DISSERTAÇÃO

INFLUÊNCIA DA QUANTIDADE E MANEJO DA PALHA NA COMPACTAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO

DANIEL COELHO ROSIM

Campinas, SP

2007

INSTITUTO AGRONÔMICO

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL E SUBTROPICAL

INFLUÊNCIA DA QUANTIDADE E MANEJO DA PALHA NA COMPACTAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO

DANIEL COELHO ROSIM

Orientadora: Isabella Clerici De Maria

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre** em Agricultura Tropical e Subtropical Área de Concentração em Gestão de Recursos Agroambientais.

Campinas, SP
Fevereiro 2007

Ficha elaborada pela bibliotecária do Núcleo de Informação e Documentação
do Instituto Agronômico

R821i Rosim, Daniel Coelho
Influência da quantidade e manejo da palha na compactação de um Latossolo Vermelho distroférrico / Daniel Coelho Rosim. Campinas, 2007.
41 fls.

Orientadora: Isabella Clerici De Maria
Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical)
Instituto Agronômico

1. Plantio direto 2. Tráfego 3. Resistência do solo. I. De Maria, Isabella Clerici III. Instituto Agronômico IV. Título

CDD. 631.51

SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA
DOS AGRONEGÓCIOS
INSTITUTO AGRONÔMICO
Pós-Graduação
Av. Barão de Itapura 1481 Caixa Postal 28
13001-970 Campinas, SP - Brasil
(019) 3231-5422 ramal 194
pgiac@iac.sp.gov.br

IAC
INSTITUTO AGRONÔMICO

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

PÓS-GRADUAÇÃO
AGRICULTURA TROPICAL E SUBTROPICAL

TÍTULO: **Influência da quantidade e manejo da palha na compactação de um Latossolo Vermelho distroférrico**

Aluna: **Daniel Coelho Rosim**
Processo SAA nº. **12026/05**

Orientador(a): **Isabella Clerici De Maria**

Aprovado pela Banca Examinadora:

Dr.(a) Isabella Clerici De Maria - IAC

Dr.(a) Ila Maria Corrêa - IAC

Dr.(a) José Paulo Molin - ESALQ/USP

Campinas, 16 de março de 2007

Visto:

Sueli dos Santos Freitas
Vice - Coordenadora
Pós - Graduação IAC

À minha mãe Dulce
e à Cida (*in memorian*),
DEDICO

À Mayara, por toda
compreensão e amor dedicados
ao longo desses anos
OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

- À Isabella Clerici De Maria pela orientação, dedicação, incentivo, ensinamentos e, acima de tudo, por sempre ter respeitado minhas limitações;
- Aos pesquisadores, funcionários e estagiários do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais do IAC pela oportunidade de estágio e incentivo para cursar o Mestrado;
- Ao pesquisador Cristiano Alberto de Andrade por toda ajuda e amizade;
- Aos colegas de curso por todos os momentos de alegria;
- Aos moradores e ex-moradores da República Bóia Fria, Araras – SP por manterem a amizade apesar da distância;
- Aos moradores e ex-moradores da República ONU, Campinas – SP que conviveram durante esse curto tempo de pós-graduação com fraternidade;
- Aos moradores da República do Amendoim, Piracicaba – SP, em especial ao amigo Rafael, por me acolherem generosamente durante duas semanas;
- Aos pesquisadores, funcionários e alunos da ESALQ pela ajuda nas pesquisas de laboratório;
- Ao aluno de iniciação científica Renato Lemos e Silva, pela grande ajuda nos trabalhos de campo e laboratório;
- Ao irmão Marco Favini por toda ajuda e paciência;
- Aos meus amigos e familiares que sempre torceram por mim;
- Aos funcionários e professores da Pós-graduação – PG/IAC;
- À Prof. Mara de Andrade Marinho Weill, da FEAGRI/UNICAMP, pela orientação no estágio de docência;
- À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos;
- À Fundação Agrisus, pelo financiamento da participação e divulgação de trabalho na XVI Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, Aracaju – SE;
- A todos que colaboraram de alguma forma para minha formação profissional.

BIOGRAFIA

Daniel Coelho Rosim – nascido em 11 de março de 1981, São Paulo – SP, mudou-se para a cidade de Pirassununga – SP no primeiro ano de vida e estudando inicialmente em escola particular e após a quinta série em escola pública, formou-se no ensino básico em 1998. No ensino médio freqüentou o Curso Técnico em Contabilidade, formando-se após três anos. Após um ano de curso preparatório para vestibulares, ingressou na Universidade Federal de São Carlos - UFSCar onde se formou Engenheiro Agrônomo no ano de 2004. Concomitante ao semestre final da graduação fez estágio no Instituto Agronômico – IAC, despertando interesse em ingressar na pós-graduação. Em fevereiro de 2005, iniciou o Curso de Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical do IAC, na área de concentração Gestão de Recursos Agroambientais, desenvolvendo trabalhos relacionados ao manejo e conservação do solo e da água. Ao final do curso, em março de 2007, obteve o título de Mestre em Agricultura Tropical e Subtropical.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE TABELAS i

ÍNDICE DE FIGURAS iii

RESUMO iv

ABSTRACT v

1 INTRODUÇÃO 1

2 REVISÃO DE LITERATURA 2

2.1 Compactação 2

2.2 Avaliação da Compactação 4

2.3 Compactação e Umidade 5

2.3.1 Correção da resistência à penetração (RP) em função da umidade do solo 6

2.3.2 Níveis Críticos de Resistência à Penetração (RP) 7

2.4 Sistema Semeadura Direta (SSD) e a Compactação do Solo 8

2.4.1 Cobertura vegetal e a compactação 10

2.4.2 Formação e manejo da palha 11

3 MATERIAL E MÉTODOS 13

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 19

5 CONCLUSÕES 32

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 33

7 ANEXOS 40

7.1 Anexo 1 40

7.2 Anexo 2 41

7.3 Anexo 3 42

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização físico-química do solo Latossolo Vermelho distroférrico de textura argilosa, no Centro Experimental Central do Instituto Agronômico, em Campinas, SP..... 13

Tabela 2 – Quadro de análise da variância para avaliação dos tratamentos de densidade e manejo da palha..... 18

Tabela 3 – Quadro de análise da variância para avaliação dos tratamentos de densidade e tempo..... 18

Tabela 4 – Estatística descritiva dos valores de densidade e porosidade total do solo determinados no rastro do rodado, 13 dias após a passagem do trator, em três profundidades avaliadas..... 19

Tabela 5 – Valores médios de densidade e porosidade total do solo no rastro do rodado em função dos tratamentos de densidade e de manejo da palha em três profundidades, 13 dias após a passagem do trator na área..... 20

Tabela 6 – Estatística descritiva dos valores de resistência à penetração e umidade do solo determinados no rastro do rodado, 1 dia após a passagem do trator na área, em três profundidades avaliadas..... 21

Tabela 7 – Estatística descritiva dos valores de resistência à penetração e umidade do solo determinados no rastro do rodado, 6 dias após a passagem do trator na área, nas três profundidades avaliadas..... 21

Tabela 8 – Estatística descritiva dos valores de resistência à penetração e umidade do solo determinados no rastro do rodado, 8 dias após a passagem do trator na área, nas três profundidades avaliadas..... 22

Tabela 9 – Valores médios de resistência à penetração e umidade do solo determinados no rastro do rodado, em função dos tratamentos de densidade e de manejo da palha, 1 dia após a passagem do trator, nas três profundidades avaliadas..... 23

Tabela 10 – Valores médios de resistência à penetração e umidade do solo determinados no rastro do rodado, em função dos tratamentos de densidade e de manejo da palha, 6 dias após a passagem do trator, nas três profundidades avaliadas..... 25

Tabela 11 – Valores médios de resistência à penetração e umidade do solo determinados no rastro do rodado, em função dos tratamentos de densidade e de manejo da palha, 8 dias após a passagem do trator, nas três profundidades avaliadas..... 25

Tabela 12 – Variação dos valores médios de resistência à penetração e de umidade por camada de solo no tempo, determinados no rastro do rodado, em função da quantidade de palha em três profundidades avaliadas..... 27

Tabela 13 – Valores médios de resistência à penetração, determinados no rastro do rodado, em função dos tratamentos de densidade e de manejo da palha, corrigidos para a umidade de 0,15 $g.g^{-1}$ nas duas profundidades avaliadas..... 30

Tabela 14 – Variação dos valores de resistência à penetração corrigida para a umidade de 0,15 $g.g^{-1}$ no tempo em função da quantidade de palha nas duas profundidades avaliadas..... 31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Detalhe do procedimento de amostragem para determinação da quantidade de palha nas parcelas..... 14

Figura 2 – Formação de palha com diferentes quantidades de sementes..... 15

Figura 3 – Tráfego sobre a área experimental: **a.** entrada do trator nas parcelas; **b.** rastro do trator nas parcelas..... 16

Figura 4 – Penetrômetro manual eletrônico..... 17

Figura 5 – Correlação entre resistência e umidade do solo na camada 0-0,2 m (n = 288)..... 28

Figura 6 – Correlação entre resistência e umidade do solo: **a.** na camada 0-0,3 m (n = 432); **b.** na camada 0,2-0,3 m (n = 144)..... 29

Figura 7 – Resistência à penetração e umidade do solo em profundidade em função da quantidade de palha em superfície: **a.** 1 dia após a passagem do trator na área; **b.** 6 dias após a passagem do trator na área; **c.** 8 dias após a passagem do trator na área..... 40

Figura 8 – Variação no tempo da resistência à penetração e umidade do solo em função da quantidade de palha em superfície..... 41

Figura 9 – Variação no tempo da resistência à penetração corrigida para a umidade de 0,15 $g.g^{-1}$..... 42

ROSIM, Daniel Coelho. **Influência da quantidade e manejo da palha na compactação de um Latossolo Vermelho distroférrico em Campinas.** 2007. 41f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Agroambientais) – Pós-graduação – IAC.

