

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

VINÍCIUS NERY CASCÃO

**COMPACTAÇÃO CAUSADA PELO TRÁFEGO DE TRATOR EM DIFERENTES
MANEJOS DE SOLO**

**Uberlândia – MG
Dezembro – 2007**

VINÍCIUS NERY CASÇÃO

**COMPACTAÇÃO CAUSADA PELO TRÁFEGO DE TRATOR EM DIFERENTES
MANEJOS DE SOLO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao curso de Agronomia, da Universidade
Federal de Uberlândia, para obtenção do
grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: João Paulo A. Rodrigues da
Cunha

**Uberlândia – MG
Dezembro – 2007**

VINÍCIUS NERY CASÇÃO

**COMPACTAÇÃO CAUSADA PELO TRÁFEGO DE TRATOR EM DIFERENTES
MANEJOS DE SOLO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao curso de Agronomia, da Universidade
Federal de Uberlândia, para obtenção do
grau de Engenheiro Agrônomo.

Aprovado pela Banca Examinadora em 13 de dezembro de 2007

Prof. Dr. João Paulo A. Rodrigues da Cunha
Orientador

Prof. Dr. Elias Nascentes Borges
Membro da Banca

Prof. Ms. Leomar Paulo de Lima
Membro da Banca

DEDICATÓRIA

Quero dedicar a conclusão desta etapa de minha vida aos meus pais pela educação que me deram e também pelo apoio dado nos dias mais difíceis de minha vida, ao meu irmão e também a toda minha família e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço muito a Deus, pelas graças recebidas durante toda a minha vida.

Aos meus pais que sempre estiveram ao meu lado e me apoiaram em todas decisões por mim tomadas, e sempre me dando forças para seguir em frente.

Aos companheiros da 35^a Turma de Agronomia, a todos os amigos, enfim, a todos aqueles de uma certa forma contribuíram para que eu atingisse esse objetivo.

RESUMO

O manejo do solo consiste num conjunto de operações realizadas com objetivo de propiciar condições favoráveis à semeadura, ao desenvolvimento e à produção das plantas cultivadas, por tempo ilimitado. A seqüência de eventos a serem realizados durante esta fase depende do estágio de exploração da área, do nível tecnológico a ser empregado, da quantidade de restos culturais e das características de solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a compactação do solo causada pelo tráfego de trator, em um Latossolo submetido a diferentes formas de preparo. Esse trabalho foi realizado na Fazenda Experimental Capim Branco, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia, localizada no município de Uberlândia – MG, em um solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférico e textura superficial muito argilosa. Foi avaliada a resistência do solo à penetração, submetido a diferentes formas de preparo, após o tráfego de um trator em diferentes números de passadas. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com arranjo de parcelas subdivididas, considerando as formas de preparo de solo como tratamentos principais, e o número de passadas do trator, como tratamentos secundários, com quatro repetições. Como tratamentos de preparo de solo, além de uma testemunha sem movimentação, foram avaliados três tipos de mobilização: uma aração com 18 cm de profundidade, uma aração com 18 cm de profundidade seguida de uma gradagem a 10 cm e uma subsolagem a 40 cm de profundidade. Após o preparo das parcelas com os quatro tratamentos descritos, foi avaliada a resistência à penetração, por meio de um penetrômetro eletrônico, como medida do nível de compactação do solo, antes da passagem do trator e após 1, 3, 5 e 7 vezes a passagem do trator no mesmo rastro. Também foi realizada a avaliação de densidade do solo através do método do anel volumétrico. As amostras foram coletadas imediatamente após o preparo do solo, em três repetições, de 0 a 20 cm, e após as sete passadas do trator no mesmo rastro, na profundidade de 0 a 20 cm. Pode-se concluir que quanto maior a pulverização do solo por ocasião do preparo, maior foi o potencial da compactação posterior. Solos recentemente arados e gradeados foram mais susceptíveis à compactação do que solos somente arados ou subsolados. O efeito do tráfego de máquinas concentrou-se principalmente na camada superficial (0 a 20 cm), sendo a primeira passada do trator, a que mais provocou compactação do solo, tendo em vista que o efeito das passadas subseqüentes foi pequeno.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Textura do solo.....	14
Tabela 2 - Efeito dos diferentes preparos de solo no índice de cone médio.....	15
Tabela 3 - Efeito do tráfego de trator no incremento do índice de cone de um solo submetido a diferentes tipos de preparo.....	17
Tabela 4 - Efeito do tráfego de trator na densidade de um solo submetido a diferentes tipos de preparo.....	18

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	10
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	13
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
5 CONCLUSÕES.....	19
REFERÊNCIAS.....	20

1 INTRODUÇÃO

O preparo do solo é uma prática que atua diretamente sobre a sua estrutura que, por sua vez, interage ou afeta uma série de características do perfil, modificando as variáveis a ela ligadas. Envolve procedimentos que permitem um melhor desenvolvimento da cultura a ser implantada.

