m^2), sendo estatisticamente igual a grade aradora intermediária (0,14 m^2) e ao escarificador (0,17 m^2). A menor área mobilizada provocada pela grade aradora intermediária pode ser justificada pelos seus discos estarem dispostos em forma de secções, o que limita a obtenção de maiores profundidades de operação. Apesar disto, todos os equipamentos possuem regulagem para aumentar a penetração no solo, como o peso dos equipamentos, o ângulo dos discos (vertical e horizontal) e ângulo de ataque da ponteira

Todos os equipamentos foram regulados para cortar o solo de forma homogênea, gerando perfil de fundo mais regular, com exceção do escarificador, que resulta em perfil de fundo menos regular, ocasionando menor área mobilizada do que outros equipamentos regulados na mesma profundidade.

Observou-se diferença entre os equipamentos utilizados no preparo primário sobre a espessura média da camada mobilizada (Figura 5). O arado de aivecas foi o equipamento que apresentou a maior espessura média da camada mobilizada (26,1 cm), sendo 41,0%, 83,8%, 55,4% e 90,5% maior do que arado de discos, grade aradora intermediária, escarificador e enxada rotativa respectivamente. Não houve diferença na espessura média

da camada mobilizada entre os demais equipamentos. Todos os equipamentos operaram a uma profundidade de trabalho inferior àquela que foi regulada, exceto a enxada rotativa, que atingiu maior profundidade.

HOOGMOED & DERPSCH (1985) também observaram que a grade aradora não consegue atingir maiores profundidade de operação. Resultados similares aos deste trabalho já haviam sido obtidos por COAN (1995). Nota-se também, a existência de uma estreita relação entre a espessura média da camada mobilizada e a área mobilizada do solo (Figura 5).

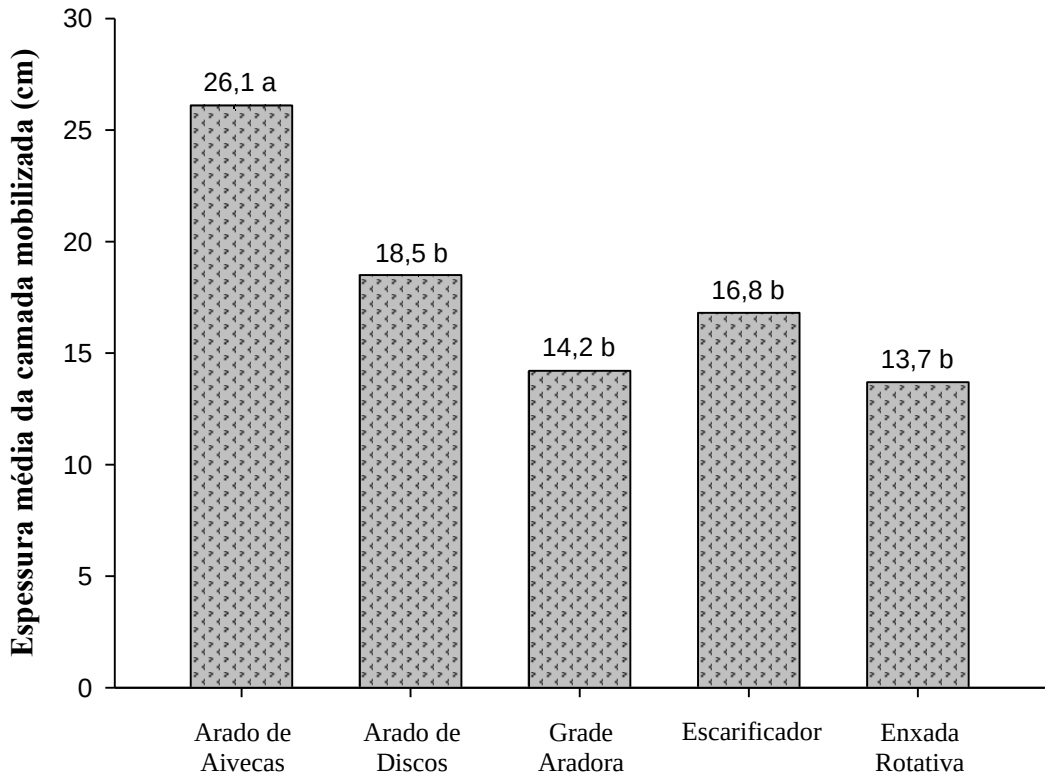

Figura 5. Espessura média da camada mobilizada do solo em função do sistema de preparo. Médias comparadas entre equipamentos, quando precedida de mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Conforme também observado por outros autores, a área mobilizada e a espessura da camada média provocada pela grade aradora e enxada rotativa foram aproximadamente a metade daquelas obtidas com o arado de aivecas (COAN, 1995, CARVALHO FILHO et al., 2007b). Como seus órgãos ativos são fixos em um mesmo eixo, em forma de secções, isso pode dificultar a penetração no solo e obtenção de maiores profundidades de operação, apesar que nenhum equipamento foi regulado para aprofundar no solo até a altura do seu eixo.

1.3.3. Cobertura do solo

Antes do preparo primário, a cobertura do solo apresentou diferença significativa entre os tratamentos (Figura 6). Essa diferença foi resultante do preparo do solo para implantação da cultura da aveia, o qual utilizou-se do mesmo delineamento experimental. Após o preparo primário constatou-se também que os tratamentos proporcionaram capacidade de incorporação diferente estatisticamente.

Pode-se observar que o escarificador incorporou 40,4 % da cobertura existente antes do preparo primário, mantendo 40,2 % de cobertura do solo depois do preparo primário, o que confirma esse equipamento como apropriado para o sistema de preparo conservacionista. A cobertura do solo ocasionado pela grade aradora intermediária, pelo arado de discos e pela enxada rotativa não apresentou diferença significativa. A grade aradora intermediária proporcionou a segunda maior cobertura do solo, comparada com o escarificador e arado de aivecas, mantendo 11,4 % de cobertura do solo, fato também observado por GAMERO & SILVA (1993). Com o arado de aiveca obteve-se a maior capacidade de incorporação da cobertura existente antes do preparo primário, com 94 % de incorporação, deixando o solo com a menor cobertura do solo (4 %), fato também

observado por CARVALHO FILHO et al. (2007b). O preparo secundário incorporou 100 % da cobertura vegetal existente sobre o solo em todas a unidades experimentais que receberam esse tratamento.

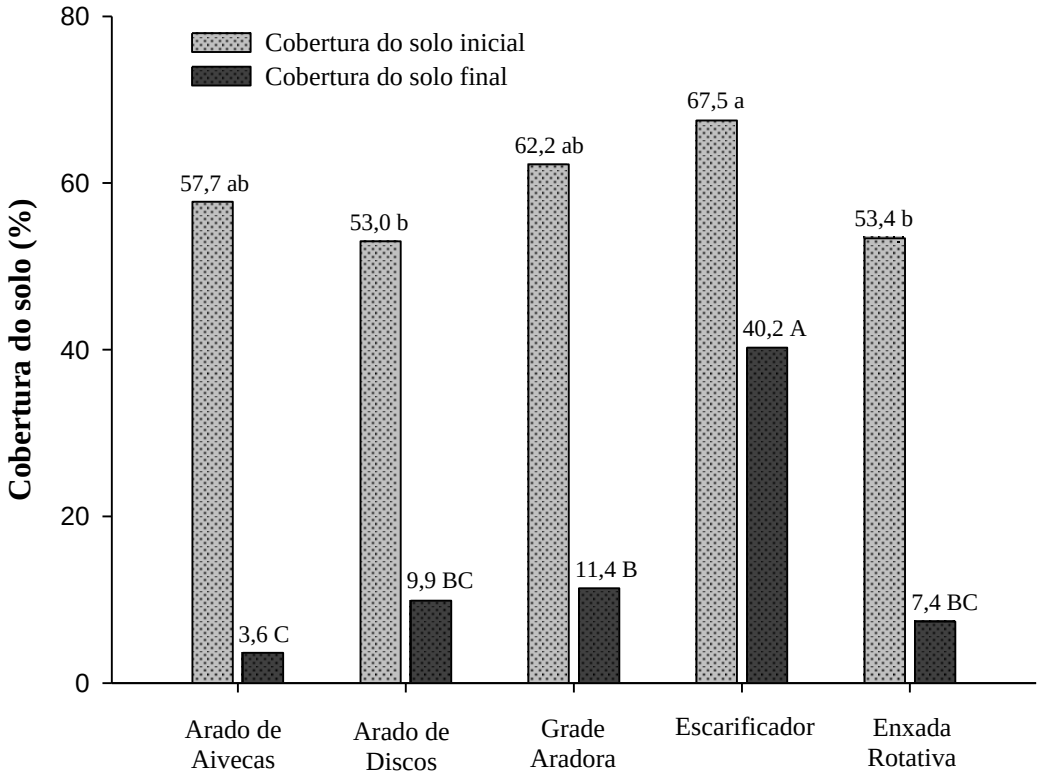

Figura 6. Cobertura do solo (%) antes e depois do preparo primário do solo, em função dos equipamentos utilizados. Médias comparadas entre equipamentos, quando precedida de mesma letra minúscula ou maiúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

1.4 CONCLUSÕES

O arado de aivecas provoca maior modificação do índice de rugosidade superficial e apresenta a maior camada mobilizada do solo, tornando sua superfície mais irregular.

O escarificador equipado com rolo destorroador nivelador ocasiona baixo índice de rugosidade, mais ainda é o equipamento mais adequado para o preparo conservacionistas do solo por manter a maior cobertura do solo.

A enxada rotativa reduz o índice de rugosidade superficial e de cobertura do solo em relação à condição inicial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLMARAS, R. R.; BURWELL, R. E.; LARSON, W. E.; HOLT, R. F.; NELSON, W. W. **Total porosity and randon roughness of the interrow zone as influenced by tillage**. Washington: U.S. Department of Agriculture, 1966. 22p. (Conservation Research Report No. 7).

BERTOL, I.; GONZÁLEZ, A. P.; VÁZQUEZ, E. V. Rugosidade superficial do solo sob diferentes doses de resíduo de milho submetido à chuva simulada. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.42, n.1, p.103-110, jan. 2007.

BUHLER, D.D. Influence of tillage systems on weed population dynamics and management in corn and soybean in the central USA. **Crop Sci.**, Madison, v.35, p.1247-58, 1995.

BURWELL, R.E., LARSON, W.E. Infiltration as influenced by tillage: induces random roughness and porespace. **Soil Sci. Am. Proc**., Madison, v.33, p.449-452, 1969.

CARVALHO FILH, A.; BONANCI, J. L. G.; CORTEZ, J. W.; CARVALHO, L. C. C. Mobilização de um latossolo vermelho acriférrico em função de sistemas de preparo do solo. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 24, n. 3, p.1-7, jul/set. 2008.

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. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p.229-237, jan./abr. 2007a.

CARVALHO FILHO, A.; CENTURION, J. F.; SILVA, R. P.; TEIXEIRA, D. S.; REQUI, E.; HOLLMANN, G. Rugosidade do solo sob diferentes sistemas de preparo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., 2001. Londrina. **Anais**... Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.248, 2001.

CARVALHO FILHO, A.; DA SILVA, R. P.; CENTURION, J. F.; CARVALHO, L. C. C.; LOPES, A. Agregação de um latossolo vermelho submetido a cinco sistemas de preparo do solo em Uberaba-MG. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p.317-325, jan./abr. 2007b.

CASTRO, L. G.; COGO, N. P.; VOLK, L. B. S. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 30, n. 2, p.339-352, 2006.

COAN, O. **Sistemas de preparo de solo: efeitos sobre a camada mobilizada e no comportamento das culturas do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) e do milho (Zea mays L.), conduzidas em rotação**. 1995. 138 p. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1995.

DANIEL, L. A.; MARETTI, H. J. Avaliação de camada de solo compactado e análise de crescimento de plantas. In: SILVEIRA, G. M. **IV Ciclo de estudos sobre mecanização agrícola**. Campinas: Fundação Cargill, p.22-38, 1990.

EMBRAPA.EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa dos solos. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília, 412p. 2006.

GAMERO, C. A.; BENEZ, S. H.; SILVEIRA, G. M. Avaliação da condição do solo após a operação de preparo. SILVEIRA, G. M. **IV Ciclo de estudos sobre mecanização agrícola**. Jundiaí: Fundação Cargill, p.12-21, 1990.

GAMERO, C. A., SILVA, J. G. Efeitos de ordens de gradagem e de sistemas de aração na camada mobilizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, Ilhéus, 1993. **Anais**... Ilhéus: CEPLAC/SBEA, p.1536-1553, 1993.

HELMING, K.; RÖMKENS, M. J. M.; PRASAD, S. N. Surface roughness related process of runoff and soil loss: a flume study. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.62, p.243-250, 1998.

HOOGMOED, W. B., DERPSCH, R. Chisel ploughing as an alternative tillage system in Paraná, Brazil. **Soil and Tillage Res.**, n.6, p.53-67, 1985.

LAFLEN, J. M.; AMEMIYA, M.; HINTZ, E. A. Measuring crop residue cover. **J. Soil Water Conserv.**, v.36, n.6, p.341-3, 1981.

PIRES, L. F.; ROSA, J. A.; TIMM, L. C. Comparação de métodos de medida da densidade do solo. **Acta. Sci. Agron.**, v. 33, n. 1, p.161-170, 2011.

PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica.** Viçosa, MG, 279 p. 2010.

SALVADOR, N., BENEZ, S. H., BICUDO, S. J. Preparo periódico do solo I: desempenho operacional e mobilização do solo. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, 1993, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CEPLAC/SBEA, 1993, v. 3, p.1710-1720, 1993.

SANTOS. J. E. G., **Equipamento conjugado de preparo do solo: desempenho em função da posição das hastes escarificadoras, do tipo de ponteira e da rotação do rotor**. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrárias, Botucatu: UNESP, 1993.

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

ZOLDAN JUNIOR, W. A.; BERTOL, I.; PEGORARO, R.; FABIAN, E. L.; ZAVASCHI, E.; VÁZQUEZ, E. V. Rugosidade superficial do solo formada por escarificacão e afetada pela erosividade da chuva. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, n. 2, p.353-362, 2008.

2 Densidade, resistência mecânica à penetração e umidade de um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO cultivado sob cinco sistemas de preparo

Urbano Teixeira Guimarães e Silva[1], Alberto Carvalho Filho[2]

RESUMO – Os sistemas de preparo e manejo do solo determinam as condições físicas para o desenvolvimento e produtividade das culturas. Porém, o uso intensivo de máquinas e implementos têm sido detectadas camadas de solo compactadas. Objetivou-se com esse trabalho, avaliar os efeitos das operações de preparo de solo em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, com 5 tratamentos e 4 repetições, tendo como tratamentos o preparo primário do solo com: arado de aivecas, arado de discos, grade aradora intermediária, escarificador e enxada rotativa. As avaliações foram realizadas de 0,1 em 0,1 m, até a profundidade 0,6 m, observando as propriedades físicas do solo: densidade, resistência mecânica à penetração e umidade do solo. Constatou-se que o arado de discos e a grade aradora intermediária aumentaram a resistência mecânica do solo à penetração na camada de 0,2 a 0,3 m de profundidade. A resistência mecânica do solo à penetração mostrou-se mais sensível na avaliação da compactação. A enxada rotativa ocasiona maior densidade do solo abaixo da camada mobilizada pelo equipamento.