RESUMO

A compactação do solo em áreas com Sistema Plantio Direto (SPD) tem sido apontada como um problema enfrentado por produtores, principalmente em locais onde há predominância de solos argilosos. A compactação é causada principalmente pelo tráfego de máquinas nas práticas de pulverização, plantio e colheita quando não são respeitadas faixas ideais de umidade para tráfego sobre o solo. A palha na superfície do solo, por criar uma barreira física entre o pneu das máquinas e o solo, pode ser um fator de minimização da compactação. Sendo assim, o objetivo do estudo foi avaliar o efeito do volume de palha de milheto (*Pennisetum glaucum*) na redução da compactação causada pelo rodado de um trator, num Latossolo Vermelho distroférrico de textura argilosa, em Campinas, na implantação do SPD. O experimento contou com quatro tratamentos de densidade de palha (Sem palha, 5, 10 e 15 $t.ha^{-1}$) e três de manejo da palha (em pé, tombada e fragmentada). Após a passagem do trator sobre os tratamentos fez-se determinações de resistência à penetração (RP), umidade (Ug), densidade (Ds) e porosidade total (PT) do solo na área trafegada. A densidade e porosidade total do solo não foram afetadas pela passagem do trator em função da quantidade de palha em superfície. Nos tratamentos com palha obteve-se maior umidade e conseqüentemente menor resistência. Não houve diferença de umidade e resistência entre os tratamentos de manejo da palha. Em umidades iguais, maiores densidades de palha induziram menores valores de resistência à penetração.

Palavras-chave: plantio direto, tráfego, resistência do solo.

ROSIM, Daniel Coelho **Influence of straw amount and management on soil compaction in a Rhodic hapludox in Campinas.** 2007. 41f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Agroambientais) – Pós-graduação – IAC.

ABSTRACT

Soil compaction on no-tillage system (NTS) has been pointed out as a problem faced by farmers, mainly in places were soils are predominantly clay soils. Compaction is mainly caused by the traffic of the tillage machinery on spraying, planting and harvesting operations, when the water content is inadequate to the traffic over the soil. Straw on soil surface creates a physical barrier between the wheel traffic and the soil surface, and can become a minimizing factor to compaction. The objective of this study was to evaluate the effect of straw amount of pearl milhet (*Pennisetum glaucum*) on reduction of soil compaction caused by wheel traffic in a Rhodic Hapludox, in Campinas, on implantation of NTS. The experiment consisted on four treatments of straw quantity (No-straw, 5, 10 and 15 $t.ha^{-1}$) and three of straw managements (standing up, laying down and fragmented). After the wheel traffic on the treatments, soil resistance to penetration, water content, soil bulk density and total porosity were evaluated on the positions at which machinery traffic took place. Soil bulk density and total porosity were not affected by wheel traffic in function of straw quantity on soil surface. Treatments with straw had higher water content and consequently less resistance to penetration. There was no significant difference in water content and resistance to penetration between the treatments of straw management. In equal water content, higher straw quantity produced less resistance to penetration.

Key words: no-tillage, traffic, soil resistance.

1 INTRODUÇÃO

A compactação afeta as propriedades e funções físicas, químicas e biológicas do solo, principalmente dos mais argilosos, sendo uma das principais causas da degradação das áreas agrícolas no mundo. Os principais efeitos negativos da compactação são o aumento da resistência mecânica ao crescimento radicular e a redução da aeração e da disponibilidade de água no solo, com conseqüente decréscimo da produtividade. Além dos efeitos às plantas, a compactação causa diminuição da infiltração de água no solo, aumentando a enxurrada e, desta forma, favorecendo os processos erosivos.

Nos sistemas de preparo convencional, camadas compactadas em superfície e subsuperfície são comuns e podem ser rompidas com a utilização de implementos de preparo do solo. Já no Sistema Semeadura Direta (SSD), onde não há preparo do solo e a mobilização se restringe à linha de semeadura, a compactação deve ser evitada, pois sua correção torna-se difícil, devido à impossibilidade de revolvimento do solo em área total nesse sistema.

A compactação tem sido apontada como um problema enfrentado em áreas com SSD, principalmente em solos argilosos. A redução da produtividade e dificuldades em semear a área compactada, além de problemas para semeadura sobre a palha, como embuchamento de semeadoras, podem estimular o abandono do sistema, mesmo que temporariamente, retornando ao sistema convencional de preparo no intuito de corrigir ou eliminar esses problemas.

Na implantação do SSD, ações que visem evitar a compactação do solo terão resultados positivos. No entanto, são poucas as informações sobre como minimizar a compactação ao iniciar o sistema e quais medidas podem ser tomadas evitando-se a compactação excessiva do solo. A entrada da maquinaria na área quando o solo está com umidade apropriada, a adoção de modelos de tráfego controlado, o uso de pneus com maior área de contato e com menores pressões, a escolha dos conjuntos de implementos adequados evitando maquinaria pesada e a rotação de culturas são os principais aspectos que devem ser considerados na implantação do SSD.

Alguns produtores e pesquisadores acreditam que além desses aspectos, a presença de palha na superfície do solo no momento da implantação do sistema pode criar condições para a redução do impacto causado pelo tráfego de máquinas, assim

como fazer com que a energia contida no rodado seja dissipada antes do contato com o solo, minimizando dessa forma a compactação. Além disso, há evidências que propriedades físicas do solo como resistência à penetração, umidade, densidade e porosidade podem ser alteradas pela quantidade de palha em superfície e pelo manejo dessa palha, reduzindo o processo de compactação nos solos sob SSD.

Desta forma, o objetivo desse estudo foi avaliar em um solo argiloso os efeitos da quantidade de palha em superfície e do manejo dado a essa palha, em atributos indicadores da compactação, induzidos pelo tráfego de máquinas na implantação do SSD.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Compactação

O solo é um corpo tridimensional da paisagem, isto é, ele tem largura, comprimento e profundidade (OLIVEIRA, 2001). Ele é, portanto, um volume que pode apresentar importantes diferenças verticais com marcantes reflexos sobre as plantas. O tráfego de máquinas e as operações de preparo do solo geram diferenças no solo no intuito de criar condições favoráveis à germinação e ao crescimento radicular das culturas e/ou são necessários ao cultivo, podendo alterar negativamente atributos físicos do solo, tais como a resistência à penetração (RP), umidade (Ug), densidade (Ds) e porosidade (PT). De forma geral esses atributos são indicadores de possíveis restrições ao crescimento radicular das culturas (TORMENA et al., 2002).

O tráfego de máquinas aumenta a Ds e RP do solo em até 50%, comparando-se com áreas não trafegadas (HILL & MEZA-MONTALVO, 1990). É valido lembrar que até 1940 um trator pesava em média menos de 3 toneladas, enquanto as máquinas que trafegam pelos solos cultivados atualmente podem pesar mais de 15 t (JORGE, 1983). OLIVEIRA et al. (2003) estimam que as pressões médias aplicadas aos solos pelas máquinas agrícolas se situam entre 50 e 300 kPa. Esse peso do veículo, agindo sobre a superfície do solo, dá origem a uma força externa que causa reorganização das partículas, passando a ocupar menor volume, características do fenômeno de compactação. Segundo TORMENA & ROLOFF (1996), o efeito do tráfego do trator e da colhedora na compactação se concentra nos primeiros 0,2 m de profundidade.

Certas condições de umidade durante o preparo, o teor de argila, o de matéria orgânica e o tipo de máquina utilizada podem levar a modificações da estrutura do solo, acarretando restrições ao crescimento das raízes (DE MARIA et al., 1999), restringindo o movimento da água e do ar ao longo do perfil (JORGE, 1983), favorecendo o encharcamento temporário, alterando a distribuição de umidade, reduzindo a infiltração, diminuindo a absorção de nutrientes (DEMATTÊ, 2004), promovendo o escorrimento superficial e causando erosão excessiva (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990). Num determinado tempo e local, um desses fatores pode se tornar restritivo ao desenvolvimento das plantas, a depender do tipo de solo, da condição climática, da espécie e do estádio de desenvolvimento da planta (CAMARGO & ALLEONI, 1997).

Vários autores definem camada de solo compactada como a faixa de seu perfil em sua extensão superficial ou subsuperficial, que apresenta, devido a uma carga de compressão mecânica externa, um valor de Ds maior que em seu estado natural, sendo menor a relação de vazios ou porosidade (JORGE, 1983; DANIEL & MARETTI, 1990; MAGALHÃES, 1990). Esta redução de volume é devida ao manejo inadequado do solo (DIAS JÚNIOR, 2000). DRAGHI et al. (2005) dizem que o estado de compactação do solo depende de vários fatores, entre os quais se destacam as características originais de cada solo e as práticas de manejo empregadas. MAGALHÃES (1990) afirma que a compactabilidade depende do tipo de solo, teor de umidade e grau inicial de compactação. A Ds, distribuição e tamanho dos poros e RP das raízes são algumas das propriedades físicas alteradas pela compactação do solo (SILVA et al., 2003).

Dentre diversas limitações ao crescimento de plantas cultivadas, a compactação do solo toma, muitas vezes, dimensões sérias, pois ao causar restrição ao crescimento e desenvolvimento radiculares, acarretam uma série de problemas que afetam direta e indiretamente o crescimento e a produção das plantas (CAMARGO & ALLEONI, 1997). Com a diminuição da umidade do solo, as plantas podem sofrer com estresse hídrico mais freqüente graças ao efeito da compactação do solo (SILVA et al., 1994).