A atividade a ser explorada é um fator determinante na escolha dos equipamentos a serem usados e no tipo de manejo a ser empregado no solo. O avanço da engenharia contribuiu bastante para o incremento na potência dos tratores utilizados e, com isto, os estudos se intensificaram na busca de máquinas e sistemas mais eficientes de tração e, conseqüentemente, mais eficientes no preparo do solo. Contudo, trabalhos realizados mostram que esse incremento no peso e na potência dos tratores pode gerar alguns problemas ao solo, como compactação e adensamento.

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

A resistência do solo à penetração vertical, medida por penetrômetros, tem sido utilizada como parâmetro importante que determina as condições físicas do solo para o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas (CASTRO; LOMBARDI NETO, 1992). Elevados valores de resistência do solo à penetração influenciam negativamente no crescimento das plantas e do seu sistema radicular, contribuindo para baixas produtividades (CARVALHO et al., 2001).

Diferentes manejos podem alterar o solo de várias maneiras, inclusive a susceptibilidade à compactação. A subsolagem visa evitar o adensamento na camada de 0 a 40 centímetros do solo, conseqüência principalmente da pressão feita pelas máquinas, que causa diminuição na infiltração de água e no desenvolvimento das radículas e do pião central. Como qualquer manejo feito no solo, a subsolagem exige técnica.

Aração é o processo de revolver um terreno agrícola com um arado, equipamento mecânico tracionado. Sua finalidade é descompactar o solo para um melhor desenvolvimento das raízes. Expõe o subsolo à ação do sol, ajudando a aumentar a temperatura. Também enterra restos de culturas agrícolas anteriores ou plantas daninhas porventura existentes. Melhora ainda a infiltração de água no solo. A gradagem também é uma etapa do preparo do solo para cultivo agrícola, com a função principal de quebrar torrões, que dificultam a emergência das sementes e o estabelecimento das culturas. Com a utilização da grade, os torrões são desfeitos e a superfície do solo torna-se mais uniforme.

Dessa forma, faz-se necessário estudar o comportamento do solo, submetido a diferentes formas de preparo, após o tráfego de máquinas em diferentes níveis de intensidade.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a compactação do solo causada pelo tráfego de trator, em um Latossolo submetido a diferentes formas de preparo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A mecanização agrícola é um componente básico na maioria das estratégias de desenvolvimento rural e no aumento da produtividade. No entanto, sua introdução desordenada, sem adaptação prévia aos diferentes tipos de solos, pode ocasionar uma rápida e contínua degradação desse recurso natural (SIQUEIRA, 1999).

O uso intensivo de máquinas e implementos na agricultura moderna pode modificar as propriedades do solo, em relação às aquelas de seu estado natural. Têm sido detectadas camadas compactadas subsuperficiais causadas pelo intenso tráfego de máquinas e implementos agrícolas, que provoca pressões na superfície do solo (MANTOVANI, 1987), afetando a sua densidade (MORAES; BENEZ, 1996), degradando a macroestrutura e reduzindo o grau de flocculação da argila do solo (PRADO; CENTURION, 2001).

Segundo Mantovani (1987), a modificação da estrutura do solo por um determinado equipamento de preparo dependerá, em grande parte, da frequência de utilização do mesmo e da consistência do solo. Os benefícios ou danos decorrentes da operação de preparo dependerão fundamentalmente da estrutura e da consistência do solo, tornando necessária a avaliação dessas propriedades.

O monitoramento da compactação do solo é uma ferramenta imprescindível ao planejamento das práticas de cultivo a serem adotadas, visando maximizar a rentabilidade agrícola (TORRES; SARAIVA, 1999). Marshall e Raney (1960) definem as zonas compactadas do solo como sendo o resultado da deterioração da sua estrutura, tendo como principal consequência a diminuição da porosidade nas camadas logo abaixo da profundidade de trabalho dos órgãos ativos das máquinas.