Palavras-chave: compactação, penetrômetro, preparo primário do solo, propriedades físicas do solo

[1]Programa de Pós-graduação em Agronomia, Produção Vegetal, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, Rodovia MG 230, km 7, caixa postal 22, Rio Paranaíba, MG, Brasil. E-mail:urbanoguimaraes@gmail.com. *Autor para correspondência.
[2]Instituto de Ciência Agrárias, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, MG, Brasil.

2 Soil bulk density, resistance to penetration and water content in Red-Yellow Latossol dystrophic grown under five tillage systems

Urbano Teixeira Guimarães e Silva[1], Alberto Carvalho Filho[2]

ABSTRACT – Soil tillage and management affect soil physical conditions for plant growth and crop productivity. The intensive use of machinery and implements in agriculture can modify the attributes of the soil, for those of their natural state. Have been detected subsurface compacted layers caused by the intense traffic of machines and agricultural implements. The objective of this study was to evaluate the effects of tillage operations in Red-Yellow Latossol dystrophic. The experimental design was completely randomized with 5 treatments and 4 replications, with the treatments the primary tillage with: moldboard plow, disk harrow, disk plow, chisel plow and rotary hoe. The evaluations were performed 0,1 at 0,1 m, to a depth 0,6 m, observing the physical properties of soil bulk density, soil resistance to penetration and soil water content. It was found that the disk plow and disk harrow increased soil mechanical resistance to penetration in the layer from 0,2 at 0,3 m deep. The soil mechanical resistance to penetration was more sensitive in the evaluation of compaction. The rotary hoe caused higher density soil below the layer mobilized by the equipment.

Keywords: penetrometer**,** primary tillage**,** soil compaction, soil physical properties

[1]Programa de Pós-graduação em Agronomia, Produção Vegetal, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, Rodovia MG 230, km 7, caixa postal 22, Rio Paranaíba, MG, Brasil. E-mail:urbanoguimaraes@gmail.com. *Autor para correspondência.
[2]Instituto de Ciência Agrárias, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, MG, Brasil.

2.1 INTRODUÇÃO

A compactação do solo é um processo de compressão do solo na qual há um aumento da densidade e resistência ao crescimento radicular, redução da porosidade, permeabilidade e disponibilidade de água e nutrientes às plantas. Assim, torna-se um grave problema para a qualidade física do solo, pois modifica o fluxo de água, do ar e do calor, e pode afetar a eficiência da utilização de água, fertilizantes e herbicidas pelas plantas em função do menor desenvolvimento radicular (HAKANSSON & VOORHEES, 1998; REINERT et al., 2008).

Esse processo, além de causar decréscimo da produtividade das culturas agrícolas (BEUTLER & CENTURION, 2004; REINERT et al., 2008), aumenta as perdas de nitrogênio por desnitrificação, o consumo de combustível utilizado no preparo do solo e a erosão do solo pela menor infiltração da água da chuva (SOANE & OUWERKERK, 1994).

Existem poucas pesquisas sobre os sistemas de preparo do solo para a implantação de diversas culturas. Em muitas situações, esse preparo é feito sem nenhum critério científico, o que acarreta, com o passar do tempo, um impacto ambiental, causado, principalmente, pelas alterações nas propriedades físicas do solo.

Para a identificação de camadas compactadas, a densidade do solo é a medida quantitativa mais direta e utilizada como índice de intensidade da compactação. Porém, não existe informações na literatura referente ao seu nível crítico em cada classe de solo e, portanto, deve-se tomar muito cuidado ao considerar um valor absoluto como referência para concluir se um solo está ou não compactado. Dentre os métodos de determinação da densidade do solo, o de maior utilização e considerado padrão é o do

anel volumétrico, o qual consiste na amostragem de solo com estrutura indeformada num cilindro metálico de volume conhecido (PIRES et al., 2011).

Devido ao formato, ao tamanho e ao arranjo diferenciado das partículas de areia, silte e argila, os valores médios da densidade em solos arenosos (1,2 a 1,4 g.cm³) são maiores do que em solos argilosos (1,0 a 1,2 g.cm³) (CAMARGO & ALLEONI, 2006). Em LATOSSOLO VERMELHO de textura média, o valor crítico de 1,46 g cm³ na camada de 0,0 a 0,3 m para a cultura do milho (FREDDI et al., 2009). Considera-se críticos os valores de 1,55 g cm³ para solos argilosos e 1,85 g.cm³ para solos arenosos, a partir daí, ocorre séria restrição ao desenvolvimento radicular (BOWEN, 1981).

Para relacionar-se a compactação do solo, a umihhdade e a resistência mecânica à penetração também tem sido frequentemente utilizadas, por permitir melhor estimativa do impedimento mecânico do solo ao desenvolvimento radicular das plantas e de fácil e rápida determinação (BEUTLER & CENTURION, 2004; STOLF, 1991). A resistência mecânica à penetração é uma das propriedades físicas do solo diretamente relacionada com o crescimento radicular e modificada pelos sistemas de preparo do solo (LETEY, 1985).

A resistência mecânica à penetração é a melhor estimativa do impedimento mecânico do solo ao crescimento radicular (BENGHOUGH & MULLINS, 1990). Taylor & Gardner (1963) encontraram maior correlação da resistência mecânica à penetração (R = - 0,96), comparado à densidade do solo (R = - 0,59), com o crescimento radicular, sendo um indicador sensível da compactação. Desta forma, a resistência mecânica à penetração é fundamental para a avaliação dos efeitos dos sistemas de preparo no ambiente físico do solo para o crescimento das plantas.

A resistência mecânica à penetração é influenciada pela textura, umidade, densidade do solo e tipo de mineral de argila no solo. Nesse contexto, o conteúdo de água

presente na capacidade de campo é considerada uma referência ideal para a determinação da resistência mecânica do solo à penetração, condição em que é obtida melhor correlação com a densidade do solo e o crescimento radicular (HENDERSON, 1989; ARSHAD et al., 1996), sendo a sua influência maior em solos mais argilosos (ROSOLEM et al., 1999). Por outro lado, recomenda-se a determinação da resistência mecânica à penetração no solo com baixo teor de água, pois o excesso de umidade diminui a capacidade de diferenciação das camadas compactada e não compactada, devido ao efeito lubrificante da água (GUERRA et al., 2000).

Apesar da resistência à penetração ser afetada pela textura, densidade do solo e conteúdo de água, sugere-se que valores acima de 2,5 MPa começam a restringir o pleno crescimento das raízes das plantas (CAMARGO & ALLEONI, 1997). Em LATOSSOLO VERMELHO, foi observado que o valor de 2,15 MPa na camada de 0,0 a 0,20 m é crítico, pois reduziu linearmente a produtividade de milho em 23% (FREDDI et al., 2009). Outros estudos, consideram críticos os valores que variam de 6,0 a 7,0 MPa para solos arenosos e em torno de 2,5 MPa para solos argilosos (SENE et al., 1985; CANARACHE, 1990). Valores de 2,0 a 3,0 MPa são limitantes à produtividade de soja (BEUTLER et al., 2006), enquanto valores maiores que 3,5 MPa são limitantes à produtividade de trigo (MEROTTO & MUNDSTOCK, 1999).

Os equipamentos de preparo podem ocasionar diferentes níveis de compactação do solo, dependendo da classe de solo, do clima e da intensidade das operações de preparo. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos das operações de preparo periódico na compactação de um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na área experimental da Universidade Federal de Viçosa, *Campus* Rio Paranaíba, localizada na posição geográfica (19º 12’ 43” S e 46º 07’ 56” W) e na altitude de 1128 m, na bacia do Rio São Francisco, região do Alto Paranaíba, município de Rio Paranaíba (MG).

Esse município se caracteriza por apresentar clima temperado úmido, com duas estações muito bem definidas, com verão moderadamente quente e chuvoso e com inverno seco e frio, sendo classificado pela escala de Köeppen como Cwb. A temperatura média é de 20,4 ºC e a pluviosidade média anual de 1570 mm.

O experimento foi instalado em novembro de 2014, em um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (LVAd) com 31,0 g dm^{-3} de matéria orgânica, 440 g kg^{-1} de argila e densidade média na camada arável igual a 0,99 kg dm^{-3} (EMBRAPA, 2006). O solo possui relevo com declividade de 3% e cobertura vegetal natural de Cerrado. Anteriormente foi cultivado com aveia (*Avena sativa*) para a cobertura do solo durante o período de inverno na sucessão com pastagem de braquiária degradada, implantada há mais de 6 anos, sem renovação e em pousio.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente ao acaso, com 5 tratamentos e 4 repetições, totalizando 20 unidades experimentais. Cada unidade experimental teve o dimensionamento de 100 m^2 (10 x 10 m). Foram deixados carreadores com 10 m longitudinalmente e 10 m transversamente entre as unidades experimentais para manobra e regulagem dos equipamentos.

Os tratamentos foram:

T1 – Preparo primário do solo com arado de aivecas reversível, modelo A-3, marca MASCHIETTO®, montado, equipado com três aivecas recortadas, com largura de corte de 1350 mm, com massa de 570 kg, trabalhando a 300 mm de profundidade e velocidade de trabalho de 5,0 km h^{-1};

T2 – Preparo primário do solo com arado de discos, modelo AF-3, marca BALDAN®, montado, equipado com três discos côncavos lisos (Ø 28" x 6,0 mm), com ângulo vertical de 20º, com ângulo horizontal de 50º, com largura de corte de 900 mm, com massa de 402 kg, trabalhando a 200 mm de profundidade e velocidade de trabalho de 5,0 km h^{-1};

T3 – Preparo primário do solo com grade aradora intermediária, modelo GAC300, marca KÖHLER®, de arrasto, tipo off set, equipado com 14 discos côncavos recortados (Ø 30" x 6,0 mm), com largura de corte de 1920 mm, com massa de 1690 kg, trabalhando a 150 mm de profundidade e velocidade de trabalho de 5,0 km h^{-1};

T4 – Preparo primário do solo com escarificador, modelo Jumbo Matic Hidráulico, marca JAN®, com discos de corte e rolo destorroador nivelador, equipado com cinco hastes parabólicas e ponteiras sem asa, com largura de trabalho de 2000 mm, com massa de 645 kg, trabalhando até 200 mm de profundidade e velocidade de trabalho de 5,0 km h^{-1};

T5 – Preparo primário do solo com enxada rotativa, modelo ERP 200 B, marca MEC-RUL®, montada, equipado com oito flanges e quarenta e oito lâminas velozes, com massa de 443 kg, com largura de corte de 2000 mm, regulada com a tampa abaixada, trabalhando até 100 mm de profundidade e velocidade de trabalho de 5,0 km h^{-1}.

Foi adotado o preparo secundário para os arados (T1 e T2) e para a grade aradora intermediária (T3), com duas gradagens para destorroamento e nivelamento após o preparo primário. Utilizou-se a mesma grade aradora adotada no preparo primário,

modelo GAC300, marca KÖHLER®. Para os tratamentos com o escarificador (T4) e enxada rotativa (T5) não foi adotado o preparo secundário do solo. A profundidade de trabalho escolhida em cada equipamento foi a mesma utilizada pelos produtores da região.

Em todas operações mecanizadas utilizou-se o trator New Holand TL85E, 4x2 TDA, com potência de 88 cv e transmissão 12x12 Power Shuttle.

A umidade do solo nas mesmas datas dos preparos primário e secundário foi, respectivamente, de 21 e 27%. As avaliações da densidade, resistência mecânica à penetração e umidade do solo foram realizadas 90 dias após o preparo secundário.

A densidade do solo foi determinada ao longo do perfil, em camadas de 0,1 m, contadas da superfície até a profundidade de 0,6 m, pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997). A coleta das amostras de solo com estrutura indeformada foi feita com trado tipo Uhland, com anéis volumétricos de 270 cm^3. Foram amostrados três perfis por unidade experimental e um valor médio em cada camada foi utilizado para representar a parcela individualmente.

Após a coleta das amostras os anéis volumétricos foram vedados com papel alumínio, identificados e colocados em caixas de isopor até a pesagem e obtenção da massa úmida do solo, utilizando-se uma balança com precisão de 0,01 g para a pesagem das amostras. Em seguida, as amostras foram abertas e colocadas na estufa, por um período de 24 horas, a temperatura de 105ºC, até a obtenção de massa constante. Após a secagem, as amostras foram pesadas para obtenção da massa seca, sendo que o solo foi descartado e o papel alumínio e os anéis volumétricos pesados novamente para posteriormente serem descontados da massa da amostra. Os resultados da densidade foram expressos em kg dm^3.

A resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) foi determinada ao longo do perfil, em camadas de 0,1 m até a profundidade de 0,6 m, utilizando penetrômetro de

impacto, modelo IAA/Planalsucar-Stolf, equipado com ponta cônica tipo 2, com diâmetro de 12,83 mm e ângulo sólido de 30º, embolo padrão de 4 kg e altura para deslocamento vertical do embolo de 0,4 m (ASAE, 1999). Foram avaliados três perfis por unidade experimental e um valor médio em cada camada foi utilizado para representar a parcela individualmente. As avaliações ocorreram no mesmo momento e ao lado onde foram obtidas as amostras indeformadas de solo para avaliação da densidade e umidade do solo.

Os resultados obtidos com o penetrômetro de impacto, fornecidos em "cm impacto^{-1}", foram transformados em kgf cm^{-2}, conforme a equação 6 (STOLF, 1991). Os valores encontrados em kgf cm^{-2} foram multiplicados pelo fator 0,098 para transformação da resistência mecânica do solo à penetração em MPa.

$$RMSP = \frac{M + m + \left(\frac{M}{M+m}\frac{Mh}{x}\right)}{A} \quad (6)$$

Em que:

RMSP = resistência mecânica do solo à penetração (kgf cm^{-2})

M = massa do êmbolo (kg)

m = massa do aparelho sem êmbolo (kg)

h = altura de queda do êmbolo (cm)

x = penetração da haste do aparelho (cm impacto^{-1})

A = área do cone (cm^2)

A umidade do solo (Us) foi determinada em camadas de 0,1 m até a profundidade de 0,6 m, utilizando as mesmas amostras indeformadas para avaliação da densidade do solo e também no momento da aplicação dos tratamentos, nos preparos primário e

secundário. Utilizado-se o método gravimétrico padrão, com base na massa do solo seco em estufa, por um período de 24 horas, a uma temperatura de 105ºC, até a obtenção de massa constante (EMBRAPA, 1997) (Equação 7).

$$Us = \frac{Mu - Ms}{Ms - Ta} \times 100 \quad (7)$$

Em que:

Us = umidade do solo (%);

Mu = massa úmida do solo mais o anel volumétrico (g);

Ms = massa seca do solo mais o anel volumétrico (g);

Ta = massa do anel volumétrico (g).