Manter condições físicas do solo adequadas é extremamente difícil, pois as atividades relacionadas à produção agrícola causam deterioração da estrutura do solo, sendo a Ds, PT e RP mais sensíveis, limitando assim o crescimento das plantas (SILVA, 2001). A compactação do solo, portanto, afeta diretamente a PT, isto é, os espaços vazios entre as partículas sólidas. Normalmente estes espaços estão cheios de ar e água, porém, quando o solo está compactado, os poros diminuem de tamanho podendo, em condições extremas, chegar a desaparecer (JORGE, 1983).

Para CAMARGO & ALLEONI (1997), a compactação é um dos principais fatores de limitação ao crescimento radicular de plantas cultivadas em solos que variam de arenosos a argilosos, com argila de baixa atividade, comumente encontrados no Brasil. Já para MAGALHÃES (1990), a alteração da Ds talvez não seja um fator de tanta importância para o desenvolvimento das plantas quanto os fatores a ela associados como aumento de tensões e redução de condutividade, permeabilidade e difusidade de água e ar no sistema poroso do solo.

É preciso considerar, segundo JORGE (1983), que um grau moderado de compactação pode ser benéfico às plantas. Esse autor diz que compactação moderada é uma pressão ligeira exercida sobre a superfície do solo, de maneira que não prejudique a PT.

A porosidade de aeração de 10 % (VOMOCIL & FLOCKER, 1961; GRABLE & SIEMER, 1968) vem sendo adotada como valor crítico para o crescimento das culturas (SILVA et al., 1994).

Sendo assim, MAGALHÃES (1990) concluiu, que deve existir um ponto ótimo de compactação, dependendo do tipo de solo, teor de umidade durante o período de germinação, tipo de cultura e disponibilidade de nutrientes.

2.2 Avaliação da Compactação

CAMARGO & ALLEONI (1997) dizem, com certa restrição, que a Ds é a medida quantitativa mais direta da compactação, citando outros atributos do solo para avaliação da compactação, tais como PT, infiltração de água e RP. Ainda, segundo os mesmos autores, a resistência do solo à inserção de um penetrômetro é, assim como a infiltração da água, um método secundário na avaliação da compactação. CARVALHO et al. (1999), discordando dessa afirmação, comentam que a Ds do solo é uma propriedade relativamente instável, variando de solo para solo e dentro de um mesmo solo, dependendo principalmente do grau de compactação, do teor de matéria orgânica, da ausência ou presença de cobertura vegetal, do sistema de cultivo empregado e da profundidade avaliada. EHLERS et al. (1983) concluíram que a resistência do solo age no crescimento das raízes predominantemente através da umidade do solo e a Ds tem menor importância para o crescimento radicular. DE MARIA et al. (1999) afirmam que a Ds e a RP são adequadas para indicar diferenças na estrutura do solo geradas por

sistemas de preparo, porém, para caracterizar a compactação, mostrando diferenças entre as camadas de solo dentro do mesmo sistema, a RP apresenta melhores resultados.

Uma forma direta para se identificar se a compactação é prejudicial às plantas, segundo ARAÚJO et al. (2001), é analisar se as raízes apresentam algum desvio lateral e se concentram na superfície com crescimento desuniforme. Os mesmos autores comentam que com a compactação podem surgir crostas superficiais e fendas, acúmulo de água no sulco, erosão hídrica, e presença de palha incorporada e não decomposta, devido às condições de anaerobiose criadas. Todos esses indicativos podem ser detectados através de avaliação visual, com penetrômetros, através de trincheiras e/ou avaliando-se a Ds; devendo ser eliminados antes da implantação de um sistema de manejo, utilizando sistemas como rotação de culturas, adubação verde, escarificação e em casos mais críticos a subsolagem (ARAÚJO et al., 2001).

A avaliação da resistência do solo à penetração, avaliada com penetrômetros, é um indicador do estado de compactação do solo (SILVA et al., 2003). Penetrômetros são aparelhos destinados a determinar a resistência do meio no qual penetram (STOLF, 1991), simulando a resistência encontrada pelas raízes ao penetrarem no solo. Apesar das diferenças entre a haste dos penetrômetros e as raízes, discutida por WHITELEY et al. (1981), esse método é bastante difundido e freqüentemente usado em áreas agrícolas em todo o mundo. A obtenção da profundidade da camada compactada (CAMARGO & ALLEONI, 1997), além da facilidade e rapidez na obtenção dos resultados e da possibilidade de maior número de repetições, são as principais vantagens do uso do penetrômetro (TORMENA & ROLOFF, 1996).

A norma S313.2 padroniza a haste e ponta dos penetrômetros (ASAE, 1998), porém, segundo CANARACHE (1990), não há uma padronização quanto aos modelos de penetrômetros usados no mundo, podendo esses variar entre países e institutos de pesquisa. No entanto, esse autor afirma que essas diferenças entre equipamentos são provavelmente menores se comparadas a outras fontes de variabilidade na RP como variações pontuais na estrutura, densidade e umidade, entre outras.

2.3 Compactação e Umidade

EHLERS et al. (1983) estudando solo cultivado e sem cultivo, dentro do limite de água disponível, observaram que a resistência do solo é o principal fator físico que controla o crescimento radicular, sendo que, a umidade do solo e não a Ds é mais

importante na contribuição para a relação entre o crescimento radicular e a resistência do solo. Nesse trabalho afirmam que a umidade do solo pode afetar o crescimento radicular por si, como um essencial fator para a planta, ou por influenciar na resistência do solo. STONE & MOREIRA (2000) verificaram que o SSD com cobertura morta adicionada (8 $t.ha^{-1}$ de acículas de pinheiro), propicia maior economia de água em comparação com os demais sistemas de preparo do solo. Todos os fatores físicos do solo diretamente relacionados ao crescimento de plantas (potencial matricial, porosidade de aeração e RP) são dependentes da umidade e condicionados pela compactação do solo (SILVA, 2001).

Quando há alteração da umidade do solo devido à chuva, irrigação, evapotranspiração e drenagem, a resistência do solo também é alterada (EHLERS et al., 1983). Com umidades do solo mais baixas encontram-se maiores valores de RP (GENRO JÚNIOR et al., 2004; ARAÚJO et al., 2001). Os de valores de RP tem sido correlacionados inversamente ao desenvolvimento radicular (TAYLOR & BURNETT, 1964; TAYLOR et al., 1966; EHLERS et al., 1983), crescimento de plantas e produtividade (BEUTLER & CENTURION, 2003; BEUTLER & CENTURION, 2004a; BEUTLER & CENTURION, 2004b). O efeito da umidade sobre a porosidade de aeração e RP é intensificado pelo aumento da Ds do solo (SILVA, 2001).

O tráfego excessivo, feito indiscriminadamente sobre diferentes condições de umidade do solo, é o principal responsável pela compactação (KLEIN & LIBARDI, 2002). A compactação adquire sua intensidade máxima somente na consistência plástica, ou seja, quando o solo tem um conteúdo de água igual ao da capacidade de campo, podendo ser moldado ou deformado contínua e permanentemente, pela aplicação de pressão relativamente moderada (CAMARGO & ALLEONI, 1997). Como se verifica, o fator umidade do solo é de fundamental importância no manejo da compactação (DEMATTÊ, 2004).

2.3.1 Correção da resistência à penetração (RP) em função da umidade do solo

Observa-se uma variação considerável de umidade do solo no tempo e no espaço, sendo que essa variação e seu efeito na RP podem mascarar diferenças impostas pelos tratamentos. Corrigindo os valores de RP para uma mesma umidade, pode-se reduzir ou eliminar o efeito da umidade do solo e melhorar o entendimento do impacto das práticas de manejo na compactação (BUSSCHER, 1990; BUSSCHER et al., 1997).

Para estudar esse efeito, esses autores aplicaram processos baseados em análise de regressão, enquanto YASIN et al. (1993) utilizaram análise de covariância. TORMENA & ROLOFF (1996) comentam que apesar da elevada variabilidade, a RP corrigida em função da umidade do solo (baseada em análise de regressão) demonstrou ser adequada na avaliação do adensamento do solo.

Além da umidade, alguns autores relacionam a RP a outros atributos do solo como Ds, areia muito fina, areia total e argila (CANARACHE, 1990). Diversos autores observam que os valores de RP são função, principalmente, da umidade e da Ds do solo (CASSEL et al., 1978; NESMITH et al., 1987; YASIN et al., 1993; ARAÚJO et al., 2001; GENRO JÚNIOR et al., 2004). Porém, por considerar a dificuldade em realizar determinações de Ds do solo em todas as amostragens com penetrômetro, pode-se obter resultados de RP corrigidos para uma mesma umidade utilizando-se apenas a relação entre RP e umidade (LEY et al., 1995; TORMENA & ROLOFF, 1996; BUSSCHER et al., 1997).

2.3.2 Níveis Críticos de Resistência à Penetração (RP)

Os fatores do solo que afetam o desenvolvimento radicular podem ser divididos em fatores químicos, como nutrientes e elementos tóxicos, e fatores físicos, como resistência mecânica à penetração, disponibilidade hídrica e aeração (ROSOLEM, 1995).

Testando sete culturas (algodão, gergelim, guar, sesbania, feijão mungo, feijão de corda e sorgo), TAYLOR & BURNETT (1964) verificaram que as raízes não penetravam no solo quando a resistência estava por volta de 2,8 MPa, na capacidade de campo. No entanto, observaram que ocorria um enraizamento considerável quando as camadas de solo estavam com valores por volta de 1,9 MPa (na capacidade de campo, com Ds de 1,73 $t.m^{-3}$). Complementando esse experimento, TAYLOR et al. (1966) testaram 4 tipos de solos de textura média a arenosa em laboratório e concluíram que a porcentagem de enraizamento do algodoeiro é menor com o acréscimo de resistência, independentemente do solo. Ainda observaram que o maior declínio de enraizamento ocorre entre os valores de 0,3 a 1,5 MPa. Valores acima de 2,5 MPa são limitantes a penetração das raízes de algodoeiro, independentemente do solo.