O solo no sistema de plantio direto geralmente apresenta maiores valores de densidade do solo e microporosidade, e menores valores de macroporosidade e porosidade total, nas camadas superficiais do perfil, em comparação com o preparo convencional. Isto é decorrente, principalmente, do não-revolvimento do solo e da movimentação de máquinas e implementos agrícolas, sobretudo quando realizada em solos com teores elevados de argila (VIEIRA, 1981; VIEIRA; MUZILLI, 1984; CORRÊA, 1985).

Kluthcouski (1998), em Latossolo Roxo, constatou um aumento da densidade do solo em algumas profundidades, com a utilização continuada do plantio direto; por outro lado,

Albuquerque et al. (1995) verificaram não haver diferença de densidade do solo entre o plantio direto e o manejo convencional.

Rosolem et al. (1992) verificaram, em lavoura de trigo, que o preparo do solo com grade, em primeiro lugar, e o plantio direto concentraram as raízes na camada superficial do solo, enquanto o preparo com arado proporcionou distribuição mais uniforme do sistema radicular. Ramos e Dedecek (1979) observaram que o preparo com duas passadas de grade niveladora concentrou as raízes de soja nos primeiros 10 cm do solo.

Na avaliação da compactação, têm sido utilizados, na maioria das pesquisas, estudos de penetrometria, por causa da facilidade e rapidez na obtenção dos resultados (BENGOUGH; MULLINS, 1990), apesar das diferenças entre uma raiz e um cone metálico (BARLEY; GREACEN, 1967). Segundo Tormena e Roloff (1996), valores de resistência à penetração acima de 2000 kPa são considerados impeditivos para o crescimento de raízes no solo.

Segundo Balastreire (1990), o uso de arados de discos para o preparo do solo predomina no país em função de estes serem ajustados a trabalharem em áreas onde a presença de pedras, tocos e raízes dificulta o funcionamento dos arados de hastes ou aivecas. Grandi (2001) relatou que, como normalmente no preparo convencional se faz uso da gradagem sobre a aração, o que deve ser evitado é dar responsabilidades para as grades, como corrigir erros deixados, o que nem sempre se consegue, obrigando a se ter gradagens repetitivas, aumentando os custos e repassando para as outras práticas seguintes os inconvenientes.

Segundo Cunha (2005), as grades podem ser utilizadas em diversos serviços nas propriedades agrícolas, além de serem de fácil operação e regulagem. Entretanto, é importante que o operador faça as regulagens corretamente, para o seu bom desempenho, maior durabilidade e ainda evitar a sua danificação.

Segundo Grandi (2001), a subsolagem é a prática que visa a destruição de uma camada endurecida ou compactada que impede a passagem do ar, da água, ou até mesmo de raízes. Por se tratar de um rompimento muito brusco do subsolo, arrebatando-o e produzindo trincas, a subsolagem se torna cara devido a ser necessária a utilização de maiores potências e ter uma capacidade operacional reduzida.

Grandi (2001) relatou ainda que para se chegar a conclusão do momento da subsolagem, podem ser usados o penetrógrafo, o penetrômetro ou através de efeitos comparativos com áreas virgens. As condições ideais para se obter o melhor resultado se apresentam quando o solo estiver seco e comprovadamente duro.

Segundo Balastreire (1990), a correta utilização de subsoladores pressupõe conhecimentos suficientes sobre as características do solo trabalhado, tais como compactação

existente, teor de umidade, cobertura existente na superfície, textura e estrutura e, ainda, sobre as características necessárias para a operação com o equipamento, como profundidade de trabalho, espaçamento entre hastes, dimensões e formatos das hastes e potência necessária.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado na Fazenda Experimental Capim Branco, de coordenadas Latitude 18°53'57.28"S e Longitude 48°19'34.53"O, localizada no município de Uberlândia – MG, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (EMBRAPA, 1999), com textura superficial muito argilosa (Tabela 1), contendo na camada de 0 a 30 cm: 763g kg⁻¹ de argila, 166g kg⁻¹ de silte, 49 g kg⁻¹ de areia fina e 22 g kg⁻¹ de areia grossa, determinados pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997). A umidade do solo na capacidade de campo determinada a 300 kPa (0,3 bar) de tensão foi de 30,6%.