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando necessário, os fatores foram desdobrados e comparados por meio do teste de médias de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa estatístico SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2010).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Caracterização física antes do preparo do solo

Foi encontrada diferença significativa entre as camadas de solo avaliadas apenas para a resistência mecânica do solo à penetração (Tabela 2). Não ocorreu variação nos valores de densidade do solo estudado em razão de não ser preparado periodicamente.

Tabela 2 – Caracterização física do solo, quanto à densidade, resistência mecânica à penetração e umidade do solo antes do preparo primário de um LATOSSOLO VERMELHOR AMARELO Distrófico, em Rio Paranaíba-MG

Profundidade	Caracterização física do solo		
	Densidade do solo	Resistência mecânica do solo à penetração	Umidade do solo
------ m ------	------ $g.cm^{-3}$ ------	--------- MPa ---------	-------- % --------
0,0 – 0,1	0,95	1,41 c	25,24
0,1 – 0,2	1,03	2,50 a	25,69
0,2 – 0,3	0,99	2,44 a	25,14
0,3 – 0,4	0,97	2,25 ab	25,39
0,4 – 0,5	0,99	1,85 abc	25,34
0,5 – 0,6	0,99	1,60 bc	25,39
Média	0,99	2,01	25,37
C.V. (%)	7,2	21,8	1,8
Fc	$0,879^{ns}$	6,437**	$1,017^{ns}$

As médias seguidas de letras iguais minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns: não significativo (P>0,05); **: significativo a 1% de probabilidade (P≤0,01); C.V.: Coeficiente de variação; Fc: Teste F calculado.

Nas camadas de 0,1 a 0,2 m e 0,2 a 0,3 m foi observada a maior resistência mecânica do solo à penetração comparado com as camadas de 0,0 a 0,1 m e 0,5 a 0,6 m. Porém, apesar da diferença entre as camadas avaliadas, cabe ressaltar que a maior resistência mecânica do solo à penetração encontrada situa-se abaixo do limite critico, do qual acima de 2,5 MPa começa a restringir o desenvolvimento radicular (CANARACHE, 1990).

A resistência mecânica do solo à penetração mostrou-se mais sensível que a densidade do solo na avaliação de uma possível compactação. Nota-se que a camada superior apresentou baixo valor da resistência mecânica à penetração, possivelmente pela ação da matéria orgânica. Ainda, esses valores foram semelhantes aos encontrados na camada abaixo de 0,4 m, o que pode ser justificado pelo menor efeito dos órgãos ativos dos equipamentos agrícolas utilizados nas maiores profundidades. Fato esse, também observado por Gamero & Benez (1990).

2.3.1 Densidade do solo em função do sistema de preparo

Não ocorreu interação significativa (P>0,05) entre os equipamentos utilizados no preparo primário e as camadas de solo avaliadas, o qual teve um coeficiente de variação (cv) de 4,0% (Tabela 3). Não foram encontradas diferenças significativas entre equipamentos utilizados no preparo primário do solo (P>0,05).

Em todos os tratamentos foram encontradas diferenças entre as camadas de solo avaliadas. A menor densidade do solo foi observada na camada superficial (0,0 a 0,1 m) e abaixo desta já começam aparecer os efeitos das cargas exercidas pela mobilização e tráfego das máquinas e implementos utilizados. No tratamento com a enxada rotativa, a maior densidade foi observada na camada de 0,1 a 0,2 m, sendo estatisticamente maior do que a camada superficial e a mais profunda do solo (0,5 a 0,6 m), porém não diferiu das demais camadas. Nos demais tratamentos não ocorreram diferenças significativas entre as camadas subsuperficiais.

É importante salientar que, no tratamento com enxada rotativa, a maior densidade do solo foi observada na camada abaixo da profundidade de trabalho do equipamento, o que sugere a maior influência desse equipamento sobre a densidade. Porém, não é

possível afirmar que esse equipamento ocasionou a formação de uma camada subsuperficial compactada, uma vez que não diferiu dos outros tratamentos. A menor densidade ocasionada pela enxada rotativa na camada superficial possivelmente foi devido a menor incorporação da matéria orgânica e ao elevado poder de pulverização do solo, a densidade dessa camada só não foi diferente da camada mais profunda, onde são diluídos os efeitos dos equipamentos de preparo do solo.

Tabela 3 – Desdobramento da interação equipamentos utilizados no preparo primário do solo e profundidades para a densidade (Ds) de um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico, em Rio Paranaíba-MG

Profundidades ------- m -------	Equipamentos utilizados no preparo primário do solo					Fc
	AD	AA	GA	ES	ER	
	---------- g cm³ ----------					
0,0 – 0,1	0,86 b	0,92 b	0,87 b	0,87 b	0,88 c	1,341^{ns}
0,1 – 0,2	1,00 a	1,02 a	1,05 a	1,01 a	1,04 a	1,006^{ns}
0,2 – 0,3	1,03 a	1,04 a	1,03 a	1,03 a	1,02 ab	0,103^{ns}
0,3 – 0,4	1,01 a	1,02 a	1,03 a	1,03 a	1,02 ab	0,746^{ns}
0,4 – 0,5	1,00 a	1,01 a	1,01 a	1,02 a	0,98 ab	2,385^{ns}
0,5 – 0,6	0,98 a	1,00 ab	0,97 a	0,98 a	0,96 bc	1,285^{ns}
Fc	9,159**	5,626**	11,555**	10,983**	8,974**	

As médias seguidas de letras iguais minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns: não significativo (P>0,05); **: significativo a 1% de probabilidade (P≤0,01); Fc: Teste F calculado; AD: Arado de discos; AA: Arado de aivecas; GA: Grade aradora intermediária; ES: Escarificador; ER: Enxada rotativa.

Pode-se observar nenhuma variação entre os equipamentos utilizados no preparo primário do solo (Figura 7). Todos os equipamentos proporcionaram o mesmo padrão de distribuição da densidade ao longo do perfil do solo, com reduzida densidade na camada superficial.

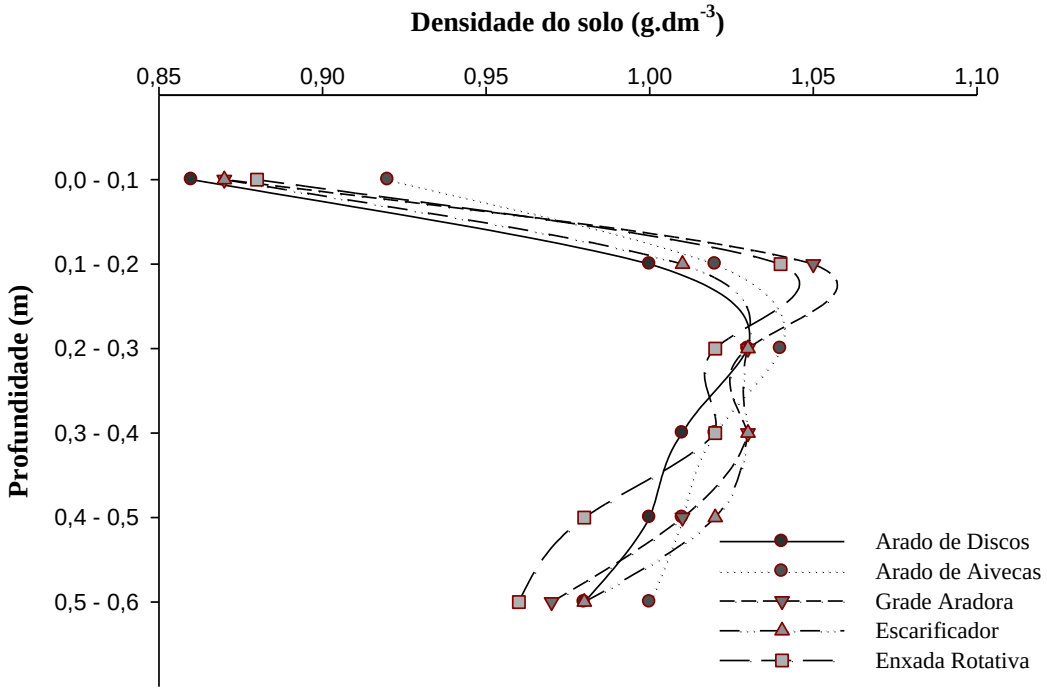

Figura 7. Densidade do solo (g dm^{-3}) avaliada 90 dias após o preparo secundário, em função dos equipamentos utilizados.

A menor densidade encontrada na camada superficial pode aumentar o crescimento radicular nessa região em comparação às outras camadas. Quando o solo encontra-se compactado nas camadas subsuperficiais, as plantas são capazes de compensar o decréscimo no enraizamento, devido à compactação, através da maior produção de raízes na camada superficial (SHIERLAW & ALSTON, 1984). Em um experimento com trigo, foi observado que 85% do total das raízes cresciam na camada superficial do solo (0,1 m de profundidade), em virtude da camada compactada subsuperficial (TOMAR et al., 1981). Apesar do reduzido volume de solo ocupado pelas raízes, Tomar et al. (1981) não encontraram queda na produção de grãos, em condições ótimas de umidade e fertilidade, devido à compactação subsuperficial.

2.3.2 Resistência mecânica à penetração e umidade do solo em função do sistema de preparo

Não ocorreu interação significativa (P>0,05) entre os equipamentos utilizados no preparo primário e as camadas de solo onde foram avaliadas a resistência mecânica do solo à penetração, o qual teve coeficiente de variação (cv) de 15,6% (Tabela 4).

Apenas na profundidade de 0,2 a 0,3 m foram encontradas diferenças significativas entre a resistência mecânica do solo à penetração ocasionada pelos equipamentos usados no preparo primário do solo. Nessa camada, o arado de discos e a grade aradora intermediária foram os equipamentos que promoveram maior resistência mecânica do solo à penetração em comparação ao arado de aivecas. Entretanto, o emprego do escarificador e da enxada rotativa proporcionaram valores semelhantes a todos os equipamentos avaliados. Cabe ressaltar que as diferenças encontradas podem ter sido ocasionadas pelas diferentes regulagens dos equipamentos, visto que a umidade nessa camada foi uniforme. O arado de discos e a grade aradora intermediária foram regulados para trabalhar na profundidade de 0,2 e 0,15 m, respectivamente, enquanto que o arado de aivecas foi regulado para trabalhar na profundidade de 0,3 m, ocasionando menor resistência mecânica do solo à penetração na camada de 0,2 a 0,3 m.

Em todos os tratamentos foram encontradas diferenças significativas entre as camadas de solo avaliadas. Pode-se observar o efeito da compactação entre as profundidades de 0,1 a 0,5 m, pois a resistência mecânica do solo à penetração foi elevada, mesmo estando com maior umidade, quando comparados com a camada superficial (0,0 a 0,1 m), e com a camada mais profunda (0,5 a 0,6 m), onde a ação dos órgãos ativos dos equipamentos deixa de produzir efeitos significativos, conforme também relatado por Gamero & Benez (1990). Para a camada de 0,2 a 0,3 m o arado de aivecas foi o

equipamento que proporcionou menores valores de resistência mecânica do solo à penetração, quando comparado ao arado de discos e a grade aradora intermediária, não diferindo, entretanto, dos valores ocasionados pelo escarificador e enxada rotativa.

Tabela 4 – Desdobramento da interação equipamentos utilizados no preparo primário do solo e profundidades para a resistência mecânica à penetração (RMSP) e para a umidade de um LATOSSOLO VERMELHOR AMARELO Distrófico, em Rio Paranaíba-MG

Profundidades ------- m -------	Equipamentos utilizados no preparo primário do solo					Fc
	AD	AA	GA	ES	ER	
	---------- RMSP (MPa) ----------					
0,0 – 0,1	1,39 c	1,36 b	1,39 c	1,45 c	1,39 c	0,059^{ns}
0,1 – 0,2	2,07 bc	1,90 ab	2,35 ab	2,07 abc	2,18 ab	1,020^{ns}
0,2 – 0,3	2,97 aA	2,12 aB	2,97 aA	2,68 aAB	2,63 aAB	4,418**
0,3 – 0,4	2,63 ab	2,24 a	2,52 ab	2,57 a	2,52 a	0,855^{ns}
0,4 – 0,5	2,07 bc	2,07 a	2,18 b	2,35 ab	2,12 ab	0,504^{ns}
0,5 – 0,6	1,90 c	1,67 ab	1,90 bc	1,84 bc	1,79 bc	0,328^{ns}
Fc	11,457**	4,145**	10,766**	8,141**	7,859**	
------- m -------	---------- Umidade (%) ----------					
0,0 – 0,1	30,4 b	30,7 c	32,1	31,5	30,8 c	1.786^{ns}
0,1 – 0,2	33,4 a	32,7 abc	32,1	32,8	32,2 bc	1.147ns
0,2 – 0,3	32,3 ab	32,9 ab	31,0	31,7	32,9 ab	2.654ns
0,3 – 0,4	32,1 ab	32,4 abc	32,2	32,6	33,7 ab	1.627ns
0,4 – 0,5	33,2 aAB	31,0 bcC	32,2 BC	33,0 ABC	34,3 aA	5.757**
0,5 – 0,6	33,5 a	33,6 a	32,2	32,9	34,7 a	3.353ns
Fc	5.393**	4.750**	0.907ns	1.653ns	8.176**	

As médias seguidas de letras iguais minúsculas na coluna e letras iguais maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns: não significativo (P>0,05); **: significativo a 1% de probabilidade (P≤0,01); RMSP: resistência mecânica do solo à penetração; Fc: Teste F calculado; AD: Arado de discos; AA: Arado de aivecas; GA: Grade aradora intermediária; ES: Escarificador; ER: Enxada rotativa.

Com exceção do arado de aivecas, todos os equipamentos ocasionaram, nas camadas de 0,2 a 0,3 m e 0,3 a 0,4 m valores de resistência mecânica do solo à penetração superiores ao limite de 2,5 MPa, o que segundo Canarache (1990) e Camargo & Alleoni (1997), está acima do limite critico considerado prejudicial para o desenvolvimento radicular em solos argilosos.

Ao analisar as áreas trabalhadas com o arado de aivecas noventa dias após a realização do preparo secundário, pode-se observar que estas apresentaram menores alterações da resistência mecânica do solo à penetração, principalmente quando comparados ao areado de discos e à grade aradora intermediária (Figura 8). Cabe ressaltar também que apenas o sistema de preparo com arado de aivecas ocasionou valor de resistência mecânica do solo à penetração inferior ao nível crítico de 2,5 MPa, proposto por Canarache (1990), em todas as camadas avaliadas.

O uso do arado de discos e da grade aradora ano após anos, na mesma profundidade de operação, pode aumentar a diferença da resistência mecânica à penetração entre as camadas do solo e causar compactação na camada de 0,2 a 0,3 m, a qual é subjacente a camada mobilizada, formando a compactação conhecida popularmente como “pé de arado” ou “pé de grade”. Ainda pode-se dizer que os efeitos da carga desses equipamentos podem afetar a resistência mecânica do solo à penetração até a profundidade de 0,4 m e que, a partir daí, este parâmetro é diluído com o aumento da profundidade do solo (GAMERO & BENEZ, 1990).