O valor de 2,0 MPa vem sendo adotado por vários autores como valor de RP não impeditivo ao crescimento radicular (NESMITH et al., 1987; SILVA et al., 1994;

TORMENA & ROLOFF, 1996; TORMENA et al., 1998; RIBON et al., 2003) embora outros autores tenham encontrado valores diferenciados.

ROSOLEM et al. (1994) concluiu que o crescimento radicular do milho foi 50% menor quando a RP foi igual a 1,42 MPa, porém, a resistência de até 2,0 MPa não foi suficiente para inibir completamente o crescimento radicular. CANARACHE (1990), baseado em diversos experimentos publicados no mundo, considerou valores abaixo de 2,5 MPa como sem limitações ao crescimento das raízes. SENE et al. (1985) consideram críticos os valores de 2,5 MPa para solos argilosos e de 6,0-7,0 para solos arenosos.

BEUTLER & CENTURION (2003), em estudos em casa de vegetação, concluíram que o nível crítico de RP, em relação à produção de grãos de soja é de 2,22 e 2,81 MPa, na capacidade de campo, utilizando Latossolo Vermelho de textura média e argilosa, respectivamente. Segundo BEUTLER & CENTURION (2004b), com incremento da compactação do solo, decresceu o desenvolvimento e produtividade de soja e os efeitos foram mais pronunciados no solo sem adubação, indicando que a adubação aumenta a tolerância da soja à compactação.

Nos estudos de EHLERS et al. (1983), o crescimento radicular da aveia na camada superficial (0-0,25 m) era cessado quando a RP alcançava valores superiores a 3,6 e 4,9 MPa para solo com e sem preparo, respectivamente. A explicação para esses altos valores, dada pelos autores, é que o crescimento radicular da aveia no experimento de campo dependeu principalmente da umidade do solo e em menor grau da resistência do solo.

Os valores limites de RP podem ser muito maiores que os citados nesses experimentos quando se tratar de solos bem estruturados ou quando os canais formados pela biomassa estiverem preservados, já que nesses casos, as raízes podem crescer nos espaços vazios ou entre os agregados (EHLERS et al., 1983; LAMPURLANÉS & CANTERO-MARTÍNEZ, 2003).

2.4 Sistema Semeadura Direta (SSD) e a Compactação do Solo

O SSD é uma forma de manejo conservacionista que minimiza a mobilização e mantém os restos culturais na superfície do solo. Neste sistema, a ausência de revolvimento do solo, aliada ao tráfego sistemático de máquinas, promove a

compactação em superfície, principalmente nos solos com elevados teores de argila (SECCO et al., 2000; DE MARIA et al., 1999).

Tratando-se de solos argilosos, constituídos de partículas menores, com uma PT maior, o efeito da pressão é mais severo, dando origem a maiores problemas de compactação do que nos solos arenosos. Quando uma carga ou pressão é aplicada sobre os solos argilosos, as partículas finas de argila rolam para os espaços deixados pelas partículas grosseiras, causando a diminuição do volume de poros, com conseqüente aumento na Ds (JORGE, 1983).

O aumento da resistência tem determinado dificuldades na operação de semeadura, principalmente em solos muito argilosos, com redução da profundidade das sementes e de colocação de adubo, fechamento inadequado dos sulcos de semeadura ou formação de torrões que prejudicam o contato entre solo e semente (DE MARIA et al., 2004).

No SSD os solos apresentam, em geral, a camada superficial após três ou quatro anos, com maiores valores de Ds e microporosidade e menores valores de macroporosidade e PT, quando comparados com os do preparo convencional. Isto decorre, principalmente, do arranjamento natural do solo, quando não é mobilizado, e da pressão provocada pelo tráfego de máquinas e implementos agrícolas, sobretudo quando realizado em solos argilosos e com teores elevados de umidade (STONE & SILVEIRA, 2001). A compactação do solo em superfície constitui um dos principais problemas do SSD (TORMENA & ROLOFF, 1996).

STONE & SILVEIRA (1999); TORMENA et al. (2004) e DRAGHI et al. (2005) encontraram maior RP na superfície de solos sob semeadura direta e em relação aos solos sob semeadura convencional. TORMENA et al. (2002) concluíram que sob semeadura direta, os valores de RP são maiores que sob preparo mínimo e convencional, independente da umidade do solo.

CASTRO (1995) afirma que apesar do SSD apresentar valores de Ds mais altos, são mais homogêneos ao longo do perfil, enquanto que o sistema convencional apresenta valores baixos na profundidade de preparo, mas logo abaixo desta os valores são elevados. Por outro lado, FERNANDES et al. (1983) e ALBUQUERQUE et al. (1995) verificaram não haver diferença de Ds do solo entre o SSD e o preparo convencional.

Testando o efeito do tráfego de máquinas no SSD, STRECK et al. (2004) observaram aumento da Ds e da RP e redução da PT e macroporosidade com o aumento

do número de passagens da máquina sobre o solo. Nesse trabalho a RP foi a propriedade física que melhor evidenciou o efeito das passagens do rodado da máquina. ARAÚJO et al. (2001) também relatam que a compactação do solo no SSD ocorre em superfície devido ao tráfego de máquinas e rodados agrícolas, sendo que o teor de umidade no solo no momento do tráfego define o nível de compactação.

Em um Latossolo de textura argilosa sob semeadura direta, GENRO JÚNIOR et al. (2004) constataram que houve diminuição da RP com o aumento da profundidade a partir de 0,1 m. Segundo CASTRO (1995), isso se explica pelo fato que no SSD, embora os valores sejam maiores na camada superficial, há uma diminuição gradativa dos valores em profundidade, o que dá a entender que maiores Ds do solo nas camadas superficiais do SSD não implicam em menor crescimento radicular. Ainda segundo o mesmo autor, outro fator que auxilia o desenvolvimento radicular nesse sistema é a maior umidade do solo que reduz a RP radicular.

Pode ainda estar relacionado aos canais contínuos criados no solo pelas raízes e pequenos animais, podendo minimizar o efeito da resistência do solo no crescimento radicular, efeito esse freqüentemente observado em SSD (EHLERS et al., 1983). Após cessar o ciclo da cultura, as raízes se decompõem e formam-se bioporos que, apesar de representarem pequeno volume em relação ao volume total de poros, são altamente funcionais e reduzem a resistência do solo, especialmente por formar macroporos que podem ser comprimidos quando há pressões aplicadas ao solo (IMHOFF et al., 2000). Esse efeito não pode ser observado no campo por GENRO JÚNIOR et al. (2004), em apenas um ano agrícola de estudo, demonstrando que o SSD necessita de certo tempo para estabilização dos efeitos da compactação. Dessa forma, pode-se concluir que nem sempre maiores valores de RP e de Ds estão relacionados com a redução do sistema radicular (DE MARIA et al., 1999).

Porém, a compactação em superfície no SSD tem motivado alguns agricultores, ainda que temporariamente, a retornar ao preparo convencional, visando corrigir essa limitação (TORMENA & ROLOFF, 1996). Ações que visem evitar ou minimizar os efeitos da compactação em SSD terão resultados positivos.

2.4.1 Cobertura vegetal e a compactação

ESS et al. (1998) apontou que o efeito da compactação também depende do total de resíduos de plantas que permanecem na superfície do solo e que pode afetar atributos

como Ds e umidade do solo. ACHARYA & SHARMA (1994) observaram que a cobertura do solo proporciona diminuição do problema da compactação no solo. No estudo de DAO (1996), com 3 sistemas de manejo do solo e 4 $t.ha^{-1}$ de palha, essa observação foi confirmada, pois houve aumento da Ds na superfície do solo onde a palha era retirada dos tratamentos, ficando com 0,1 $t.ha^{-1}$, tanto sob SSD quanto convencional. LEÃO et al. (2004), concluiu que a maior quantidade de resíduo pós-pastejo proporcionou menor prejuízo às propriedades físicas do solo.

BRAIDA (2004), BRANDT (2005) e BRAIDA et al. (2006) utilizando ensaio de Proctor para avaliar o efeito da palha em amostras de solo, confirmaram a hipótese de que a palha tem capacidade de dissipar parte da energia compactante. No entanto, GUPTA et al. (1987) usando palha de milho em tratamentos com até 10 $t.ha^{-1}$ nos experimentos de laboratório e campo, obteve efeitos benéficos mínimos na redução da compactação. Nos estudos de BRANDT (2005) a campo, usando 12 $t.ha^{-1}$ de palha de milho, os efeitos também não foram significativos na diminuição da compactação do solo causada pelo tráfego de um trator.

Cobertura do solo tanto em preparo convencional quanto sob semeadura direta favoreceram o crescimento radicular e resultaram em melhor aproveitamento dos nutrientes pelas plantas no estudo de ACHARYA & SHARMA (1994). Sob preparo convencional com acréscimo de 10 $t.ha^{-1}$ de acículas de Pinus, BHAGAT & ACHARYA (1987) verificaram que havia maior potencial de água no solo e maior extração de água pelas plantas, além de aumento da densidade radicular e comprimento de raízes em comparação com outros tratamentos sem cobertura vegetal.

Segundo GABRIEL FILHO et al. (2004), o tipo e quantidade de cobertura vegetal presente sobre o solo podem ainda ser fatores que interferem na tração do trator, provocando modificações no solo e diminuição do rendimento operacional, podendo ter efeitos diferenciados dependendo do tipo solo, tipo de palha, quantidade e homogeneidade da palha na área. Com 2,2 e 5,5 $t.ha^{-1}$ de palhada de ervilhaca e nabo, respectivamente, esses pesquisadores não observaram alterações nas propriedades físicas do solo de forma significativa.