Tabela1. Textura do solo nas profundidades de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm

Profundidade (cm)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Classe Textural
	-----g. kg ⁻¹ -----				
0 a 20	22	49	166	763	Muito Argiloso
20 a 40	20	53	145	782	Muito Argiloso

Obs: Para obter textura em % basta dividir os resultados por 10. %= (g.kg⁻¹)/10

Foi avaliada a resistência do solo à penetração, submetido a diferentes formas de preparo, após o tráfego de um trator em diferentes números de passadas. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com arranjo de parcelas subdivididas, considerando as formas de preparo de solo como tratamentos principais, e o número de passadas do trator, como tratamentos secundários, com quatro repetições. As parcelas experimentais foram constituídas de 60 m². A análise estatística dos resultados foi baseada na análise de variância e, quando significativa, foi aplicado o teste de Scott-Knott, a 5% de significância.

Como tratamentos de preparo de solo, além de uma testemunha sem movimentação de solo, foram avaliados três tipos de mobilização: uma aração com 18 cm de profundidade, uma aração com 18 cm de profundidade seguida de uma gradagem a 10 cm e uma subsolagem a 40 cm de profundidade.

Após o preparo das parcelas com os quatro tratamentos descritos, foi avaliado a resistência à penetração, como medida do nível de compactação do solo, antes da passagem

do trator e após 1, 3, 5 e 7 vezes a passagem do trator no mesmo rastro. Junto ao ensaio de penetrometria, foi avaliada a umidade do solo.

A resistência à penetração foi determinada nas profundidades de 0 a 60 cm, empregando-se um penetrômetro eletrônico Falker PLG 1020, com sistema de aquisição automático de dados, seguindo-se a norma ASAE S 313.3 (ASABE, 2006). A velocidade de penetração da haste foi mantida próxima a 30 mm s^{-1} , de acordo com a instrumentação do aparelho. Foi utilizado um cone com diâmetro de 12,83 mm e ângulo de penetração de 30° . A resolução do equipamento é de 7,7 kPa e o índice de cone máximo permitido de 7700 kPa.

A amostragem foi feita em cinco pontos aleatórios de cada parcela, obtendo-se os dados de resistência à penetração com resolução de medida de profundidade de 10 mm. Posteriormente, foi calculado o índice de cone para as profundidades de 0 a 20 cm, 20 a 40 cm e 40 a 60 cm. A avaliação da umidade do solo foi feita pelo método da estufa.

Para simular a compactação promovida pelo tráfego do trator dentro de uma lavoura, foi utilizado um trator agrícola Massey Ferguson 4 x 2 modelo MF290, com potência de 60,35 kW (82 cv), trabalhando com rotação do motor de 1800 rpm na terceira marcha reduzida. O mesmo apresentava pneus traseiros Pirelli TM 95 – 18.4 – 34, com dez lonas, juntamente com dois lastros de 50 kg e $\frac{3}{4}$ de água em cada pneu, a pressão de 97 kPa (14 psi) e pneus dianteiros Maggion MTF2 – 7.50 – 18, com 6 lastros de 15 kg, a pressão de 276 kPa (40 psi).

Para a aração foi utilizado um arado de disco fixo, marca Baldan, com 3 discos lisos de 61 cm (24”) de diâmetro. Para a gradagem, foi utilizada uma grade Baldan AETOR 07/07 HST 50 com 14 discos recortados de 61 cm (24”) e para a subsolagem, um subsolador Baldan com 7 hastes parabólicas de 60 cm, espaçadas de 60 cm.

Também foi realizada avaliação de densidade do solo. As amostras foram coletadas imediatamente após o preparo do solo, em três repetições, e após as sete passadas do trator no mesmo rastro. Essas foram coletadas no centro do rastro, na profundidade de 0 a 20 cm.

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997), utilizando amostras indeformadas retiradas com amostrador tipo Uhland e anel de aço de Kopecky de bordas cortantes com volume interno de 80 cm^3 .

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, é apresentado o efeito dos diferentes preparos de solo no índice de cone, para as profundidades de 0 a 20 cm, 20 a 40 cm e 40 a 60 cm, considerando uma umidade de solo média de 24,8%, antes do tráfego do trator. Nota-se que não houve diferença significativa do índice de cone para os tratamentos na camada mais profunda, de 40 a 60 cm. Por não haver um revolvimento do solo nessa camada, durante o preparo, não houve influência da mobilização promovida pelos implementos.