Na avaliação da umidade do solo ocorreu interação significativa ($P<0,01$) entre os equipamentos utilizados no preparo primário e as camadas de solo avaliadas, cujo o coeficiente de variação (cv) foi de 3,12% (Tabela 4). Apenas na camada de 0,4 a 0,5 m foi encontrada diferença significativa na umidade entre os equipamentos usados no preparo primário do solo.

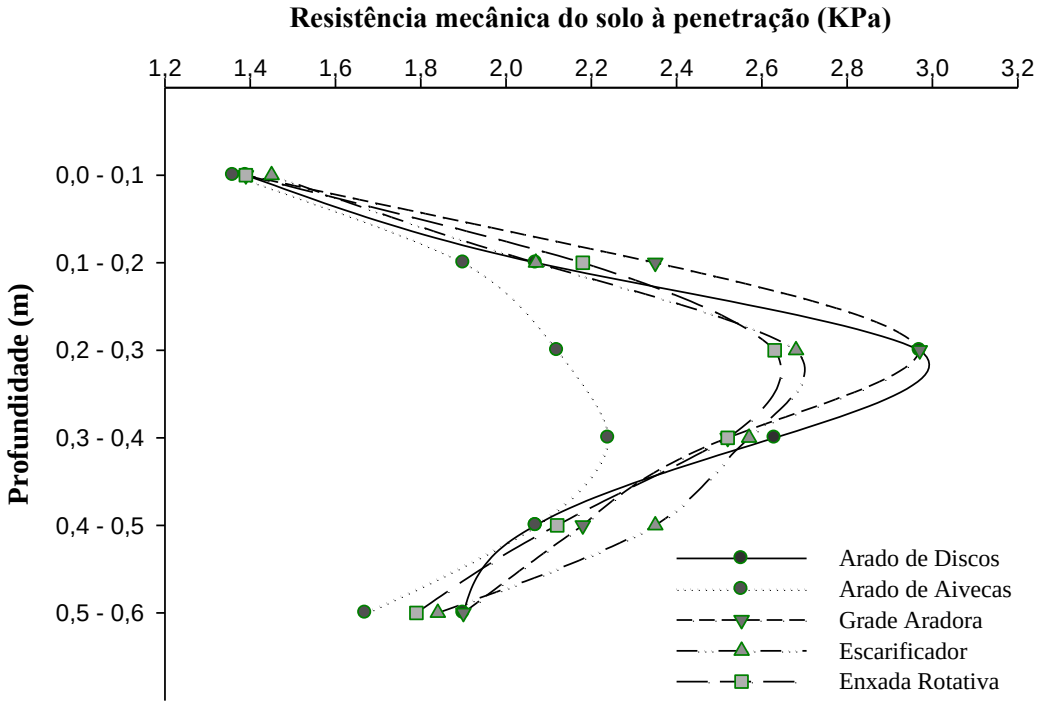

Figura 8. Resistência mecânica do solo à penetração (KPa) avaliada 90 dias após o preparo secundário, em função dos equipamentos utilizados.

Na camada de 0,4 a 0,5 m, o arado de aiveca e a grade aradora intermediária foram os equipamentos que promoveram menor umidade do solo em comparação a enxada rotativa. É possível que isso possa ser atribuído à maior preservação da estrutura natural do solo, quando mobilizado em menores profundidades, como acontece para as enxadas rotativas. Para o arado de aivecas, entre as camadas de solo avaliadas, a umidade na profundidade de 0,4 a 0,5 m foi menor apenas comparado com a profundidade de 0,5 a 0,6 m, não diferindo das demais camadas. Para a grade aradora intermediária e escarificador não foram encontradas diferenças significativa da umidade entre as camadas de solo avaliadas. Nos demais equipamentos, a diferença da umidade do solo está entre as camadas superficial (0,0 a 0,1 m) e última camada avaliada (0,5 a 0,6 m), que são, respectivamente, a camada mais seca e a camada mais úmida.

A umidade do solo para cada tratamento e em cada profundidade, no momento da determinação da densidade e da resistência mecânica à penetração, ajuda a explicar as variações de resistência mecânica do solo à penetração. Muitos trabalhos observam a dependência da resistência mecânica do solo à penetração com o teor de água do solo, ou seja, à medida que se aumenta o teor de água, diminui-se a resistência mecânica do solo à penetração, e vice-versa (CUNHA et al. 2002; SANTOS & LANÇAS, 1999)

Comparando os dados de umidade do solo com os dados da resistência mecânica do solo à penetração, é possível observar que o arado de discos e a grade aradora intermediária aumentaram a resistência mecânica do solo à penetração na camada de 0,2 a 0,3 m de profundidade em comparação ao outros equipamentos, enquanto que, a umidade do solo não diferenciou estatisticamente entre os equipamentos avaliados nessa camada (Tabela 4). Com isso, é possível afirmar que o uso do arado de discos e grade aradora intermediária aumentou a resistência mecânica do solo à penetração na camada de 0,2 a 0,3 m, em detrimento da umidade do solo, podendo prejudicar o desenvolvimento radicular e a produtividade das culturas.

Com o aumento do teor de água, decresce a atuação das forças de coesão entre as partículas do solo, promovendo a diminuição da resistência mecânica do solo à penetração (CUNHA et al., 2002). Porém, a menor resistência mecânica do solo à penetração encontrada na camada superficial (0,0 a 0,1 m) não coincidiu com a maior umidade do solo entre as camadas avaliadas, pelo contrário, em alguns tratamentos coincidiu com a camada de menor umidade do solo. Com isso, os equipamentos utilizados no preparo do solo ocasionaram menor resistência mecânica do solo à penetração na camada superficial em comparação às outras camadas. Avaliações de médio-longo prazo são necessárias face às mudanças dinâmicas na qualidade física do solo, impostas pelos sistemas de preparo e manejo do solo e da cultura.

2.4 CONCLUSÕES

A resistência mecânica do solo à penetração é mais sensível na avaliação da compactação, quando comparada com a densidade do solo.

Na camada de 0,2 a 0,3 m, o arado de discos e a grade aradora intermediária são os equipamentos que promove maior resistência mecânica do solo à penetração comparados ao arado de aiveca.

A menor densidade do solo é observada na camada superficial, ocasionada pela ação do preparo do solo, mais não diferiu da camada mais profunda.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, p.123-41, 1996.

ASAE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Soil cone penetrometer. In: **ASAE Standards 1999**: standards engineering practices data. 46 ed. St. Joseph, p.834-835, 1999. (ASAE S313.1)

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

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.6, p.581-8, 2004.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SILVA, A.P.; BARBOSA, J.C. Intervalo hídrico ótimo e produtividade de cultivares de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.3, p.639-645, 2006.

BOWEN, H. D. Alleviating mechanical impedance. In: ARKIN, G. F. & TAYLOR, H. M., (Ed.). **Modifying the root environment to reduce crop stress**. Michigan. p.18-57. 1981.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, p.132, 1997.

CANARACHE, A. P. A generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil Till. Res.**, Amsterdam, v.16, n.1, p.51-70, 1990.

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**, Viçosa, v.10, n.1-4, p.1-7, 2002.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRA. **Manual de métodos de análise do solo**. EMBRAPA/CNPSO. 212p. 1997.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa dos solos. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília, 412p. 2006.

FERREIRA, D. F. SISVAR 5.3. **Sistema de Análises Estatísticas**. Lavras: UFLA, 2010.

FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; DUARTE, A. P. & LEONEL, C. L. Compactação do solo e produção de cultivares de milho em Latossolo Vermelho. I-Características de planta, solo e índice S. **R. Bras. Ci. Solo**, 33: 793-803, 2009

GAMERO, C.A.; BENEZ, S.H. Avaliação da condição do solo após a operação de preparo. In: SILVEIRA, G.M. **IV Ciclo de estudos sobre mecanização agrícola**. Jundiaí: Fundação Cargill, p.12-21. 1990.

GUERRA, S.P.S.; LANÇAS, K.P.; MAZETTO, F.R. Utilização do GPS e do penetrômetro hidráulico-eletrônico para localização de pontos e avaliação da compactação do solo. REUNIÃO CIENTÍFICA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS DO

LAGEADO, 7., 2000, Botucatu. **Resumos**... Botucatu: Universidade Estadual Paulista, 2000. p.85.

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

HAKANSSON, I.; VOORHEES, W. B. Soil compaction. In: LAL, R.; BLUM, W. H.; VALENTINE, C.; STEWARD, B. A. (Ed.). **Methods for assessment of soil degradation: advances in soil science**. Boca Raton: CRS Press, p.167-79, 1998.

HENDERSON, C. W. L. Using a penetrometer to predict the effects of soil compaction on the growth an yield of wheat on uniform, sandy soils. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v.40, n.3, p.497-508, 1989.

PIRES, L. F.; ROSA, J. A.; TIMM, L. C. Comparação de métodos de medida da densidade do solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 1, p.161-170, 2011.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p.1805-1816, 2008.

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

SANTOS, C.A. dos; LANÇAS, K.P. Projeto e construção de um penetrômetro hidráulico-eletrônico. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v.14, n.4, p.55-61, 1999.

SENE, M. et al. Relationships of soil texture and structure to corn yield response to subsoiling. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v.49, n.2, p.422-427, 1985.

SHIERLAW, J. & ALSTON, A. M. Effect of soil compaction on root and uptake of phosphorus. **Plant Soil.**, The Hague, p.15-28, 1984.

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

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 15:229-235, 1991.

MANTOVANI, E. C. **Compactação do solo**. Informe agropecuário, v. 13, n. 17, p.52-55, 1987.

MEROTTO, A.; MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strength. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa - MG, v.23, p.197-202, 1999.

TAYLOR, H.; GARDNER, H. Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content, and strength of soil. **Soil Science**, Baltimore, v.96, n.3, p.153-6, 1963.

TO MAR, S. S.; R USSEL, M. B. & TOMAR , A. S. Effect of subsurface compaction on root distribution and growth of wheat. **Zeitschrift fur Acker-und Pflanzenbau**, Berlim, p.62-70, 1981.

3 Distribuição do tamanho de agregados de uma LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO cultivado sob diferente sistemas de preparo

Urbano Teixeira Guimarães e Silva[1], Alberto Carvalho Filho[2]

RESUMO – Para assegurar a sustentabilidade do sistema produtivo, o manejo do solo deve manter as propriedades físicas do solo o mais próximo das condições originais em que este se encontrava na natureza. Com o objetivo de avaliar a desagregação da camada mobilizada pelo sistema de preparo do solo, foi instalado um experimento em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, com textura argilosa, no município de Rio Paranaíba – MG. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, com 5 tratamentos e 4 repetições, tendo como tratamentos o preparo primário do solo com: arado de aivecas, arado de discos, grade aradora intermediária, escarificador e enxada rotativa. Foram avaliados: percentagem de agregados retidos por classe de tamanho, diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico e módulo de finura após o preparo periódico primário e secundário do solo. Os baixos valores de diâmetro médio geométrico, do diâmetro médio ponderado e do módulo de finura encontrados são favoráveis para o desenvolvimento das culturas, entretanto maior será a predisposição do solo à erosão. Sugere-se como adequado agregado com tamanho entre 1,0 a 4,75 mm.

Palavras-chave: diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado, distribuição de agregados, módulo de finura

[1]Programa de Pós-graduação em Agronomia, Produção Vegetal, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, Rodovia MG 230, km 7, caixa postal 22, Rio Paranaíba, MG, Brasil. E-mail:urbanoguimaraes@gmail.com. *Autor para correspondência.
[2]Instituto de Ciência Agrárias, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, MG, Brasil.

3 Distribution of aggregate size in Red-Yellow Latossol grown under different tillage systems

Urbano Teixeira Guimarães e Silva[1], Alberto Carvalho Filho[2]

ABSTRACT – Soil management must keep the soil physical properties next to the original conditions in natural systems to assure the sustainability of agricultural systems. With the objective of evaluate the disaggregated layer mobilized by tillage system, an experiment was conducted in Red-Yellow Latossol dystrophic, clayey, in the city of Rio Paranaíba - MG. The experimental design was completely randomized with 5 treatments and 4 replications, with the treatments the primary tillage with: moldboard plow, disk harrow, disk plow, chisel plow and rotary hoe. Were evaluated: size distribution of aggregation, geometric mean diameter, weight mean diameter and fineness modulus. The low values of mean geometric diameter, weight mean diameter, and fineness modulus are favorable for the development of crops, but greater predisposition soil erosion. It is suggested as suitable aggregate with size from 1,0 to 4,75 mm.

Keywords: distribution of aggregation, fineness modulus, geometric mean diameter, weight mean diameter,

[1]Programa de Pós-graduação em Agronomia, Produção Vegetal, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, Rodovia MG 230, km 7, caixa postal 22, Rio Paranaíba, MG, Brasil. E-mail:urbanoguimaraes@gmail.com. *Autor para correspondência.
[2]Instituto de Ciência Agrárias, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, MG, Brasil.

3.1 INTRODUÇÃO

O preparo periódico do solo tem como finalidade diminuir o nível de agregação entre suas partículas, melhorando a infiltração de água, a aeração e criando condições favoráveis à germinação e desenvolvimento das plantas, além do controle de plantas daninhas e incorporação de restos vegetais, de corretivos e defensivos agrícolas (DICKEY et al., 1992; SRIVASTAVA et al., 2006).

A estrutura do solo após o seu preparo é fortemente dependente do tipo de equipamento utilizado, das condições climáticas e da umidade do solo no momento do preparo (DOMZAL & SLOWINSKA-JURKIEWICZ, 1987). As principais alterações negativas provocadas pelo preparo do solo sobre a sua estrutura são: a redução da estabilidade dos agregados, o alto nível de desagregação entre suas partículas e a compactação em camadas subsuperficiais. Isto subdivide a camada mobilizada em uma parte que é superficial e pulverizada, e outra que é subsuperficial e compactada (LLANILLO et al., 2006).

Uma pesquisa conseguiu demonstrar que o preparo do solo, por três anos, promoveu decréscimo de 40% na estabilidade dos agregados (RACZKOWSKI et al., 2012). Assis & Lanças (2010) verificaram que o preparo do NITOSSOLO em sistema convencional, por 20 anos, fracionou os agregados maiores em unidades menores que 1,0 mm. A relação entre a estabilidade de agregados e a intensidade de mobilização do solo também foi pesquisada por Niero et al. (2010), que encontraram em LATOSSOLO VERMELHO maiores valores de diâmetro médio ponderado em manejos com menor mobilização da superfície do solo e maiores valores para porcentagem de agregados menores que 2,0 mm nos manejos de maior revolvimento do solo. Além do preparo do

solo, o teor de matéria orgânica, a sua granulometria, entre outros fatores, determinam a estabilidade dos seus agregados ao longo do tempo (WATANABE et al., 2008).