2.4.2 Formação e manejo da palha

O SSD torna-se muito vantajoso com as culturas de verão, eliminando a fase em que seriam mais suscetíveis às perdas por erosão, após do preparo do solo e antes da

germinação, período em que ocorrem chuvas de elevada intensidade no Sudeste do Brasil. A cobertura é útil na proteção contra o salpicamento de partículas e encrostamento superficial causado pelo impacto direto das gotas da chuva no solo (BHAGAT & ACHARYA, 1987; ACHARYA & SHARMA, 1994) obtendo menos enxurrada e erosão. LOMBARDI NETO et al. (1988) verificaram que 8 $t.ha^{-1}$ de palha de milho sobre o solo controlam 90% as perdas de solo e 80% as de água em relação ao solo sem cobertura.

A cobertura morta no SSD não pode ser considerada apenas pelo aspecto de controle da erosão, mas também como fator de redução da evaporação de água do solo, podendo ser obtido mantendo-se o solo coberto pelo máximo de tempo possível ao longo do ano (KICHEL & MIRANDA, 2000).

Para viabilizar o SSD em regiões de outono-inverno seco (situação climática de quase toda a região Sudeste do Brasil) têm-se utilizado culturas como o milheto (*Pennisetum glaucum*) imediatamente após a colheita das culturas de verão ou em agosto-setembro com as primeiras chuvas da primavera, com o objetivo específico de produção de massa vegetal (KICHEL & MIRANDA, 2000).

Segundo KICHEL & MIRANDA (2000) o milheto é uma forrageira de clima tropical, anual, de hábito ereto, porte alto, com desenvolvimento uniforme e bom perfilhamento. A semeadura do milheto na primavera é bastante recomendada, já que a cultura tem um rápido desenvolvimento, podendo alcançar até 60 $t.ha^{-1}$ de massa verde e 20 $t.ha^{-1}$ de matéria seca.

A maior quantidade de matéria seca na superfície do solo mostrou uma tendência de elevar os índices de patinamento do rodado do trator (GABRIEL FILHO et al., 2004) e gerar dificuldades para semeadura devido ao embuchamento das semeadoras-adubadoras (ARATANI et al., 2006). No entanto, esses autores afirmam que algumas modificações mecânicas no sistema de corte de palha e haste sulcadora da semeadora-adubadora foram suficientes para diminuir o número de paradas do conjunto trator-semeadora devido ao embuchamento, aumentando o rendimento operacional.

Pode-se variar o manejo da palha deixando-a na posição natural (palha em pé), tombando-a inteira ou picada com implementos como rolo-faca, grade niveladora fechada, correntes, etc; ou ainda, picando a palha com auxílio de roçadoras, picadoras, foices, entre outros. Segundo BORTOLUZZI & ELTZ (2001), as formas de manejar a palha são bastante variáveis, sendo determinadas mais em função da disponibilidade de equipamentos na propriedade do que pelo seu efeito na palha.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado na Estação Experimental Central do Instituto Agronômico (22°52'06"S – 47°05'27"W) na cidade de Campinas – SP, Brasil, num Latossolo Vermelho distroférrico de textura argilosa (classificação segundo EMBRAPA, 1999) e clima tipo Cwa classificado pelo sistema Köppen (CAMARGO et al., 1974).

A caracterização físico-química do solo nas camadas superficial (0-0,2 m) e subsuperficial (0,8-1,0 m) pode ser observada na tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização físico-química do solo Latossolo Vermelho distroférrico de textura argilosa, no Centro Experimental Central do Instituto Agronômico, em Campinas, SP.

Atributo	Profundidade (m)	
	0-0,2	0,8-1,0
Argila (%)	60	68
Silte (%)	9	7
Areia Fina (%)	13	11
Areia Grossa (%)	18	15
CTC ($mmol_c.kg^{-1}$)	84	49

Os tratamentos de densidade de palha consistiram em 0, 5, 10 e 15 $t.ha^{-1}$ de palha sobre o solo e os tratamentos de manejo dado a essa palha foram, deixando-a em pé (intacta), deitada ou fragmentada.

A área experimental foi preparada no sistema convencional, ou seja, uma aração e duas gradagens, visando eliminar camadas compactadas de cultivos anteriores e homogeneizar o solo.

No dia 22 de setembro de 2005, início da primavera, um dia após o preparo do solo, as parcelas foram delimitadas e então foi feita a semeadura do milheto (*Pennisetum glaucum*, cultivar 'BN-2'). Em todas as parcelas foi incorporado, junto à semente, o adubo com fórmula 8-28-16. Para essa operação utilizou-se uma semeadora-adubadora marca Marchesan, modelo Super Tatu SDA^2, utilizando-se 8 das 15 linhas de semeadura no espaçamento de 0,3 m nas entrelinhas.

Para obtenção dos tratamentos com diferentes volumes de palha variou-se a densidade de sementes empregando-se 0, 27, 54 e 81 $kg.ha^{-1}$ com intuito de obter 0, 5, 10 e 15 $t.ha^{-1}$ de palha (massa seca). Oitenta dias após a semeadura foi feita a

dessecação química do milheto com 3 $L.ha^{-1}$ de glyphosate e foram avaliadas as quantidades de palha coletando 0,25 m^2 da parte aérea das plantas em cada parcela (Figura 1), secando a 60 ºC por 48 horas em estufa de circulação forçada e extrapolando os valores obtidos em $g.m^2$ para $t.ha^{-1}$, obtendo-se dessa forma a massa seca de palha por parcela.

Figura 1 – Detalhe do procedimento de amostragem para determinação da quantidade de palha nas parcelas.

Como a utilização de diferentes quantidades de sementes não foi suficiente para chegar aos quatro tratamentos de densidade de palha desejados (Figura 2), houve a necessidade de ajuste, acrescentando ou retirando palha das parcelas, dessa forma conseguindo-se chegar aos tratamentos de densidade de palha (0, 5, 10 e 15 $t.ha^{-1}$ de palha).

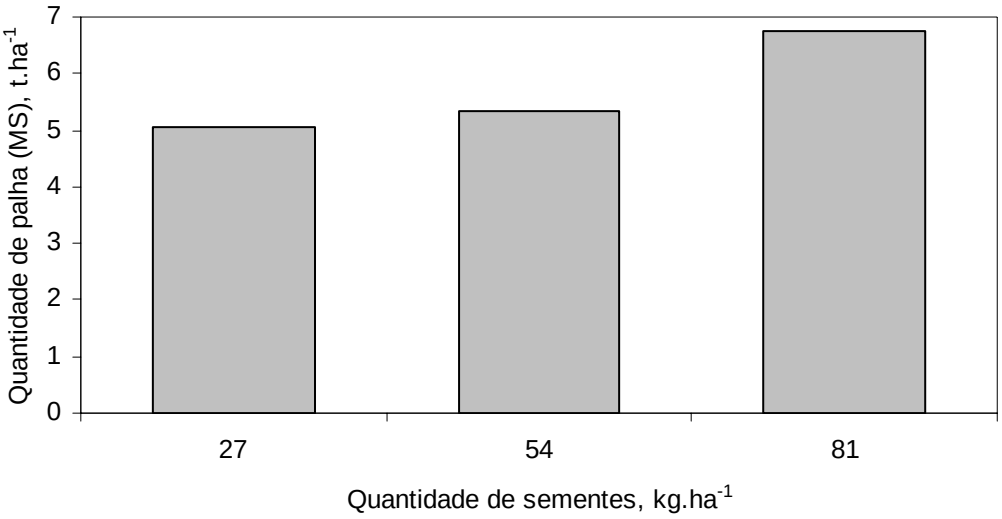

Figura 2 – Formação de palha de milheto em função da quantidade de sementes semeadas em espaçamento de 0,3 m entre linhas.

Dentro de cada parcela com diferentes densidades de palha, foram estabelecidos três tratamentos (palha em pé, deitada e fragmentada) para verificar efeito do manejo da palha na compactação do solo. Esses tratamentos foram manualmente manejados, sendo que a palha deitada foi obtida tombando-se a palha através de pisoteio; a palha fragmentada foi obtida cortando-se o milheto com foice em duas alturas, 2/3 e 1/3 da altura total da planta (aproximadamente 1,2 m), resultando em feixes com aproximadamente 0,40 m de comprimento e; a palha em pé não foi manejada, deixando a planta seca na forma natural de crescimento.

Foi usado o delineamento experimental em blocos ao acaso com parcelas sub-divididas e quatro repetições. Cada parcela contava com a área de 32 m^2 (4 x 8 m) e foram deixadas bordaduras de 3 m entre as parcelas e 5 m entre os blocos. A área útil total do experimento foi de 1.536 m^2 (32 m^2 da parcela x 4 blocos x 4 parcelas x 3 sub-parcelas).

Como se sabe, o teor de umidade do solo no momento do tráfego define o nível de compactação (ARAÚJO et al., 2001). A compactação em solos argilosos adquire sua intensidade máxima quando o tráfego é realizado com teores elevados de umidade, onde a consistência é plástica, ou seja, quando o solo tem um conteúdo de água próximo ao da capacidade de campo (STONE & SILVEIRA, 2001; CAMARGO & ALLEONI, 1997). Sendo assim, após período de intensa precipitação pluvial, quando o solo estava na consistência plástica, um trator marca Massey Ferguson, modelo 292, com peso total de 5,65 t trafegou sobre as parcelas (Figura 3), simulando uma operação de manejo para

implantação de uma cultura no SSD, com o intuito de induzir compactação no solo, uma vez que mais da metade da compactação ocorre na primeira passada (CAMARGO & ALLEONI, 1997).

Figura 3 – Tráfego sobre a área experimental: **a.** entrada do trator nas parcelas; **b.** rastro do trator nas parcelas.