Tabela 2. Efeito dos diferentes preparos de solo no índice de cone médio, para as profundidades de 0 a 20 cm, 20 a 40 cm e 40 a 60 cm, considerando uma umidade de solo média de 24,8%, antes do tráfego do trator.

Preparo de solo	Índice de cone (kPa)		
	0 a 20 cm	20 a 40 cm	40 a 60 cm
Arado	189,6a	2266,4b	1586,0a
Arado+grade	182,4a	2122,1b	1343,8a
Subsolador	246,6a	1732,20a	1317,4a
Testemunha	2117,8b	2341,6b	1575,4a
CV (%)	30,8	12,6	13,7

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si, pelo Teste de Scott-Knott, a 5% de significância.

Na camada de 20 a 40 cm, verifica-se que houve apenas diferenciação no tratamento realizado com subsolador, apresentando uma menor resistência à penetração. Isso se deve ao fato do subsolador estar regulado para mobilizar o solo até a profundidade de 40 cm. Observa-se nesta camada do solo, nas parcelas que não sofreram a subsolagem, índices de cone bastante elevados. Possivelmente haveria dificuldade do desenvolvimento radicular das plantas nestas condições.

Essa compactação subsuperficial é função principalmente da carga total por eixo das máquinas, enquanto a compactação superficial é função da pressão de inflação dos pneus nos veículos que trafegaram na área anteriormente (SALIRE et al., 1994; HAKANSSON; VOORHEES, 1997). A compactação e o adensamento do solo são responsáveis pelo impedimento do desenvolvimento do sistema radicular das plantas e, conseqüentemente, pela dificuldade em buscar água e nutrientes nas camadas mais profundas.

A camada de maior atuação dos tratamentos foi a de 0 a 20 cm, onde foram notados os efeitos da desagregação do solo ocasionado pelo preparo do solo. No entanto, não houve diferenciação entre o índice de cone do solo preparado com arado, arado seguido de grade e subsolador. A testemunha, sem preparo, apresentou índice de cone bastante acima dos demais

tratamentos. Segundo Tormena e Roloff (1996), valores de resistência à penetração acima de 2000 kPa são considerados impeditivos para o crescimento de raízes no solo. A maior resistência mecânica do solo à penetração deve-se ao não revolvimento do solo, que ano após ano acumula pressões pelo tráfego de máquinas e, ainda, pela acomodação natural das partículas (CARVALHO JÚNIOR et al., 1998).

Sistemas de cultivo sem preparo de solo, como o plantio direto, são técnicas eficientes no controle da erosão, quando comparado com o sistema convencional (SEGANFREDO et al., 1997; BERTOL et al., 1997), porém alguns estudos mostram problemas de compactação do solo (HAKANSSON; MEDVEDEV, 1995; KERTZMANN, 1996; KLEIN, 1998), provocada pelo efeito cumulativo do tráfego de máquinas. Isto mostra a importância do manejo do solo para o controle da compactação, diminuição da densidade e aumento da porosidade do solo.

Na Tabela 3, é mostrado o efeito do tráfego do trator no incremento do índice de cone de um solo submetido a diferentes tipos de preparo. A interação entre preparo de solo e número de passadas não foi significativa, permitindo a análise isolada dos dois fatores. Percebe-se que, na camada de 0 a 40 cm, a testemunha sem preparo foi o tratamento em que houve menor incremento no índice de cone, seguido pelo tratamento com arado e subsolador, que não se diferenciaram entre si. O maior incremento de compactação se deu no tratamento com aração seguida de gradagem.

A desagregação, ocasionada durante a movimentação do solo, fez com que ocorresse um aumento acentuado do índice de cone com o tráfego do trator, indicando maior compactação. De acordo com Cunha (2004) deve-se evitar o tráfego de máquinas sobre solos recentemente preparados, com objetivo de se evitar a formação de camadas superficiais compactadas.

Vale ressaltar que a umidade do solo durante a condução do ensaio estava próxima a capacidade de campo, o que acentua o processo de compactação. O tráfego de máquinas nas lavouras deve observar a umidade do solo, no entanto, a nível de campo nem sempre isso é possível, reforçando a necessidade de se conhecer o comportamento do solo às pressões aplicadas, numa ampla faixa de umidade.