Com a desagregação do solo, sua porosidade pode ser reduzida pela obstrução dos microporos por partículas translocadas ao longo do seu perfil, provocando adensamento, e redução dos macroporos, devido à ação mecânica dos rodados e órgãos ativos dos equipamentos sobre a sua estrutura física. Essas modificações implicam na redução do armazenamento de água no solo, diminuição de trocas gasosas e limitação ao desenvolvimento de raízes (EMBRAPA, 2008). Por outro lado, solos com agregados maiores conferem maior estruturação ao solo, maior porosidade, maior condutividade hidráulica e maior resistência à compressão com inegáveis vantagens para a sustentabilidade dos sistemas de produção (LLANILLO et al., 2006).

A distribuição de tamanho dos agregados em água é a principal determinação que estima a estabilidade dos agregados do solo em face dos agentes externos que podem promover sua desestruturação, tais como o sistema de preparo e a erosão hídrica. A persistência da estrutura do solo é fundamental para o suprimento de água e nutrientes, e para a manutenção do equilíbrio favorável ao crescimento e desenvolvimentos das culturas (FERREIRA, 2010).

Inúmeros métodos foram testados para essa caracterização do solo, mas os mais utilizados são os descritos por Kemper & Chepil (1965). No qual utilizam-se agregados obtidos a partir de uma amostra de solo com estrutura indeformada, destorroada até que todo o material passe por uma peneira com abertura de malha de 8 mm. Esse método é fundamentado nos princípios descritos por Yoder (1936), que descreveu uma forma direta de análise dos agregados do solo para aplicação em estudos de física do solo e perdas por erosão, baseado no peneiramento de amostras em um conjunto de peneiras dentro de um recipiente com água, chamado método do peneiramento úmido. Dentre os fatores que

afetam a agregação, a água é o fator que mais chama a atenção desses pesquisadores, devido a características desejadas dos agregados em resistirem à ação da água em um ambiente de exploração agrícola.

Para avaliar o estado de desagregação do solo na camada mobilizada, podem ser utilizados a percentagem de agregados retidos por classe de tamanho, o diâmetro médio ponderado e o diâmetro médio geométrico dos agregados. O diâmetro médio ponderado será maior quanto for a proporção da classe de agregados de maior tamanho, ao passo que o diâmetro médio geométrico representa apenas uma estimativa das classes de maior ocorrência. A caracterização pelo tamanho de agregados tem grande importância no manejo do solo e na implantação da cultura, pois permite avaliar o efeito mecânico dos equipamentos, associando-os às condições ideais de desenvolvimento das plantas (COAN, 1995).

O uso do arado de aivecas em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico resulta em diâmetro médio geométrico maior do que a enxada rotativa, principalmente pela grande percentagem de agregados em classes maiores (agregados $\geq$ 25,4 mm); o preparo primário do solo com enxada rotativa e grade aradora causam maior desagregação do solo, deixando os agregados com dimensões < 25,4 mm, no entanto, o maior percentual de agregados < 4,75 mm (entre 50,3 e 57,3%) é adequado para o bom desenvolvimento das culturas; para o arado de disco há maior uniformidade de tamanho de agregados entre todas as classes (CARVALHO FILHO et al., 2007).

A manutenção do bom estado de agregação e estabilidade dos agregados e, consequentemente, da boa estrutura é condição primordial para garantir altas produtividades agrícolas (SILVA & MIELNICZUK, 1997). Com isso, o presente trabalho objetivou verificar as alterações na agregação de um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico, provocadas pelos equipamentos utilizados no preparo periódico.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na área experimental da Universidade Federal de Viçosa, *Campus* Rio Paranaíba, localizada na posição geográfica (19º 12’ 43” S e 46º 07’ 56” W) e na altitude de 1128 m, na bacia do Rio São Francisco, região do Alto Paranaíba, município de Rio Paranaíba (MG).

Esse município se caracteriza por apresentar clima temperado úmido, com duas estações muito bem definidas, com verão moderadamente quente e chuvoso e com inverno seco e frio, sendo classificado pela escala de Köeppen como Cwb. A temperatura média é de 20,4 ºC e a pluviosidade média anual de 1570 mm.

O experimento foi instalado em novembro de 2014, em um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (LVAd) com 31,0 g dm^{-3} de matéria orgânica, 440 g kg^{-1} de argila e densidade média na camada arável igual a 0,99 kg dm^{-3} (EMBRAPA, 2006). O solo possui relevo com declividade de 3% e cobertura vegetal natural de Cerrado. Anteriormente foi cultivado com aveia (*Avena sativa*) para a cobertura do solo durante o período de inverno na sucessão com pastagem de braquiária degradada, implantada há mais de 6 anos, sem renovação e em pousio. O preparo do solo para o cultivo da aveia foi realizado com o mesmo delineamento experimental utilizado nesse trabalho.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente ao acaso, com 5 tratamentos e 4 repetições, totalizando 20 unidades experimentais. Cada unidade experimental teve o dimensionamento de 100 m² (10 x 10 m). Foram deixados carreadores com 10 m longitudinalmente e 10 m transversamente entre as unidades experimentais para manobra e regulagem dos equipamentos.

Os tratamentos foram:

T1 – Preparo primário do solo com arado de aivecas reversível, modelo A-3, marca MASCHIETTO®, montado, equipado com três aivecas recortadas, com largura de corte de 1350 mm, com massa de 570 kg, trabalhando a 300 mm de profundidade e velocidade de trabalho de 5,0 km h^{-1};

T2 – Preparo primário do solo com arado de discos, modelo AF-3, marca BALDAN®, montado, equipado com três discos côncavos lisos (Ø 28" x 6,0 mm), com ângulo vertical de 20º, com ângulo horizontal de 50º, com largura de corte de 900 mm, com massa de 402 kg, trabalhando a 200 mm de profundidade e velocidade de trabalho de 5,0 km h^{-1};

T3 – Preparo primário do solo com grade aradora intermediária, modelo GAC300, marca KÖHLER®, de arrasto, tipo off set, equipado com 14 discos côncavos recortados (Ø 30" x 6,0 mm), com largura de corte de 1920 mm, com massa de 1690 kg, trabalhando a 150 mm de profundidade e velocidade de trabalho de 5,0 km h^{-1};

T4 – Preparo primário do solo com escarificador, modelo Jumbo Matic Hidráulico, marca JAN®, com discos de corte e rolo destorroador nivelador, equipado com cinco hastes parabólicas e ponteiras sem asa, com largura de trabalho de 2000 mm, com massa de 645 kg, trabalhando até 200 mm de profundidade e velocidade de trabalho de 5,0 km h^{-1};

T5 – Preparo primário do solo com enxada rotativa, modelo ERP 200 B, marca MEC-RUL®, montada, equipado com oito flanges e quarenta e oito lâminas velozes, com massa de 443 kg, com largura de corte de 2000 mm, regulada com a tampa abaixada, trabalhando até 100 mm de profundidade e velocidade de trabalho de 5,0 km h^{-1}.

Foi adotado o preparo secundário para os arados (T1 e T2) e para a grade aradora intermediária (T3), com duas gradagens para destorroamento e nivelamento após o

preparo primário. Utilizou-se a mesma grade aradora adotada no preparo primário, modelo GAC300, marca KÖHLER®. Para os tratamentos com o escarificador (T4) e enxada rotativa (T5) não foi adotado o preparo secundário do solo. A profundidade de trabalho escolhida em cada equipamento foi a mesma utilizada pelos produtores da região.

Em todas operações mecanizadas utilizou-se o trator New Holand TL85E, 4x2 TDA, com potência de 88 cv e transmissão 12x12 Power Shuttle. A umidade do solo no momento dos preparos primário e secundário foi, respectivamente, de 21 e 27%.

Para avaliar a percentagem de agregados retidos por classe de tamanho (Pa), o módulo de finura (MF), o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados, foram coletadas amostras na camada mobilizada, em dois momentos: após os preparos primário e após o preparo secundário do solo. Em cada parcela foram retiradas três amostras com o auxílio de uma armação retangular de ferro, para compor a média da unidade experimental.

As amostras foram cuidadosamente colocadas e transportadas em sacos de papel para serem secadas ao ar até a estabilização da umidade. Posteriormente, foram usadas sub amostras de 100 cm^3 para serem peneiradas imersas em água em um agitador para separação de agregados, da marca MARCONI®, modelo MA148/3, com peneiras de aberturas de 4,75; 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,106 mm, por um período de 10 minutos e reostato na posição 8, com rotação de 30 ciclos por minuto. O sistema de agitação é pendular com três suportes para o jogo de peneiras, do tipo perpendicular e amplitude de oscilação de aproximadamente 4 cm. As frações obtidas em cada malha foram secadas em estufa a 105ºC até obtenção da massa constante e pesadas em balança com precisão de 0,01 g. Uma amostra dos agregados secos ao ar foi usada para determinar a umidade residual do solo e corrigir a massa total seca para massa total úmida dos agregados.

Os valores da percentagem de agregados retidos por classe de tamanho (Pa) foi obtida por meio da Equação 8:

$$Pa = \frac{Mi}{\sum iMi} \times 100 \quad (8)$$

Em que:

Pa = percentagem de agregados retido por classe de tamanho (%);

Mi = massa retida por classe de tamanho (g).

O módulo de finura (MF) foi obtido por meio da Equação 9:

$$MF = \frac{\sum percentagens\ acumuladas}{100} \quad (9)$$

Em que:

MF = Módulo de finura

Os valores do diâmetro médio ponderado (DMP) foram determinados de acordo com Vieira (1992), através da Equação 10:

$$DMP = \frac{\sum i(Mi.Xi)}{\sum iMi} \quad (10)$$

Em que:

DMP = diâmetro médio ponderado (mm);

Mi = massa do solo retirada em cada peneira (g);

Xi = diâmetro do orifício da peneira correspondente a cada *Mi* (mm).

Os valores do diâmetro médio geométrico (DMG) foram determinados de acordo com Gupta & Larson (1982), através da Equação 11:

$$DMG = antilog\left[\frac{\sum i(Mi.logdi)}{\sum iMi}\right] \quad (11)$$

Em que:

DMG = diâmetro médio geométrico (mm);

Mi = massa do solo retida em cada peneira (g);

di = tamanho médio da classe (mm).

Todos os dados foram analisados estatisticamente, submetidos à análise de variância e, quando necessário, comparados por meio do teste de médias de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa estatístico SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2010).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Distribuição percentual por tamanho dos agregados

Não ocorreu diferença na percentagem média de agregados do solo entre os equipamentos usados no preparo periódico do solo, o qual teve um coeficiente de variação de 30,1 e 28,5% após os preparos primário e secundário, respectivamente (Tabela 5).

Por meio da análise dos dados é possível observar a predominância de agregados com tamanho de 0,50 a 1,00 mm após o preparo primário do solo nos tratamentos com enxada rotativa e arado de discos, e após o preparo secundário do solo no tratamento com arado de discos. No tratamento com arado de discos, após o preparo secundário, houve aumento do percentual de agregados com tamanho entre 2,00 a 4,75 mm, ao ponto de diferenciar do número de agregados com tamanho entre 1,00 a 2,00 mm.

No tratamento com arado de aivecas, após o preparo primário do solo, o percentual de agregados com tamanho entre 0,50 a 1,00 mm não foi diferente do número de agregado com tamanho entre 2,00 a 4,75 mm e menor que 4,75 mm, totalizando, juntas, 70% de representatividade de agregados. Após o preparo secundário, o tratamento com arado de aivecas houve uma maior diferença entre as classes de tamanho de agregados, com destaque para a redução do número de agregados com tamanho pequeno, entre 0,25 a 0,50 mm.

No tratamento com grade aradora intermediária, o número de agregados com tamanho entre 0,50 a 1,00 mm não foi diferente do número de agregado com tamanho entre 2,00 a 4,75 mm. Após o preparo secundário, notou-se redução do número de agregados com tamanho maior que 4,75 mm e um aumento no tamanho de agregado com tamanho entre 2,00 a 4,75 mm.

Comparando-se os valores relativos a cada classe de tamanho em todos os tratamentos, verifica-se a seguinte ordem crescente da percentagem média de agregados por classe de tamanho: 0,25 a 0,50 mm < 1,00 a 2,00 mm < > 4,75 mm < 2,00 a 4,75 mm < 0,50 a 1,00 mm (Figuras 9 e 10).

Tabela 5 – Percentagem média de agregados (%) retidos por classes de tamanho, após os preparos primário e secundário, em função do equipamentos usados em LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico

Classes	Após o preparo primário do solo				
(mm)	Arado de Discos	Arado de Aiveca	Grade Aradora	Escarificador	Enxada Rotativa
> 4,75	14,75 bc	19,31 ab	18,47 bc	17,92 bc	10,38 c
2,00 a 4,75	21,94 b	22,20 ab	26,94 ab	27,60 ab	22,22 b
1,00 a 2,00	13,20 bc	14,76 b	12,35 c	11,56 c	14,13 bc
0,50 a 1,00	40,19 a	29,54 a	35,21 a	35,96 a	43,83 a
0,25 a 0,50	9,92 c	14,20 b	7,02 c	6,96 c	9,43 c
Classes	Após o preparo secundário do solo				
(mm)	Arado de Discos	Arado de Aiveca	Grade Aradora	Escarificador	Enxada Rotativa
> 4,75	15,29 bc	22,08 bc	16,62 b	-	-
2,00 a 4,75	26,11 b	29,75 ab	30,00 a	-	-
1,00 a 2,00	13,39 c	11,31 cd	11,39 bc	-	-
0,50 a 1,00	39,64 a	33,07 a	38,80 a	-	-
0,25 a 0,50	5,57 c	3,78 d	3,19 c	-	-

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O percentual de agregados com tamanho abaixo de 1 mm foi de 53, 50, 44, 43 e 42% para o preparo primário utilizando enxada rotativa, arado de discos, arado de aivecas, escarificador e grade arado, respectivamente (Tabela 6). A maior percentagem de agregado com tamanho < 1,0 mm chama a atenção para o risco de erosão e degradação desse solo, principalmente com a intensificação do sistema de preparo por vários anos consecutivos, como foi verificado por Assis & Lanças (2010) em um NITOSSOLO.