Todas as avaliações foram feitas na área trafegada pelo rodado do trator (rastro) previamente demarcada por estacas, evitando-se o pisoteio dessa faixa na parcela. As amostragens foram feitas no centro do rodado. As avaliações de resistência à penetração (MPa) e umidade gravimétrica ($g.g^{-1}$) foram feitas nas camadas 0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m no 1º, 6º e 8º dias após a passagem do trator. Avaliações de densidade ($t.m^{-3}$) e porosidade ($m^3.m^{-3}$) foram feitas nas mesmas profundidades no 13º dia após a passagem do trator. A escolha das datas de amostragem foi feita de acordo com a possibilidade de ida ao campo devido às chuvas e, também, devido à disponibilidade de materiais para coleta das amostras e de equipamentos do laboratório para análise.

As avaliações de umidade (Ug), densidade (Ds) e porosidade total (PT) seguiram o método da EMBRAPA (1997) e a resistência à penetração (RP) foi medida com penetrômetro manual eletrônico, modelo PNT-2000, marca DLG (Figura 4). O equipamento foi usado com haste de 0,6 m de comprimento e ponta cônica com base de 0,068 m^2 e ângulo de 30 º.

Figura 4 – Penetrômetro manual eletrônico.

O sistema de aquisição de dados do penetrômetro eletrônico era originalmente feito de forma que os dados de resistência, obtidos através de célula de carga, fossem armazenados juntamente com os dados de profundidade, medidos através de um sensor ultra-sônico que emitia sinais a uma base refletora. Ao trabalhar com esse equipamento no campo, alguns problemas para aquisição dos dados de profundidade foram constatados quando a base refletora não estava alinhada ao sensor, apresentando dados de profundidade não correspondentes à realidade. Sendo assim, a forma de aquisição dos dados desse penetrômetro foi modificada, de forma que, depois de programado, o sistema realiza leituras a cada 0,1 m em um tempo de 10 segundos, calculando o valor médio de RP na camada avaliada e armazenando esse valor. Por ser um equipamento com variabilidade devido às características de uso manual, foram estabelecidas cinco repetições por profundidade, tomando-se a média como o valor da RP da parcela.

Os dados foram submetidos à análise de variância e testes de comparação de média pelo teste de Tukey a 5% (Tabela 2), utilizando-se o programa SISVAR 4.6 (FERREIRA, 1999).

Tabela 2 – Quadro de análise da variância para avaliação dos tratamentos de densidade e manejo da palha.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade
Bloco	3
Densidade de palha	3
Erro 1	9
Manejo da palha	2
Densidade X Manejo de palha	6
Erro 2	24
Total	47

Tendo-se observado que RP e Ug apresentaram interações com o tempo, foram usadas análises com medidas repetidas no tempo, submetidas à análise de variância e testes de comparação de média pelo teste de Tukey a 5% (Tabela 3).

Tabela 3 – Quadro de análise da variância para avaliação dos tratamentos de densidade e tempo.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade
Bloco	3
Densidade de palha	3
Erro 1	9
Tempo	2
Erro 2	6
Densidade de palha X Tempo	6
Erro 3	18
Total	47

Por causa da influência da Ug na RP do solo, os dados de RP foram corrigidos para a mesma Ug, desta forma representando melhor os efeitos dos tratamentos na RP. As correções da RP para a mesma Ug foram feitas na camada 0-0,2 m, onde foram encontrados os maiores coeficientes de correlação. As seguintes equações propostas por BUSSCHER et al. (1997) foram utilizadas no modelo de correção:

$$C = aW^{b} \quad \textbf{(1)}$$

Onde:

'C' é a resistência à penetração (MPa);

'W' é a umidade gravimétrica ($g.g^{-1}$);

‘a’ e ‘b’ são parâmetros empíricos obtidos na análise de regressão

$$C_c = C_o + \frac{dC}{dW}(W_c - W_o) \quad \textbf{(2)}$$

Onde:

C_c é a resistência à penetração corrigida;

C_o é a resistência à penetração original;

W_c é a umidade a qual os dados de resistência foram corrigidos;

W_o é a umidade gravimétrica original do C_c;

$\frac{dC}{dW}$ é a primeira derivada da equação **(1)**, ou seja, $\frac{dC}{dW} = abW_o^{\,b-1}$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não se observaram interações significativas entre as densidades de palha e o manejo da palha, em nenhum dos atributos físicos do solo avaliados. Desta forma, os efeitos das densidades de palha e dos manejos ocorreram de maneira independente. Por esse motivo, serão apresentados e discutidos separadamente os resultados obtidos pelo efeito da densidade e do manejo da palha para os atributos densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), resistência à penetração (RP) e umidade gravimétrica (Ug).

Os parâmetros Ds e PT foram avaliados 13 dias após a passagem do trator. A análise estatística descritiva por profundidade de amostragem desses parâmetros e os valores médios por tratamentos são apresentados, respectivamente nas tabelas 4 e 5.

Tabela 4 – Estatística descritiva dos valores de densidade e porosidade total do solo determinados no rastro do rodado, 13 dias após a passagem do trator, nas três profundidades avaliadas.

	Profundidade (m)					
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3
	Densidade ($t.m^{-3}$)			Porosidade total ($m^3.m^{-3}$)		
Média	1,31	1,34	1,33	0,58	0,56	0,54
Coeficiente de variação, %	4,7	4,3	6,4	4,8	4,1	5,5
Mínimo	1,10	1,22	1,19	0,47	0,51	0,48
Máximo	1,43	1,48	1,52	0,62	0,61	0,61
Coeficiente de assimetria	-0,36	0,03	0,36	-2,18	-0,11	-0,10
Coeficiente de curtose	4,34	2,50	2,14	9,27	2,77	2,58

Os valores médios da Ds e da PT ficaram bastante próximos comparando-se as três camadas avaliadas. Os valores de coeficiente de variação e amplitude são baixos.

Tabela 5 – Valores médios de densidade e porosidade total do solo no rastro do rodado em função dos tratamentos de densidade e de manejo da palha em três profundidades, 13 dias após a passagem do trator na área.

Densidade de palha	Profundidade (m)					
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3
	Densidade ($t.m^{-3}$)			Porosidade ($m^3.\ m^{-3}$)		
Sem palha	1,28 a	1,36 a	1,35 a	0,573 a	0,562 a	0,539 a
5 $t.ha^{-1}$	1,29 a	1,33 a	1,32 a	0,581 a	0,566 a	0,538 a
10 $t.ha^{-1}$	1,36 a	1,35 a	1,32 a	0,574 a	0,553 a	0,541 a
15 $t.ha^{-1}$	1,31 a	1,34 a	1,33 a	0,584 a	0,567 a	0,553 a
Manejo da palha	**Profundidade (m)**					
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3
	Densidade ($t.m^{-3}$)			Porosidade ($m^3.\ m^{-3}$)		
Palha em pé	1,28 a	1,35 a	1,32 a	0,580 a	0,559 a	0,539 a
Palha tombada	1,33 b	1,34 a	1,34 a	0,578 a	0,562 a	0,541 a
Palha fragmentada	1,32 ab	1,34 a	1,33 a	0,575 a	0,564 a	0,548 a

Médias nas colunas seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tanto entre os tratamentos de densidade de palha quanto entre os tratamentos de manejo da palha não verificou-se diferenças significativas para os parâmetros Ds e PT, exceto na camada 0-0,1 m, onde para a densidade o manejo com palha em pé diferiu significativamente do manejo com palha tombada, sendo menor a densidade quando a palha foi mantida em pé.

Apenas uma passagem do trator de 5,65 t sobre as parcelas pode não ter sido suficiente para gerar alterações significativas na Ds e PT do solo. STRECK et al. (2004) observaram aumento da Ds e redução da PT até 0,3 m com quatro passagens de uma máquina com massa de 10 t sobre o solo. Com duas passagens dessa máquina, as médias foram estatisticamente iguais às da testemunha sem compactação adicional até 0,15 m de profundidade, sendo superiores apenas na camada 0,15-0,3 m.

É provável que o tempo do estudo também tenha sido insuficiente para se observar mudanças significativas nos atributos Ds e PT devido ao tráfego. STONE & SILVEIRA (2001) afirmaram que aumentos nos valores de Ds e diminuição da PT são observados na camada superficial, em geral, após três ou quatro anos de implantação do SSD.

A análise estatística descritiva por profundidade amostrada dos parâmetros RP e Ug nas três datas de amostragem são apresentadas nas tabelas 6, 7 e 8. Os valores do coeficiente de variação para RP são altos, especialmente comparando-se com as demais variáveis. Para a Ug, os coeficientes de variação, especialmente na camada superficial, aumentam com o passar do tempo, indicando, como esperado, que o processo de secamento do solo não é uniforme em toda a área das parcelas.

Tabela 6 – Estatística descritiva dos valores de resistência à penetração e umidade do solo determinados no rastro do rodado, 1 dia após a passagem do trator na área, nas três profundidades avaliadas.

	Profundidade (m)					
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3
	Resistência (MPa)			Umidade ($g.g^{-1}$)		
Média	0,42	0,72	1,49	0,27	0,28	0,27
Coeficiente de variação, %	31,8	35,2	25,6	6,0	4,4	4,5
Mínimo	0,17	0,33	0,73	0,24	0,25	0,24
Máximo	0,80	1,28	2,40	0,32	0,30	0,29
Coeficiente de assimetria	0,49	0,45	0,15	0,00	0,32	0,06
Coeficiente de curtose	3,12	2,33	2,75	3,32	2,38	2,31

Tabela 7 – Estatística descritiva dos valores de resistência à penetração e umidade do solo determinados no rastro do rodado, 6 dias após a passagem do trator na área, nas três profundidades avaliadas.