Como mostrado na Tabela 2, a operação de aração seguida de gradagem promoveu a maior desagregação do solo. Provavelmente em função disto, foi neste tratamento que se notou a maior compactação do solo. Na testemunha, onde há o maior histórico de pressões sofridas, verificou-se pouca influência do tráfego do trator. Por possuir um estado de compactação mais elevado do que o solo que recebeu movimentação, pode resistir à pressão exercida pelas rodas do trator.

Tabela 3. Efeito do tráfego de trator no incremento do índice de cone de um solo submetido a diferentes tipos de preparo, nas profundidades de 0 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm, considerando uma umidade de solo média de 24,8%.

Preparo de solo	Incremento no índice de cone (kPa)*		
	0 a 20 cm	20 a 40 cm	40 a 60 cm
Arado	1142,9b	182,2b	15,3a
Arado+grade	1331,4c	214,7c	18,7a
Subsolador	1062,9b	156,6b	13,7a
Testemunha	207,7a	17,6a	2,3a
Número de passadas			
1 passada	677,8a	110,9a	30,4a
3 passadas	902,3b	140,3b	33,5a
5 passadas	1033,8c	156,8b	36,5a
7 passadas	1131,1c	163,2b	39,7a
CV parcela (%)	20,1	33,3	36,9
CV subparcela (%)	22,8	38,7	37,2

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si, pelo Teste de Scott-Knott, a 5% de significância. *Diferença entre os índices de cone obtidos antes e após o tráfego do trator.

À medida que se aprofunda no solo, notou-se menor incremento no índice de cone, mostrando que o efeito do tráfego do trator concentrou-se mais nas camadas superficiais. Não houve diferença entre os tratamentos na camada de 40 a 60 cm.

Ainda de acordo com a Tabela 3, verifica-se a influência do número de passadas do trator na compactação do solo. Na camada de 0 a 20 cm, a primeira passada promoveu o maior incremento de compactação, reafirmando a teoria de Fenner (1999). O autor, fazendo um estudo de tráfego controlado em solos da Amazônia, verificou que as maiores deformações no solo ocorrem logo após a primeira passada da máquina, sendo os efeitos das passagens subsequentes mais reduzidos. Esses resultados indicam a necessidade de se restringir o tráfego de veículos à menor área possível dentro da lavoura, mesmo atingindo níveis mais altos de compactação, mas reduzindo-se a extensão do solo compactado.

Na profundidade de 20 a 40 cm, o incremento no índice de cone promovido pela primeira passada diferiu estatisticamente das demais, que não diferiram entre si. Já na camada de 40 a 60 cm não houve diferença significativa entre os diferentes números de passada. Com esses dados, fica bastante evidente que os maiores danos causados ao solo pelo tráfego de tratores são ocasionados nas primeiras passadas, e que eles são mais intensos na superfície do solo.

Na Tabela 4, é mostrado o efeito do tráfego do trator na densidade do solo. Não houve diferença significativa entre as formas de preparo do solo. Albuquerque et al. (1995)

verificaram que não houve diferenças de densidade do solo, porosidade total e macro e microporosidade entre o sistema plantio direto e o preparo convencional, num Latossolo Vermelho-Escuro.

Tabela 4. Efeito do tráfego de trator na densidade de um solo submetido a diferentes tipos de preparo, na profundidade de 0 a 20 cm

Preparo de Solo	Densidade do solo (Mg m^{-3})
Arado	1,57a
Arado+grade	1,61a
Subsolador	1,63a
Testemunha	1,72a
Número de passadas	
0 passada	1,51b
7 passadas	1,75a
CV parcela (%)	17,6
CV subparcela (%)	18,2

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si, pelo Teste de Scott-Knott, a 5% de significância.

Quando se compara a área submetida ao tráfego do trator com a área sem tráfego, nota-se diferença na densidade do solo. O tráfego gerou um aumento na densidade do solo.

Apesar de ter sido observada diferença entre as formas de preparo do solo quanto ao índice de cone, não foi notada diferença quanto à densidade. Houve uma tendência das operações de preparo em reduzir a densidade do solo, no entanto, elas não foram suficientes para permitir a diferenciação estatística. O coeficiente de variação alto pode ter corroborado para isto.