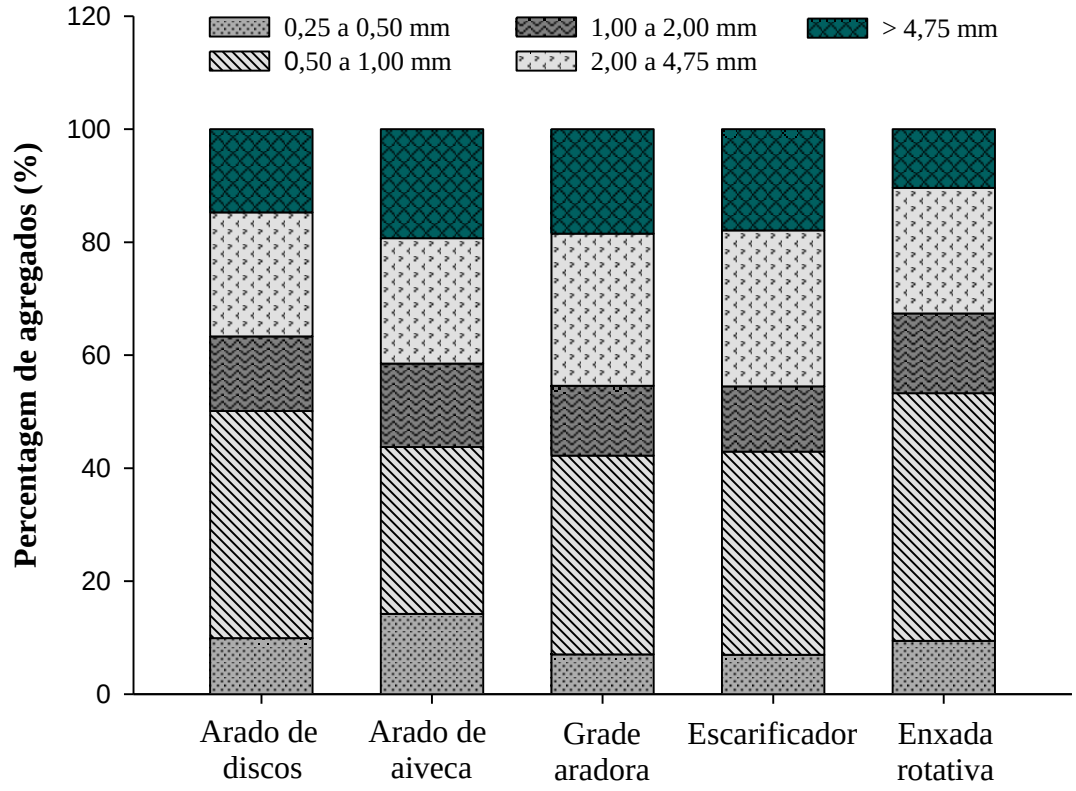

Figura 9. Distribuição percentual acumulada de agregados (%) por classe de tamanho em função dos equipamentos adotados no preparo primário do solo.

Foi verificado grande percentual de agregados com tamanho menor que 4,75 mm. Nos tratamentos com enxada rotativa, arado de discos, escarificador, grade aradora intermediária e arado de aivecas, foi observado, respectivamente, 90, 85, 82, 82 e 81% dos agregados do solo enquadrados abaixo dessa classe, o que segundo BRAUNACK & DEXTER (1989), é adequado para o bom desenvolvimento e produção de várias culturas. Porém, agregados maiores atendem a um dos requisitos do manejo conservacionista do solo, uma vez que os agregados grandes conferem ao solo maior estruturação e resistência contra a erosão (LLANILLO et al., 2006).

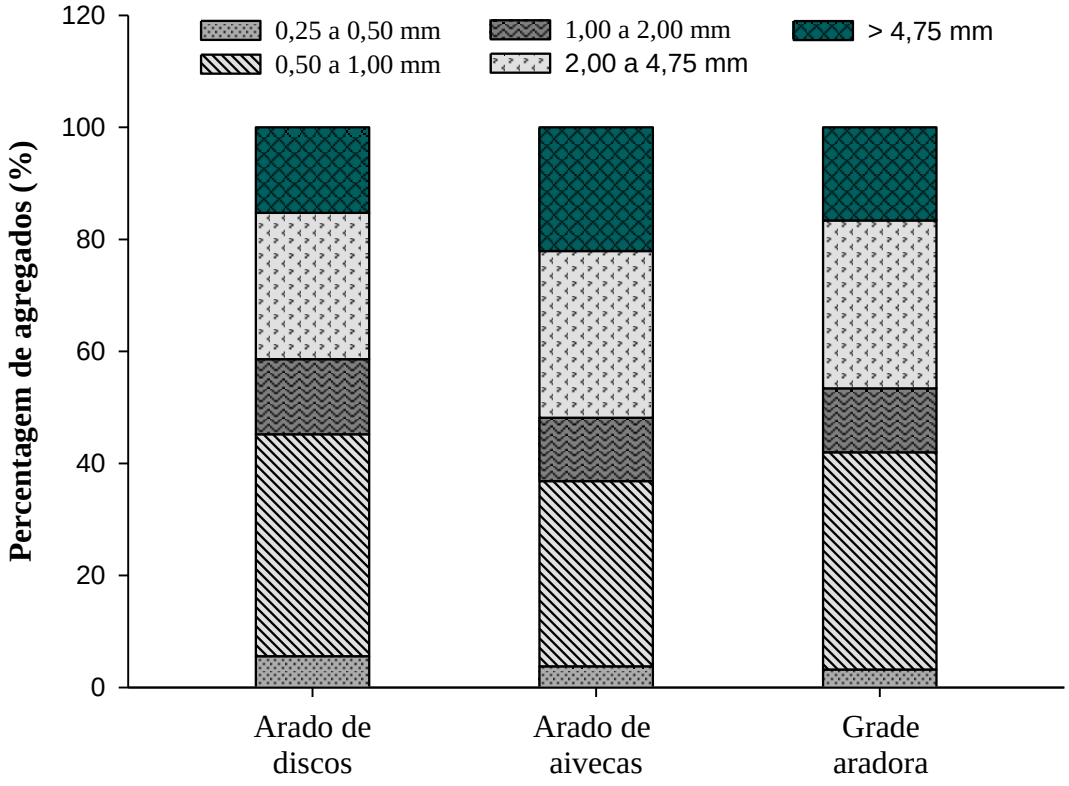

Figura 10. Distribuição percentual acumulada de agregados (%) por classe de tamanho em função dos equipamentos adotados no preparo primário e avaliados após o preparo secundário do solo.

Sugere-se como adequado, o sistema de preparo que promova maior ocorrência de agregado com tamanho entre 1,0 a 4,75 mm. Verifica-se que o percentual de agregado com tamanho entre 1,0 a 4,75 mm após o preparo primário foi de 39, 39, 37, 36 e 35% para escarificador, grade aradora intermediária, arado de aiveca, enxada rotativa e arado de discos, respectivamente. Após o preparo secundário do solo foi verificado o percentual de agregado com tamanho entre 1,0 a 4,75 mm de 41, 41 e 39% para os tratamentos com arado de aiveca, grade aradora intermediária e arado de discos, respectivamente.

Tabela 6 – Percentagem média acumulada de agregados (%) retidos por classes de tamanho, após os preparos primário e secundário, em função do equipamentos usados em LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico

Classes	Após o preparo primário do solo				
(mm)	Arado de Discos	Arado de Aiveca	Grade Aradora	Escarificador	Enxada Rotativa
> 4,75	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2,00 a 4,75	85,25	80,69	81,53	82,08	89,62
1,00 a 2,00	63,31	58,49	54,59	54,48	67,40
0,50 a 1,00	50,11	43,73	42,24	42,92	53,27
0,25 a 0,50	9,92	14,19	7,02	6,96	9,43
Classes	Após o preparo secundário do solo				
(mm)	Arado de Discos	Arado de Aiveca	Grade Aradora	Escarificador	Enxada Rotativa
> 4,75	100,00	100,00	100,00	-	-
2,00 a 4,75	84,71	77,92	83,38	-	-
1,00 a 2,00	58,60	48,17	53,38	-	-
0,50 a 1,00	45,21	36,86	41,99	-	-
0,25 a 0,50	5,57	3,78	3,19	-	-

Diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico e modulo de finura

Os tratamentos não causaram diferença significativa no diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico e módulo de finura após os preparos primário e secundário do solo. Nas figuras 11 e 12 são apresentados os dados do diâmetro médio ponderado avaliados após os preparos primário e secundário, respectivamente, os quais tiveram um coeficiente de variação igual a 16,5 e 15,2%, respectivamente.

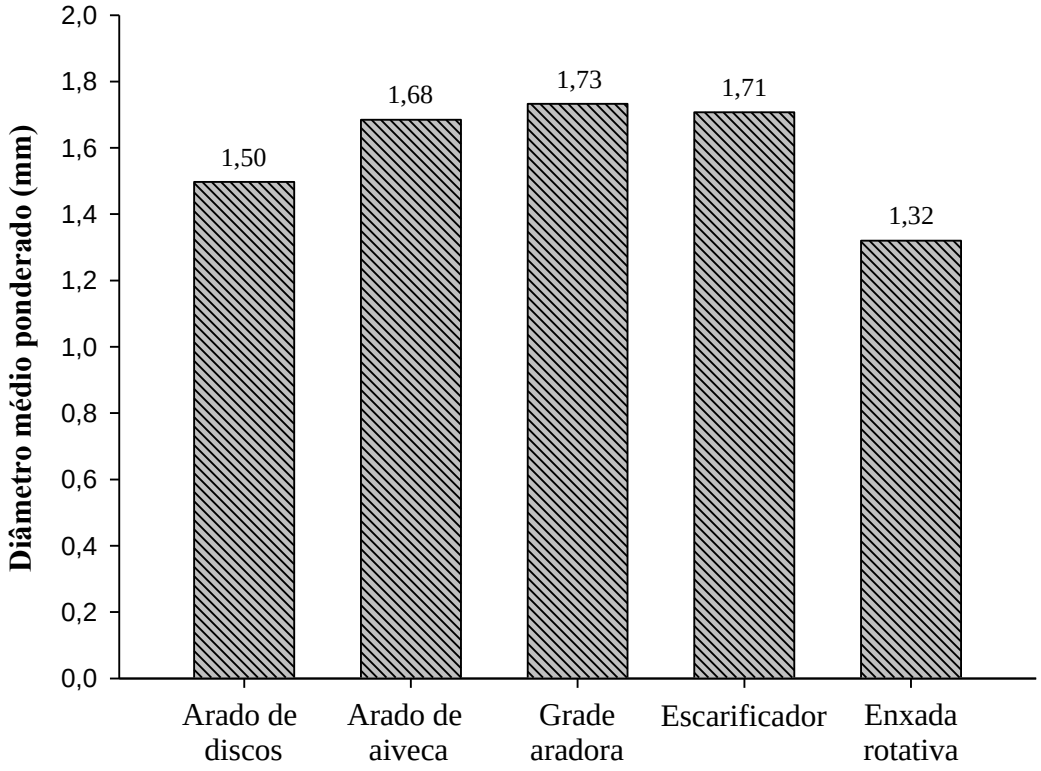

Figura 11. Diâmetro médio ponderado (mm) dos agregados em função dos equipamentos adotados no preparo primário do solo.

Os baixos valores de diâmetro médio geométrico e do módulo de finura encontrados em todos os sistemas de preparo (Figuras 13 e 14) é um fator positivo no desenvolvimento das culturas. Valores de diâmetro médio geométrico menores que 5 mm, melhoram o contato solo-semente, e são desejáveis para várias culturas, entretanto quando menores esses valores maior será a predisposição do solo à erosão (BRAUNACK & DEXTER, 1989).

Os coeficientes de variação do diâmetro médio geométrico e do módulo de finura após o preparo primário foram, respectivamente, 0,7 e 7,3%, e os coeficientes de variação do diâmetro médio geométrico e do módulo de finura após o preparo secundário foram, respectivamente, 1,1 e 6,6%.

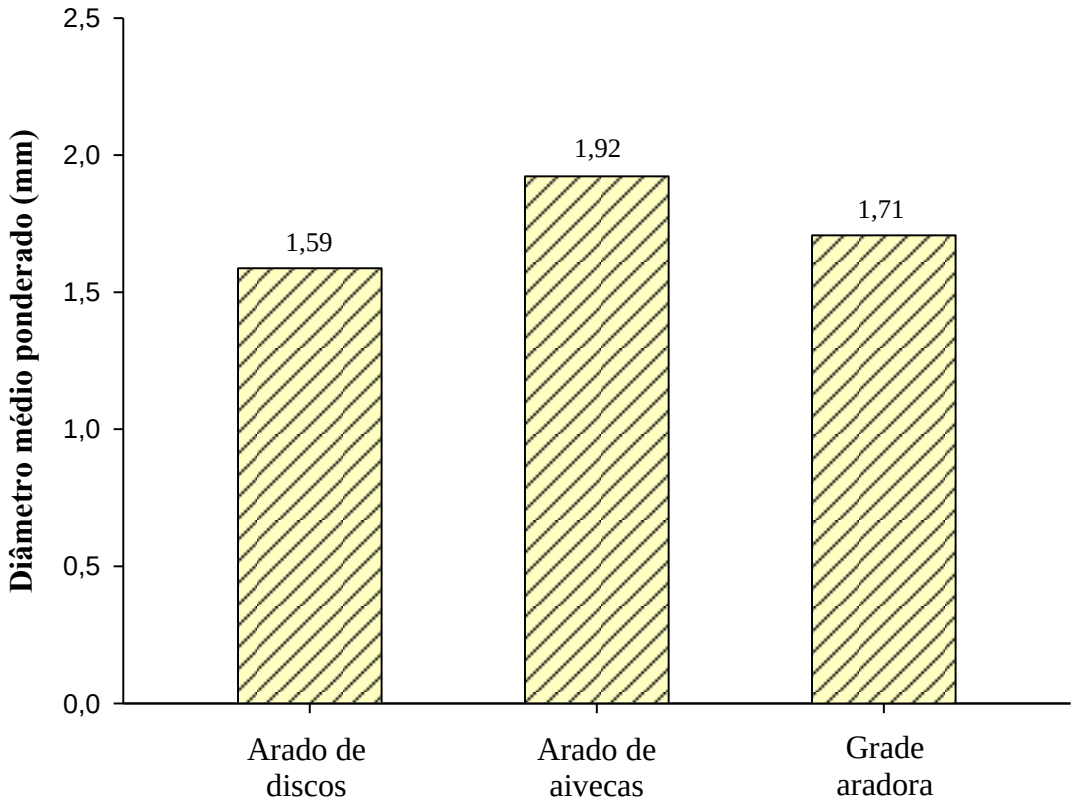

Figura 12. Diâmetro médio ponderado (mm) dos agregados em função dos equipamentos adotados no preparo primário e avaliado após o preparo secundário do solo.

A falta de significância na diferença do diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico e módulo de finura em função dos equipamentos usados no preparo periódico do solo pode estar relacionada com o período de tempo relativamente curto de condução do experimento. Para que tal diferença seja expressa em maior magnitude sugere-se a condução do experimento por mais anos consecutivos.

Coan (1995) estudando os sistemas de preparo sobre a mobilização do solo em um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférrico também não observou diferenças significativas no diâmetro médio geométrico e no módulo de finura entre equipamentos similares aos desse trabalho.