	Profundidade (m)					
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3
	Resistência (MPa)			Umidade ($g.g^{-1}$)		
Média	1,37	1,40	2,14	0,21	0,23	0,23
Coeficiente de variação, %	72,6	27,2	22,4	14,5	9,9	5,5
Mínimo	0,45	0,67	1,33	0,14	0,17	0,19
Máximo	3,75	2,28	3,15	0,25	0,25	0,25
Coeficiente de assimetria	1,15	0,49	0,38	-0,87	-0,88	-1,09
Coeficiente de curtose	2,81	2,76	2,33	2,34	2,44	3,95

Tabela 8 – Estatística descritiva dos valores de resistência à penetração e umidade do solo determinados no rastro do rodado, 8 dias após a passagem do trator na área, nas três profundidades avaliadas.

	Profundidade (m)					
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3
	Resistência (MPa)			Umidade ($g.g^{-1}$)		
Média	1,71	1,39	1,94	0,20	0,22	0,22
Coeficiente de variação, %	79,8	35,0	21,7	14,0	10,0	5,0
Mínimo	0,42	0,73	1,27	0,15	0,17	0,19
Máximo	5,30	2,75	3,07	0,24	0,25	0,24
Coeficiente de assimetria	1,14	1,05	0,44	-0,16	-0,71	-1,19
Coeficiente de curtose	2,99	3,71	2,71	1,61	2,50	4,75

De forma geral, as médias de RP mostraram a tendência de acréscimo em profundidade, possivelmente refletindo o efeito de camadas compactadas de cultivos anteriores e/ou pelo preparo do solo ter sido feito no sistema convencional. Embora o preparo tenha sido feito para eliminar camadas compactadas, a profundidade de mobilização do solo não ultrapassou os 0,20 m. CASTRO (1995) observou que o sistema convencional de preparo do solo apresenta valores de Ds baixos na profundidade de preparo, mas logo abaixo desta os valores são elevados.

Os maiores valores de RP nos dias subseqüentes à passagem do trator podem estar relacionados inversamente aos menores valores de Ug encontrados, devido ao secamento do solo. Essa relação inversa foi constatada anteriormente por BUSSCHER (1990), BUSSCHER et al. (1997), GENRO JÚNIOR et al. (2004), ARAÚJO et al. (2001), entre outros. Além da umidade, alguns autores, relacionam a RP a outros atributos do solo como Ds, areia muito fina, areia total e argila (CANARACHE, 1990), sendo que, nesse trabalho, não há diferença nos valores de granulometria entre os tratamentos, por se tratar da mesma área.

Os maiores coeficientes de variação de Ug ocorreram na camada 0-0,1 m principalmente devido à evaporação de água que ocorre de forma acelerada na superfície do solo onde não há cobertura morta. STONE & MOREIRA (2000) afirmaram que sob SSD, com cobertura morta adicionada (8 $t.ha^{-1}$ de acículas de pinheiro), ocorrem menores perdas de água por evaporação, levando ao uso mais eficiente da água, propiciando maiores produtividades com menor quantidade de água aplicada por irrigação.

Na tabela 9 e no anexo 1 (em forma de gráfico) são apresentados os valores médios de resistência à penetração (RP), umidade (Ug) dos tratamentos obtidos um dia

após a passagem do trator sobre as parcelas, após intensa precipitação pluvial, ocasião em que a umidade do solo estava próxima à capacidade de campo.

Tabela 9 – Valores médios de resistência à penetração e umidade do solo determinados no rastro do rodado, em função dos tratamentos de densidade e de manejo da palha, 1 dia após a passagem do trator, nas três profundidades avaliadas.

Densidade de palha						
Tratamentos	Profundidade (m)					
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3
	Resistência (MPa)			Umidade ($g.g^{-1}$)		
Sem palha	0,41 ab	0,72 a	1,57 a	0,26 a	0,27 a	0,26 a
5 $t.ha^{-1}$	0,51 b	0,86 a	1,63 a	0,27 ab	0,28 a	0,27 a
10 $t.ha^{-1}$	0,35 a	0,72 a	1,37 a	0,28 b	0,28 a	0,27 a
15 $t.ha^{-1}$	0,39 ab	0,57 a	1,39 a	0,28 b	0,28 a	0,27 a
Manejo da palha						
Tratamentos	Profundidade (m)					
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3
	Resistência (MPa)			Umidade ($g.g^{-1}$)		
Palha em pé	0,49 b	0,77 a	1,54 a	0,28 a	0,28 a	0,27 a
Palha tombada	0,37 a	0,69 a	1,41 a	0,27 a	0,28 a	0,27 a
Palha fragmentada	0,39 a	0,70 a	1,52 a	0,27 a	0,28 a	0,26 a

Médias nas colunas seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Nessas condições, houve diferença significativa entre as médias de RP e Ug dos tratamentos de densidade de palha na camada 0-0,1 m, sendo que, nas camadas 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m as médias de RP e Ug foram estatisticamente iguais. Esses resultados demonstram que o efeito do tráfego de um trator de 5,65 t sobre as densidades de palha na RP do solo ocorre apenas em superfície, quando avaliados na capacidade de campo. TORMENA & ROLOFF (1996) obtiveram em seu trabalho que o efeito do tráfego de trator e colhedora ocorria até 0,2 m de profundidade.

Os valores de Ug, na camada superficial de 0-0,1 m, foram maiores quanto maior a densidade de palha. Já os valores de RP, na camada 0-0,1 m, não apresentaram o comportamento previsto, sendo a densidade 15 $t.ha^{-1}$ e o tratamento sem palha estatisticamente iguais. A densidade 10 $t.ha^{-1}$ de palha apresentou o menor valor médio enquanto 5 $t.ha^{-1}$ de palha apresentou o maior valor de RP.

É na capacidade de campo que alguns autores avaliaram o efeito da RP no crescimento de raízes e de plantas, além da produtividade das culturas (TAYLOR & BURNETT, 1964; TAYLOR et al., 1966; CANARACHE, 1990; BEUTLER & CENTURION, 2003; BEUTLER & CENTURION, 2004b). Como há diferenças entre

os valores críticos ao crescimento radicular e de plantas obtidos nessas pesquisas, o valor de 2,0 MPa (TAYLOR & BURNETT, 1964) vem sendo adotado como não impeditivo ao crescimento radicular das culturas (NESMITH et al., 1987; SILVA et al., 1994; TORMENA & ROLOFF, 1996; TORMENA et al., 1998; RIBON et al., 2003). Sendo assim, pode-se observar que nenhum dos tratamentos apresentou valores acima desse limite nas três camadas avaliadas.

No manejo da palha, foram observadas diferenças significativas dos valores de RP dos manejos com palha tombada e fragmentada em relação ao manejo com palha em pé na camada 0-0,1 m, porém, os valores observados nessa camada não são impeditivos ao crescimento e desenvolvimento radicular.

O manejo da palha resultou em menores valores de RP na camada superficial de 0-0,1 m em relação às demais camadas. No entanto, para o tombamento ou a fragmentação da palha, no intuito de minimizar a RP, é necessário o tráfego de implementos (rolo-faca, gradagens fechadas, roçadoras e picadoras, etc.), devendo ser avaliado se o efeito do manejo da palha compensa o tráfego adicional.

Nas tabelas 10 e 11 e no anexo 1 (em forma de gráfico), são apresentados os valores médios de RP e Ug obtidos no 6º e 8º dias após a passagem do trator, respectivamente.

Tabela 10 – Valores médios de resistência à penetração e umidade do solo determinados no rastro do rodado, em função dos tratamentos de densidade e de manejo da palha, 6 dias após a passagem do trator, nas três profundidades avaliadas.

Densidade de palha						
Tratamentos	Profundidade (m)					
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3
	Resistência (MPa)			Umidade ($g.g^{-1}$)		
Sem palha	2,99 c	1,75 b	2,34 bc	0,17 a	0,19 a	0,21 a
5 $t.ha^{-1}$	1,10 b	1,48 ab	2,37 c	0,21 b	0,23 b	0,23 b
10 $t.ha^{-1}$	0,73 a	1,16 a	1,97 ab	0,24 c	0,24 c	0,24 b
15 $t.ha^{-1}$	0,69 a	1,20 a	1,90 a	0,24 c	0,24 bc	0,23 b
Manejo da palha						
Tratamentos	Profundidade (m)					
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3
	Resistência (MPa)			Umidade ($g.g^{-1}$)		
Palha em pé	1,32 a	1,40 a	2,09 a	0,21 a	0,23 a	0,23 a
Palha tombada	1,39 a	1,44 a	2,22 a	0,21 a	0,23 a	0,23 a
Palha fragmentada	1,40 a	1,35 a	2,12 a	0,21 a	0,23 a	0,23 a

Médias nas colunas seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 11 – Valores médios de resistência à penetração e umidade do solo determinados no rastro do rodado, em função dos tratamentos de densidade e de manejo da palha, 8 dias após a passagem do trator, nas três profundidades avaliadas.

Densidade de palha						
Tratamentos	Profundidade (m)					
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3
	Resistência (MPa)			Umidade ($g.g^{-1}$)		
Sem palha	3,74 c	1,89 b	1,97 a	0,17 a	0,19 a	0,21 a
5 $t.ha^{-1}$	1,62 b	1,46 ab	2,01 a	0,19 a	0,22 b	0,23 b
10 $t.ha^{-1}$	0,81 a	1,12 a	2,00 a	0,22 b	0,24 b	0,23 b
15 $t.ha^{-1}$	0,66 a	1,09 a	1,80 a	0,23 b	0,24 b	0,23 b
Manejo da palha						
Tratamentos	Profundidade (m)					
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3
	Resistência (MPa)			Umidade ($g.g^{-1}$)		
Palha em pé	1,58 a	1,36 a	1,94 a	0,20 a	0,22 a	0,22 a
Palha tombada	1,66 a	1,40 a	1,90 a	0,20 a	0,22 a	0,22 a
Palha fragmentada	1,88 a	1,42 a	1,99 a	0,21 a	0,22 a	0,23 a

Médias nas colunas seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Nas tabelas 10 e 11 nota-se que o manejo da palha não apresentou diferença significativa em nenhuma das profundidades avaliadas. O motivo para essa igualdade é

o efeito do tráfego, que tombou a palha que estava em pé, tornando esses tratamentos semelhantes.