Este fato também pode ser explicado por a densidade nem sempre acompanhar a compactação do solo. Segundo Larson (1964), a ausência de correlação entre essas duas variáveis deve-se ao fato de que a densidade do solo não é uma medida direta da resistência à penetração, pois não mede o tamanho dos poros e a rigidez do solo.

5 CONCLUSÕES

As operações de preparo de solo reduzem a resistência à penetração nas camadas trabalhadas, influenciando sua susceptibilidade à compactação. Quanto maior a pulverização do solo, por ocasião do preparo, maior será o potencial da compactação posterior.

Deve-se diminuir o tráfego de máquinas sobre solos recentemente preparados, sob pena de provocar compactação adicional excessiva, que pode dificultar o desenvolvimento radicular das plantas. Solos recentemente arados e gradeados são mais susceptíveis à compactação do que solos somente arados ou subsolados.

O efeito do tráfego de máquinas concentrou-se principalmente na camada superficial (0 a 20 cm). A primeira passada do trator é a que mais provoca compactação do solo, tendo em vista que o efeito das passadas subseqüentes é pequeno. Assim, deve-se estudar o manejo do tráfego de máquinas nas propriedades com o objetivo de reduzir os problemas causados pela compactação do solo.

O potencial de compactação de solos com umidade próxima à capacidade de campo é grande, devendo, portanto, ser evitado o tráfego nestas condições.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.1, p.115-19, 1995.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS-ASABE. **Soil cone penetrometer**. ASAE Standard S313.3. St. Joseph: ASABE, 2006. p.902-904.
- BALASTREIRE, L.A. **Máquinas Agrícolas**. São Paulo: Ed. Manole, 1990. 307p.
- BARLEY, K. P.; GREACEN, E. L. Mechanical resistance as a soil factor influencing the growth of roots underground shoots. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 19, n. 1, p. 1-43, 1967.
- BENGHOUGH, A.G.; MULLINS, C.E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal of Soil Science**, Hannover, v.41, n. 9, p.341-358, 1990.
- BERTOL, I., COGO, N.P., LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após as colheitas de milho e trigo, na presença e na ausência dos resíduos culturais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, n.27, p.409- 418, 1997.
- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; ROQUE, C.G.; FERRAZ, M.V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para produtividade de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.31, p.843-849, 2005.
- CARVALHO, J.E.B.; PAES, J.M.V.; MENEGUCCI, J.L.P. Manejo de plantas daninhas em citros. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, n.209, p.61-70, 2001.
- CASTRO, O.M.; LOMBARDI NETO, F. Manejo e conservação do solo em citros. **Laranja**, Cordeirópolis, v.13, n.1, p.275-305, 1992.
- CORRÊA, J.C. Efeito de métodos de cultivo em algumas propriedades físicas de um Latossolo Amarelo muito argiloso do Estado do Amazonas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.20, n.11, p.1317-1322, 1985.
- CUNHA, J.P.R. Preparo do solo. **Máquinas e implementos agrícolas: Preparo do solo**. Uberlândia: UFU, 2005. 10p.
- CUNHA, J.P.R.; CARVALHO Jr., P.C.; SOUZA, J.V.; BORGES, E.N., **Compactação do solo sob sistemas de manejo convencionas e conservacionistas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Gramado: SBCS, 2007. p.223.
- DA SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n 5, p.795-801, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA -EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA -EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

FENNER, P.T. **Relações entre tráfego, solo e desenvolvimento florestal na colheita da madeira**. 1999. 135p. (Tese de Livre Docência) - Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu.

GOEDERT, W.J.; SHERMACK, M.J.; FREITAS, F.C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 2, p. 223-227, 2002.

GRANDI, L.A. **O prático: Máquinas e Implementos Agrícolas**. v. 1. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 139p.

HAKANSSON, I.; MEDVEDEV, V.W. Protection of soils from mechanical overloading by establishing limits for stresses caused by heavy vehicles. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.35, p.85-97, 1995.

HAKANSSON, I.; VOORHEES, W.B. Soil compaction. In: LAL, R., BLUM, W.H.; VALENTIN, C. (ed.) **Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton: Lewis, 1997. p.167-179.