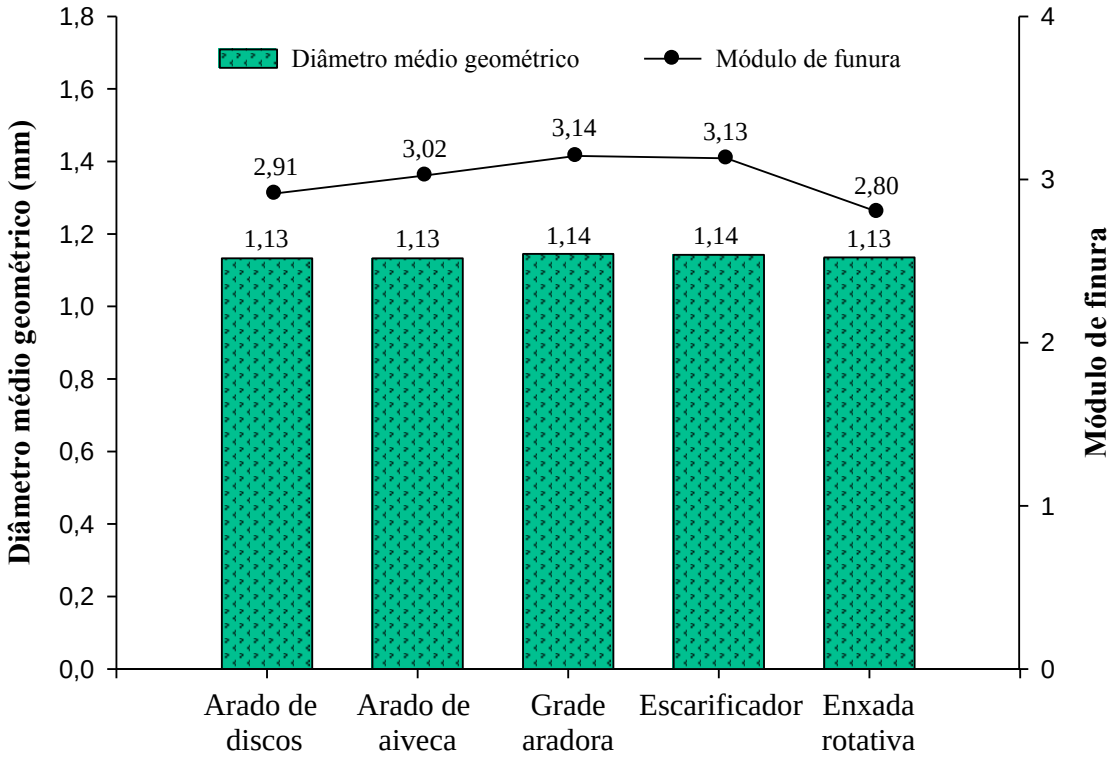

Figura 13. Diâmetro médio geométrico (mm) e módulo de finura dos agregados em função dos equipamentos adotados no preparo primário do solo.

A literatura apresenta numerosos trabalhos que buscam caracterizar a estrutura do solo por meio da análise dos agregados. Considerando que os propósitos dessas análises são diferentes, uma variedade de procedimentos distintos têm sido usados, muitas vezes também em função dos métodos analíticos encontrados nos diversos laboratórios, tais como: tipo de peneiramento, número e tipos de peneiras, tempo e velocidade de agitação, e ainda, padronização do conteúdo de água na amostra quando é realizado o pre-umedecimento. A grande dificuldade da análise de agregados está justamente na definição da melhor maneira de expressar os seus resultados e também compará-los com os dados da literatura.

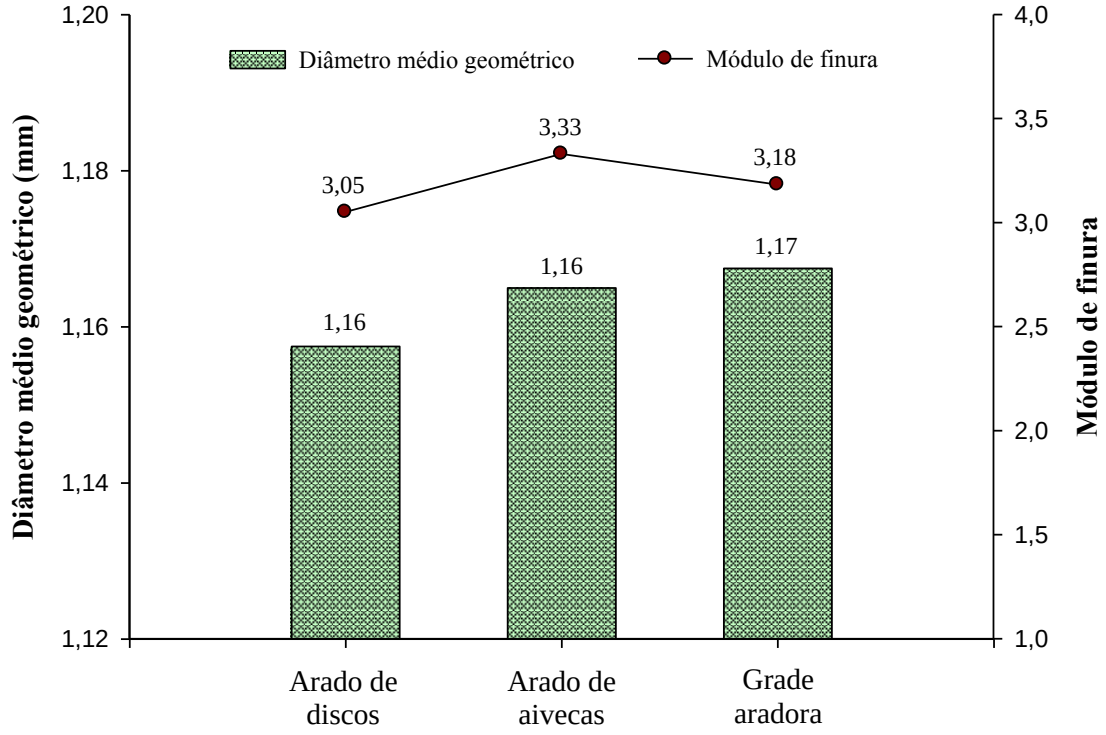

Figura 14. Diâmetro médio geométrico (mm) e módulo de finura dos agregados em função dos equipamentos adotados no preparo primário e avaliado após o preparo secundário do solo.

É fundamental a padronização da metodologia para o estudo de agregados do solo, como sugerido por Gamero (1989), que possibilite a obtenção de uma melhor amostra da camada de solo mobilizada e um processo de peneiramento que pouco influencia na desagregação dos torrões. Porém, dependendo do número e do tamanho da malha das peneiras, algumas metodologia tem levado a um valor de diâmetro médio geométrico bastante elevado, como os valores médios de 26,26 mm, encontrado por Siqueira (1999) após aração em solo com cobertura de aveia preta triturada, 16,62 e 15,5 mm obtidos por Gabriel Filho (1998) e Levien (1999), respectivamente. Essas pesquisas ainda têm

apresentado elevado coeficiente de variação (de 25 a 55%), o que prejudica a diferenciação estatística e a correta interpretação dos resultados.

3.4 CONCLUSÕES

Os baixos valores de diâmetro médio geométrico, do diâmetro médio ponderado, e do módulo de finura encontrados em todos os sistemas de preparo são favoráveis para o desenvolvimento das culturas, estando abaixo de 5 mm, melhorando o contato solo-semente, entretanto esses valores deixa o solo predisposto à erosão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, R. L. de & LANÇAS, K. P. Agregação de um Nitossolo Vermelho distroférrico sob sistemas de plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Eng. Agríc**., 30: 58-66, 2010.

BRAUNACK, W.A.; DEXTER, A.R. Soil aggregation in the seedbed: a review. II. Effect of aggregate sizes on plant growth. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.14, n.3, p.281-98, 1989.

CARVALHO FILHO, A.; DA SILVA, R. P.; CENTURION, J. F.; CARVALHO, L. C. C.; LOPES, A. Agregação de um latossolo vermelho submetido a cinco sistemas de preparo do solo em Uberaba-MG. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 317-325, 2007.

COAN, O. **Sistemas de preparo de solo: efeitos sobre a camada mobilizada e no comportamento das culturas do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) e do milho (Zea mays L.), conduzidas em rotação**. 1995. 138 p. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1995.

DICKEY, E.C.; SIEMENS, J.C.; JASA, P.J.; HOFMAN, V.L.; SHELTON, D.P. Tillage system definitions. In: _____. **Conservation tillage systems and management: crop residue management with no-till, ridge-till, mulch-till**. Ames: Midwest Plan Service, 1992. p. 5-7.

DOMZAL, A.; SLOWINSKA-JURKIEWICZ, A. Effect of tillage and wheather condition on the structure and physical properties of soil and yield of winter wheat. **Soil & Tillage Research**, v.10, p.225-241, 1987.

EMBRAPA. **Irrigação por aspersão em hortaliças: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo**. Brasília: Embrapa Hortaliças, p.111, 2008.

EMBRAPA.EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa dos solos. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília, 412 p. 2006.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. **Física do solo**. SBCS, Viçosa, v. 1, p. 1-27, 2010.

FERREIRA, D. F. SISVAR 5.3. **Sistema de Análises Estatísticas**. Lavras: UFLA, 2010.

GABRIEL FILHO, A. **Avaliação de cinco formas geométricas de corpos de arados no preparo de dois tipos de solos e do comportamento da cultura do milho (Zea mays L.)**. Botucatu, 1998. 134p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

GAMERO, C.A. Desagregação do solo em diferentes métodos de preparo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 18., 1989, Recife. **Anais**... Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1989. p.254-67.

GUPTA, S. C.; LARSON, W. E. Modeling soil mechanical behavior during tillage. In: **American society of agronomy**. Predicting tillage effects on soil physical properties and processes. Madison: Soil Science Society of America, 1982. p.151-78.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. **Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling**. Methodsofsoilana, p. 499-510, 1965.

LEVIEN, R. **Condições de cobertura e métodos de preparo do solo para a implantação da cultura do milho (Zea mays L.)**. Botucatu, 1999. 305p. Tese

(Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

LLANILLO, R. F.; RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; DE FÁTIMA GUIMARÃES, M.; FERREIRA, R. R. M. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 27, n. 2, p. 205-220, 2006.

NIERO, L. A. C.; DECHEN, S. C. F.; COELHO, R. M. & DE MARIA, I. C. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho distroférrico com usos e manejos distintos. **R. Bras. Ci. Solo**, 34: 1271-1282, 2010.

RACZKOWSKI, C. W.; MUELLER, J. P.; BUSSCHER, W. J.; BELL, M. C. & MC GRAW, M. L. Soil physical properties of agricultural systems in a large scale study. **Soil Till. Res**., 119: 50-59, 2012.

SILVA, I.F. & MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **R. Bras. Ci. Solo**, 21: 313-319, 1997

SIQUEIRA, R. **Sistemas de preparo em diferentes tipos de coberturas vegetais do solo**. Botucatu, 1999. 191p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

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

VIEIRA, L. B. **Análisis de los factores que influyen en el comportamiento de un motocultor con apero rotativo en el laboreo del suelo**. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, 1992. 221 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, 1992.

WATANABE, S. H.; TORMENA, C. A.; ARAUJO, M. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; PINTRO, J. C.; SARAIVA DA COSTA, A. C.; MUNIZ, A. S. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico influenciadas por sistemas de preparo do solo utilizados para implantação da cultura da mandioca. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 24, p. 1255-1264, 2008.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Agronomy Journal**, v. 28, n. 5, p. 337-351, 1936.

4 Efeito de diferentes sistemas de preparo do solo na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill)

Urbano Teixeira Guimarães e Silva[1], Alberto Carvalho Filho[2]

RESUMO – A produtividade de uma cultura é definida pela interação entre a planta, o ambiente de produção e o manejo. Com o objetivo de avaliar o desenvolvimento da soja, em função do sistema de preparo do solo, foi instalado um experimento em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, com textura argilosa, no município de Rio Paranaíba – MG. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, com 5 tratamentos e 4 repetições, tendo como tratamentos o preparo primário do solo com: arado de aivecas, arado de discos, grade aradora intermediária, escarificador e enxada rotativa. Foram avaliados: número médio de dias para emergência de plântulas, população inicial e final da cultura, índice de sobrevivência, altura média das plantas e da inserção da primeira vagem e produtividade da cultura. Os sistemas de preparo periódico do solo não influenciaram o número médio de dias para emergência de plântulas, a população inicial, a população final, o índice de sobrevivência, a altura de inserção da primeira vagem, o número médio de vagens por planta e a produtividade da cultura da soja. Os arados de discos e aivecas ocasionam maior tamanho de planta em comparação ao escarificador.

Palavras-chave: altura de inserção da primeira vagem, índice de sobrevivência, produtividade, velocidade de emergência

[1]Programa de Pós-graduação em Agronomia, Produção Vegetal, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, Rodovia MG 230, km 7, caixa postal 22, Rio Paranaíba, MG, Brasil. E-mail:urbanoguimaraes@gmail.com. *Autor para correspondência.
[2]Instituto de Ciência Agrárias, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, MG, Brasil.

4 Effects of soil tillage systems in soybean crop (*Glycine max* (L.) Merrill)

Urbano Teixeira Guimarães e Silva[1], Alberto Carvalho Filho[2]

ABSTRACT – Crop yield is defined by the interaction among plants, production environment and management. With the objective of evaluate the development of soybean, depending on tillage system, an experiment was conducted in Red-Yellow Latossol dystrophic, clayey, in the city of Rio Paranaíba - MG. The experimental design was completely randomized with 5 treatments and 4 replications, with the treatments the primary tillage with: moldboard plow, disk harrow, disk plow, chisel plow and rotary hoe. Were evaluated: average number of days to seedling emergence, initial and final population of culture, survival rate, plant height and first pod and crop yield. The of soil tillage systems did not affect the mean number of days for seedling emergence, the initial population, the final population, the survival rate, the first pod height, number of pods per plant and productivity soybean crop. Moldboard plow and disk harrow causes larger plant size compared with the chisel plow.

Keywords: emergence speed, height of the first bean, productivity, survival rates

[1]Programa de Pós-graduação em Agronomia, Produção Vegetal, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, Rodovia MG 230, km 7, caixa postal 22, Rio Paranaíba, MG, Brasil. E-mail:urbanoguimaraes@gmail.com. *Autor para correspondência.
[2]Instituto de Ciência Agrárias, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, MG, Brasil.

4.1 INTRODUÇÃO

A cultura da soja é a principal commodity agrícola das exportações brasileiras e a maior responsável pelo aumento da colheita nacional de grãos. Atualmente, a cadeia produtiva da soja é o carro-chefe do agronegócio brasileiro, colocando o país como o segundo maior produtor mundial de soja, com 95 milhões de toneladas produzidas, e confirmando-o como o maior exportador de soja do mundo (USDA, 2015).

Em Minas Gerais, as regiões do Triângulo e Alto Paranaíba são as que mais se destacam na produção e processamento da soja. As exigências dessa cultura em termos de mecanização e uso de insumos modernos, têm, cada vez mais, garantido às regiões de cerrado a liderança na produção dessa oleaginosa. Essas regiões são caracterizas por possuirem extensas áreas com topografia que favorecem a prática da mecanização agrícola. A especialização das fazendas produtoras nessa região tem levado ao uso intensivo da mecanização agrícola e de novos insumos.

Pesquisas têm demonstrado que, com a utilização da técnica de plantio direto, pode-se obter produtividades tão boas ou, em alguns casos, até melhores do que os métodos tradicionais de preparo do solo e de semeadura. Porém, em alguns casos, o sistema de produção da soja conta com os equipamentos de preparo periódico do solo, como, por exemplo, em sistemas de rotação de cultura com hortaliças na região do Alto Paranaíba.

Para o cultivo da soja, deve-se considerar o clima da região para a definição da melhor época de semeadura, bem como as condições de solo necessárias que permitem a adequada deposição das sementes e adubos, e que proporcionem melhor emergência e desenvolvimento das plantas, resultando em maiores produtividades (EMBRAPA, 2011).

Os solos agrícolas funcionam como um sistema complexo que retém e transmite água, ar, nutrientes e calor às sementes e plantas, de maneira que é fundamental um ambiente físico favorável ao crescimento radicular, para maximizar a produção da cultura (LETEY, 1985). O preparo periódico do solo é uma das etapas mais importantes dentro do manejo do solo e visa diminuir o tamanho dos agregados, melhorando a infiltração de água, a aeração e criando condições favoráveis à germinação das sementes e desenvolvimento das plantas (MAZUCHOWSKI & DERPSCH, 1984).

Considerando que o desenvolvimento vegetal depende do sistema de preparo do solo, o presente trabalho objetivou avaliar os efeitos de diferentes sistemas de preparo periódico do solo na cultura da soja.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na área experimental da Universidade Federal de Viçosa, *Campus* Rio Paranaíba, localizada na posição geográfica (19º 12’ 43” S e 46º 07’ 56” W) e na altitude de 1128 m, na bacia do Rio São Francisco, região do Alto Paranaíba, município de Rio Paranaíba (MG).

Esse município se caracteriza por apresentar clima temperado úmido, com duas estações muito bem definidas, com verão moderadamente quente e chuvoso e com inverno seco e frio, sendo classificado pela escala de Köeppen como Cwb. A temperatura média é de 20,4 ºC e a pluviosidade média anual de 1570 mm.

O experimento foi instalado em novembro de 2014, em um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (LVAd) com 31,0 g dm^{-3} de matéria orgânica, 440

g kg^{-1} de argila e densidade média na camada arável igual a 0,99 kg dm^{-3} (EMBRAPA, 2006). O solo possui relevo com declividade de 3% e cobertura vegetal natural de Cerrado. Anteriormente foi cultivado com aveia (*Avena sativa*) para a cobertura do solo durante o período de inverno na sucessão com pastagem de braquiária degradada, implantada há mais de 6 anos, sem renovação e em pousio. O preparo do solo para o cultivo da aveia foi realizado com o mesmo delineamento experimental utilizado nesse trabalho.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente ao acaso, com 5 tratamentos e 4 repetições, totalizando 20 unidades experimentais. Cada unidade experimental teve o dimensionamento de 100 m^2 (10 x 10 m). Foram deixados carreadores com 10 m longitudinalmente e 10 m transversamente entre as unidades experimentais para manobra e regulagem dos equipamentos.

Os tratamentos foram:

T1 – Preparo primário do solo com arado de aivecas reversível, modelo A-3, marca MASCHIETTO®, montado, equipado com três aivecas recortadas, com largura de corte de 1350 mm, com massa de 570 kg, trabalhando a 300 mm de profundidade e velocidade de trabalho de 5,0 km h^{-1};

T2 – Preparo primário do solo com arado de discos, modelo AF-3, marca BALDAN®, montado, equipado com três discos côncavos lisos (Ø 28" x 6,0 mm), com ângulo vertical de 20º, com ângulo horizontal de 50º, com largura de corte de 900 mm, com massa de 402 kg, trabalhando a 200 mm de profundidade e velocidade de trabalho de 5,0 km h^{-1};

T3 – Preparo primário do solo com grade aradora intermediária, modelo GAC300, marca KÖHLER®, de arrasto, tipo off set, equipado com 14 discos côncavos recortados

(Ø 30” x 6,0 mm), com largura de corte de 1920 mm, com massa de 1690 kg, trabalhando a 150 mm de profundidade e velocidade de trabalho de 5,0 km h^{-1};

T4 – Preparo primário do solo com escarificador, modelo Jumbo Matic Hidráulico, marca JAN®, com discos de corte e rolo destorroador nivelador, equipado com cinco hastes parabólicas e ponteiras sem asa, com largura de trabalho de 2000 mm, com massa de 645 kg, trabalhando até 200 mm de profundidade e velocidade de trabalho de 5,0 km h^{-1};

T5 – Preparo primário do solo com enxada rotativa, modelo ERP 200 B, marca MEC-RUL®, montada, equipado com oito flanges e quarenta e oito lâminas velozes, com massa de 443 kg, com largura de corte de 2000 mm, regulada com a tampa abaixada, trabalhando até 100 mm de profundidade e velocidade de trabalho de 5,0 km h^{-1}.

Foi adotado o preparo secundário para os arados (T1 e T2) e para a grade aradora intermediária (T3), com duas gradagens para destorroamento e nivelamento após o preparo primário. Utilizou-se a mesma grade aradora adotada no preparo primário, modelo GAC300, marca KÖHLER®. Para os tratamentos com o escarificador (T4) e enxada rotativa (T5) não foi adotado o preparo secundário do solo. A profundidade de trabalho escolhida em cada equipamento foi a mesma utilizada pelos produtores da região.

Em todas operações mecanizadas utilizou-se o trator New Holand TL85E, 4x2 TDA, com potência de 88 cv e transmissão 12x12 Power Shuttle. A umidade do solo no momento dos preparos primário e secundário foi, respectivamente, de 21 e 27%.

A fertilidade do solo foi previamente avaliada para a implantação da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), cujos os resultados foram: pH (H_2O) = 6,0, pH ($CaCl_2$) = 5,4; M.O. = 31,0 g dm^{-3}; P (Mehlich) = 14,4 mg dm^{-3}; P (Resina) = 15,0 mg dm^{-3}, K^+ = 0,10 $cmol_c$ dm^{-3}; Ca^{++} = 3,1 $cmol_c$ dm^{-3}; Mg^{++} = 1,00 $cmol_c$ dm^{-3}; V = 57,5%, bem como 48, 512 e 440 g kg^{-1} de areia, silte e argila, respectivamente. Os resultados indicaram não

haver necessidade de calagem. No plantio da soja foi utilizado adubo formulado (N-P-K) para manutenção com base nos resultados da análise do solo (EMBRAPA, 2010). O plantio foi realizado em dezembro de 2014. Utilizou-se sementes da variedade TMG 1264 RR, tratadas e inoculadas pela empresa fornecedora.

O índice de velocidade de emergência (IVE) foi determinado por meio da contagem diária de todas as plântulas emergidas em três linhas de plantio, com 0,2 m de comprimento, dentro de cada parcela. Foi considerada como plântula emergida aquela que germinou e emergiu sobre o solo, podendo ser vista de algum ângulo qualquer. A contagem foi realizada até o número total de plântulas se tornar constante em cada parcela por três dias consecutivos, de acordo com a equação proposta por Edmond & Drapala (1958) (Equação 12):

$$IVE = \frac{(N1.G1) + (N2.G2) + \cdots + (Nn.Gn)}{G1 + G2 + \cdots + Gn} \quad (12)$$

Em que:

IVE = índice de velocidade de emergencia (dias);

N1 = número de dias decorridos entre a semeadura e a primeira contagem de plântulas;

G1 = número de plântulas emergidas na primeira contagem;

N2 = número de dias decorridos entre a semeadura e a segunda contagem de plântulas;

G2 = número de plântulas emergidas na segunda contagem;

Nn = número de dias decorridos entre a semeadura e a última contagem de plântulas;

Gn = número de plântulas emergidas na última contagem.

A população inicial foi obtida através da conversão do valor da última contagem de plântulas em cada parcela para número de plantas por hectare, enquanto que a determinação da população final foi obtida imediatamente antes da colheita. O índice de sobrevivência (IS) foi determinado pela razão entre a população final e a população inicial (Equação 13):

$$IS = \frac{PF}{PI} \times 100 \quad (13)$$

Em que:

IS = índice de sobrevivência (%);

PF = população final (plantas ha^{-1});

PI = população inicial (plantas ha^{-1}).

Para a determinação da altura média das plantas, foi medida a distância entre a superfície do solo e a inflexão da última folha superior de 25 plantas na linha mais central da parcela após a cultura entrar na fase de florescimento. A altura média de inserção da primeira vagem foi obtida tomando-se a distância entre a superfície do solo e a primeira vagem de 25 primeiras plantas na linha mais central de cada parcela e foi realizada na época da colheita. O número médio de vagens foi obtido através da avaliação de 25 plantas aleatórias em cada parcela.

A avaliação da produtividade foi efetuada realizando-se a colheita manual de três linhas de plantas com 2,0 m de comprimento em cada parcela. Após a colheita, os grãos foram pesados e deles retiradas uma amostra para avaliação da umidade. Foi feita a correção da produtividade para 14% de umidade (base úmida).

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando necessário, comparados por meio do teste de médias de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa estatístico SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2010).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sistemas de preparo periódico do solo não influenciaram no número médio de dias para emergência de plântulas, população inicial, população final, índice de sobrevivência, altura de inserção da primeira vagem, número médio de vagens por planta e produtividade da soja (Tabela 7). Somente a altura média das plantas apresentou diferenças significativas entre os sistemas de preparo do solo avaliados.

Carvalho Filho et al. (2006), utilizando os mesmos tipos de equipamentos de preparo do solo, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico com textura média, também não encontraram diferenças significativas no número médio de dias para emergência das plântulas, população final, altura de inserção da primeira vagem e produtividade da soja. Porém, esses autores, encontraram diferenças significativas ao avaliarem a população inicial e índice de sobrevivência da soja.

A altura média das plantas foi maior nos tratamento com arado de discos e arado de aiveca, comparados com o escarificador. Provavelmente, essa diferença foi ocasionada pelo maior grau de mobilização do solo pelos arados de discos e aivecas, fazendo com que as plantas explorassem a maior área mobilizada com suas raízes, aumentando assim a produção da parte aérea. Carvalho Filho et al. (2006) e Coan (1995) concluíram que o

arado de aivecas é o equipamento que proporciona o melhor crescimento na cultura da soja e do milho, respectivamente. Carvalho Filho et al. (2006) não observou diferença na altura média das plantas ocasionada pelo arado de aivecas e o escarificador, a menor altura média das plantas foi ocasionada pela enxada rotativa.

Tabela 7 – Velocidade de emergência, população inicial, população final, índice de sobrevivência, altura média das plantas, altura média de inserção da primeira vagem, número de vagens e produtividade da soja, em função do equipamentos usados no preparo periódico do solo

Variáveis	Sistemas de Preparo do Solo					
	Arado de Discos	Arado de Aivecas	Grade Aradora	Escarificador	Enxada Rotativa	C.V. (%)
Velocidade de emergência (dias)	8,5	8,2	9,0	8,5	8,8	17,3
População inicial (plantas ha^{-1})	301.636	299.137	260.833	309.969	285.000	9,0
População final (plantas ha^{-1})	282.472	278.306	241.643	297.470	249.975	10,1
Índice de sobrevivência (%)	93,6	93,0	92,7	95,9	88,1	6,0
Altura média das plantas (cm)	80,4 a	80,2 a	78,7 ab	75,5 b	76,5 ab	2,5
Altura de inserção da primeira vagem (cm)	10,9	11,1	10,3	10,0	10,3	7,4
Número de vagens (vagens)	41,7	41,6	41,8	39,5	49,4	13,1
Produtividade média (kg ha^{-1})	3316,5	3247,4	2784,8	3299,6	3472,6	16,4

Médias seguidas por mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A inserção da primeira vagem é uma característica importante, pois determina a regulagem da altura da barra de corte da colhedora, visando obter a máxima eficiência

durante esse processo. O valor médio de 10,5 cm da altura de inserção da primeira vagem é adequado, estando acima da altura mínima requerida para a colheita mecanizada da cultura em solos de topografia planta (SEDIAYAMA et al. 1999). Comparando a altura de inserção da primeira vagem do sistema de preparo convencional do solo com o sistema plantio direto, também não verifica diferenças (GAVOTTI et al., 2003).

O número médio de vagens por plantas não foi afetado pelos equipamentos usados no preparo do solo, a média do número de vagens por planta foi de 42,8 vagens por planta. O número de vagens por planta é mais determinado pelo balanço entre o número de flores por planta e a proporção destas que se desenvolvem em vagens, que por sua vez, é determinado pelo número de flores por nó e pelo número de nós por planta (JIANG; EGLI, 1993).

A produtividade média de grãos foi de 3.224 kg ha^{-1} e não variou em função dos equipamentos usados no preparo do solo, conforme também verificado por Carvalho Filho et al. (2006) e Gavotti et al. (2003). A produtividade da cultura pode ter sido prejudicada devido ao atraso na época de semeadura recomendada pela empresa fornecedora da cultivar.

4.4 CONCLUSÕES

Os sistemas de preparo periódico do solo não influencia o número médio de dias para emergência de plântulas, a população inicial, a população final, o índice de sobrevivência, a altura de inserção da primeira vagem, o número médio de vagens por planta e a produtividade da cultura da soja.

Os arados de discos e aivecas ocasionam maior tamanho de planta em comparação ao escarificador.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO FILHO, A.; CARVALHO, L. C. C.; CENTURION, J. F.; ROUVERSON, P. S.; FURLANI, C. E. A. Efeitos de sistemas de preparo do solo na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Eng. Agríc**., Jaboticabal, v.26, n.3, p.777-786, set./dez. 2006.

COAN, O. **Sistemas de preparo de solo: efeitos sobre a camada mobilizada e no comportamento das culturas do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) e do milho (Zea mays L.), conduzidas em rotação**. 1995. 138 p. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1995.

EDMOND, J. B.; DRAPALA, W. J. The effects of temperature, sand and soil, and acetone on germination of okra seed. **Proceedings of the American Society Horticutural Science**, Alexandria, n. 71, p. 428-434, 1958.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa dos solos. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília, 412 p. 2006.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologia de Produção de Soja Região Central do Brasil 2011**. Londrina, 255 p. 2010.

FERREIRA, D. F. SISVAR 5.3. **Sistema de Análises Estatísticas**. Lavras: UFLA, 2010.

GAVOTTI, F. S. M.; CENTURION, M. A. P. C.; CENTURION, J. F. Comportamento da soja, cultivar IAC FOSCARIM 31, em quatro sistemas de preparo do solo. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 25., 2003, Uberaba. **Resumos**... Uberaba: Embrapa Soja /EPAMIG/ Fundação Triângulo, 2003. p.254-5.

JIANG, H.; EGLI, D. B. Shade induced change in flower and pod number and flower and fruit abscission in soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, n.2, p.221-225, 1993.

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

MAZUCHOWSKI, J. Z.; DERPSCH, R. **Guia de preparo do solo para culturas anuais mecanizadas**. Curitiba: ACARPA, 68 p. 1984.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; REIS, M. S. **Melhoramento da soja**. In: BORÉM, A. (ed). Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: UFV, 1999. p.478-533.

USDA. Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. **Oilseeds**. 2014. Disponível em: < http://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdHome.aspx >. Acesso em: 10 out. 2015