KERTZMANN, F. F. **Modificações na estrutura e no comportamento de um Latossolo Vermelho eutrófico provocados pela compactação**. 1996. 153f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

KLEIN, V.A. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo Roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo**. 1998. 130p. Tese (Doutorado em Agronomia/ Solos e Nutrição de Plantas) - ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

KLUTHCOUSKI, J. **Efeito de manejo em alguns atributos de um latossolo roxo sob cerrado e nas características produtivas de milho, soja, arroz e feijão, após oito anos de plantio direto**. 1998. 179f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

LARSON, W.E. Soil parameters for evaluating tillage needs and operations. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.28, n.1, p.118-122, 1964.

LIMA, C.L.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, R.J.; GUBIANI, P.I. Qualidade físico-hídrica e rendimento de soja (*Glycine max* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) de um Argissolo Vermelho distrófico sob diferentes sistemas de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.4, p.1172-1178, 2006.

MINATEL, A.L.G.; ANDRIOLI, I.; CENTURION, J.F.; NATALE, W. Efeitos da subsolagem e da adubação verde nas propriedades físicas do solo em pomar de citrus. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.86-95, 2006.

MANTOVANI, E. C. Máquinas e implementos agrícolas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 23, n. 1, p. 56-63, 1987.

MARSHALL, R.M.; RANEY, W.A. Modifying soil profiles. In: **Power to produce – the yearbook of agriculture soil**. Washington: United States Government. Printing Office, 1960. p.123-128.

MORAES, M. H.; BENEZ, S. H. Efeitos de diferentes sistemas de preparo do solo em algumas propriedades físicas de uma terra roxa estruturada e na produção de milho para um ano de cultivo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 16, n. 2, p. 31-41, 1996.

NAGAOKA, A.K.; LANÇAS, K.P.; NETO, P.C.; LOPES, A.; GUERRA, S.P.S. Resistência do solo à penetração, após o tráfego com dois tipos de pneus utilizando-se um equipamento para ensaio dinâmico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.387-392, 2003.

PRADO, R. M.; CENTURION, J. F. Alterações na cor e no grau de flocculação de um Latossolo Vermelho-Escuro sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 1, p. 197-203, 2001.

PRADO, R.M.; ROQUE, C.G.; SOUZA, Z.M. Sistemas de preparo e resistência à penetração e densidade de um Latossolo Vermelho eutrófico em cultivo intenso e pousio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.37, n.12, p.1795-1801, 2002.

RAMOS, M.; DEDECEK, R. Efeitos de sistemas de preparo do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.14, n.2, p.149-153, 1979.

ROSOLEM, C.A.; FURLANI JUNIOR, E.; BICUDO, S.J.; MOURA, E.G.; BULHÕES, L.H. Preparo do solo e sistema radicular do trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, n.1, p.115-120, 1992.

SALIRE, E.V.; HAMMEN, J.E.; HARDCASTLE, J.H. Compression of intact subsoils under short-duration loading. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.31, p.235-248, 1994.

SEGANFREDO, M.L.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, n. 32, p.287-291, 1997.

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

SILVA, R.B.; JUNIOR, M.S.D.; SILVA, F.A.M.; FOLLE, S.M. O tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um Latossolo dos Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.27, p.973-983, 2003.

SOANE, B. D.; OUWERKERK, C. Soil compaction problems in world agriculture. **Soil compaction in crop production**. Amsterdam: Elsevier, v.11, n.2, p. 1-21, 1994.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de prepare na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.34, n.1, p.83-91, 1999.

TORMENA, C.A.; BARBOSA, M.C.; COSTA, A.C.S.; GONÇALVES, A.C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.59, n.4, p.795-801, 2002.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.2, p.333-339, 1996.

TORRES, E.; SARAIVA, F.O.; MOREIRA, J.J.A.A.; URCHEI, M.A.; HERNANI, L.C.; GAUDÊNCIO, C.A.; PRIMAVESI, O.; FRANZ, C.A.B. Compactação do solo. In: SALTON, J.C.; HERNANI, L.C.; FONTES, C.Z. **Sistema plantio direto**. O produtor pergunta, a EMBRAPA responde. Dourados: Centro de Pesquisa Agropecuária Oeste-EMBRAPA, 1998. p.103-118.

VIEIRA, M.J.; MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.19, n.7, p.873-882, 1984.

VIEIRA, M.J. Propriedades físicas do solo. In: IAPAR. **Plantio direto no Estado do Paraná**. Londrina, 1981. p.19-32. (IAPAR. Circular, 23).