Por outro lado, os tratamentos de densidade de palha apresentaram diferenças significativas de Ug até a profundidade de 0,3 m no 6º e 8º dias após a passagem do trator (Tabelas 10 e 11), demonstrando o efeito da maior densidade de palha sobre esse atributo do solo. É notável que no tratamento sem palha a perda de Ug é bastante acentuada, principalmente na camada 0-0,1 m. Com a diminuição da umidade do solo, as plantas podem sofrer com estresse hídrico mais freqüente graças ao efeito da compactação do solo (SILVA et al., 1994).

Os tratamentos com palha proporcionaram os maiores valores de Ug e, de forma geral, apresentam valores crescentes com o aumento da profundidade e da densidade de palha, o que concorda com as afirmações de CASTRO (1995), de que no SSD ocorre maior umidade do solo que no sistema convencional. Esses resultados concordam com ESS et al. (1998) que afirma que o total de resíduos de plantas que permanecem na superfície do solo pode afetar a umidade do solo.

Quando há alteração da umidade do solo devido à chuva, irrigação, evapotranspiração e drenagem, a resistência à penetração do solo também é alterada (EHLERS et al., 1983). Sendo assim, se a palha ajuda a manter a umidade do solo, é esperado que nos tratamentos com palha, onde a Ug é maior, os valores de RP sejam menores.

Para a RP, os tratamentos apresentaram diferenças até 0,3 m de profundidade no 6º dia e até 0,2 m no 8º dia após a passagem do trator. A palha em superfície reduziu os valores de RP e os efeitos demonstraram-se significativos com o aumento da densidade de palha. O tratamento sem palha apresentou valores médios de RP superiores aos considerados críticos ao crescimento radicular (2MPa) na camada 0-0,1 m e 0,2-0,3 m no 6º dia e na camada 0-0,1 m no 8º dia. Nos tratamentos com palha, valores críticos foram alcançados na camada 0,2-0,3 m com 5 $t.ha^{-1}$ de palha no 6º dia e no 8º dia com 5 e 10 $t.ha^{-1}$.

No 6º e 8º dias após a passagem do trator, os efeitos dos tratamentos com palha na RP foram crescentes em relação à profundidade, demonstrando efeitos de cultivos anteriores e/ou de adensamento natural do solo. Já no tratamento sem palha, esse efeito não foi observado, pois a umidade na camada 0-0,1 m foi bastante baixa.

Observaram-se interações significativas entre as densidades de palha e o tempo após a passagem do trator com relação à RP e Ug. Desta forma, os efeitos das

densidades de palha no tempo ocorreram de maneira dependente do nível do tratamento. Por esse motivo, serão apresentadas e discutidas as médias dos tratamentos e médias no tempo com as devidas interações entre esses, para os atributos RP e Ug (Tabela 12 e no anexo 2, em forma de gráfico).

Tabela 12 – Variação dos valores médios de resistência à penetração e de umidade por camada de solo no tempo, determinados no rastro do rodado, em função da quantidade de palha nas três profundidades avaliadas.

Tratamentos	Tempo (dias após a passagem do trator na área)					
	1	6	8	1	6	8
	Resistência (MPa)			Umidade ($g.g^{-1}$)		
	Camada 0-0,1 m					
Sem palha	0,41 A	2,99 B	3,74 C	0,26 B	0,17 A	0,17 A
5 $t.ha^{-1}$	0,51 A	1,09 B	1,62 C	0,27 C	0,21 B	0,19 A
10 $t.ha^{-1}$	0,35 A	0,73 B	0,81 B	0,28 C	0,24 B	0,22 A
15 $t.ha^{-1}$	0,39 A	0,69 A	0,66 A	0,28 B	0,24 A	0,23 A
	Camada 0,1-0,2 m					
Sem palha	0,72 A	1,75 B	1,89 B	0,27 B	0,19 A	0,19 A
5 $t.ha^{-1}$	0,86 A	1,48 B	1,47 B	0,28 C	0,23 B	0,22 A
10 $t.ha^{-1}$	0,72 A	1,16 B	1,12 B	0,28 C	0,24 B	0,24 A
15 $t.ha^{-1}$	0,57 A	1,20 B	1,09 B	0,28 B	0,24 A	0,24 A
	Camada 0,2-0,3 m					
Sem palha	1,57 A	2,34 C	1,97 B	0,26 B	0,21 A	0,21 A
5 $t.ha^{-1}$	1,63 A	2,38 C	2,01 B	0,27 B	0,23 A	0,23 A
10 $t.ha^{-1}$	1,37 A	1,97 B	2,00 B	0,27 B	0,24 A	0,23 A
15 $t.ha^{-1}$	1,39 A	1,90 B	1,80 B	0,27 B	0,23 A	0,23 A

Médias de RP e Ug nas linhas seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Com a diminuição da umidade do solo nos dias seguintes à passagem do trator, pôde-se observar o aumento expressivo da RP no tratamento sem palha, na camada de 0-0,1 m, chegando a valores superiores a 2,0 MPa. Também se nota que a palha em superfície mantém a umidade do solo no decorrer do tempo, concordando com as afirmações de KICHEL & MIRANDA (2000), sendo que esse fator contribui para menores valores de RP (BUSSCHER, 1990; BUSSCHER et al., 1997; GENRO JÚNIOR et al., 2004; ARAÚJO et al., 2001).

Outros autores como ACHARYA & SHARMA (1994); DAO (1996); ESS et al. (1998) e LEÃO et al. (2004) já haviam relatado o efeito da palha em superfície na diminuição do problema da compactação. No entanto, GUPTA et al. (1987); BRANDT (2005) e GABRIEL FILHO et al. (2004) não observaram esse efeito. Com os resultados

obtidos nesse estudo pode-se afirmar que em locais com maior densidade de palha a RP é menor devido à maior Ug.

Com umidades mais elevadas, os tratamentos com palha obtiveram menores valores de RP. Esse fato pode ser um dos motivos que levam produtores e pesquisadores a acreditar na capacidade do SSD em reduzir a compactação no solo. Porém, para se comprovar o efeito do sistema ou da densidade e/ou do manejo da palha sobre a compactação deve-se avaliar o solo nas mesmas condições de umidade. Pela palha em superfície ter modificado significativamente os valores de Ug no tempo, principalmente na camada 0-0,2 m, o efeito dos tratamentos sobre a RP pode ter sido mascarado, já que existe forte correlação negativa (r = - 0,76) entre os atributos RP e Ug (Figura 5).

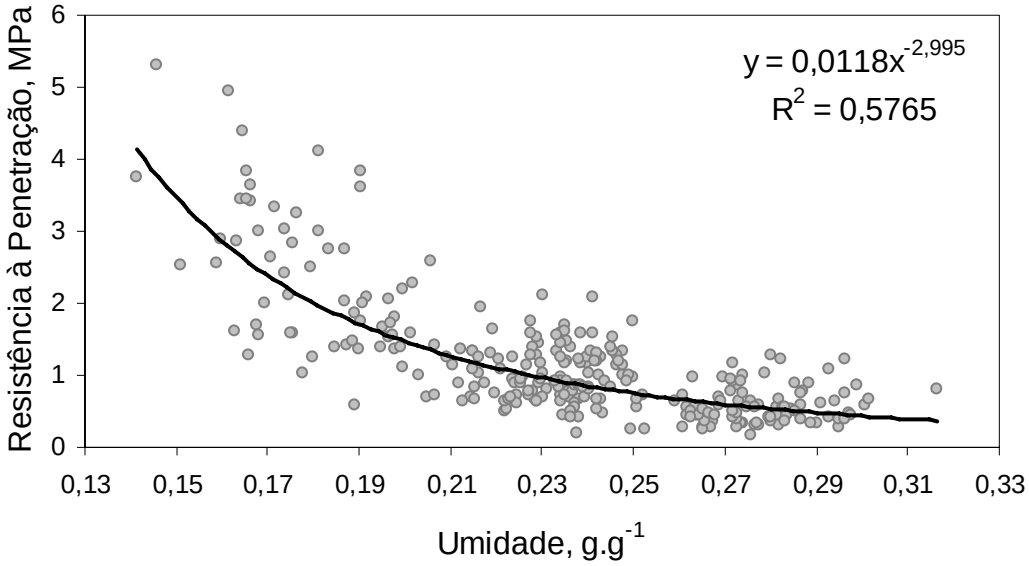

Figura 5 – Correlação entre resistência e umidade do solo na camada 0-0,2 m (n = 288).

A RP relacionou-se inversamente à umidade, principalmente até a profundidade de 0,2 m, não sendo possível verificar essa mesma relação na camada de 0-0,3 e 0,2-0,3 m (Figura 6). Esse fato pode ser explicado pela menor variação dos valores de RP e Ug na camada mais profunda avaliada (0,2-0,3 m).

Corrigindo os valores de RP para uma mesma Ug, pode-se reduzir ou eliminar o efeito da umidade do solo e melhorar o entendimento do impacto dos tratamentos nos valores de RP obtidos (BUSSCHER et al., 1997). Sendo assim, houve necessidade de correção dos valores de RP para uma mesma Ug de acordo com as equações propostas por BUSSCHER et al. (1997). Esse procedimento de correção da resistência para um

mesmo valor de umidade tem sido pouco utilizado. TORMENA & ROLOFF (1996) comentam que apesar da elevada variabilidade, a RP corrigida demonstrou ser adequada para a avaliação do adensamento do solo.

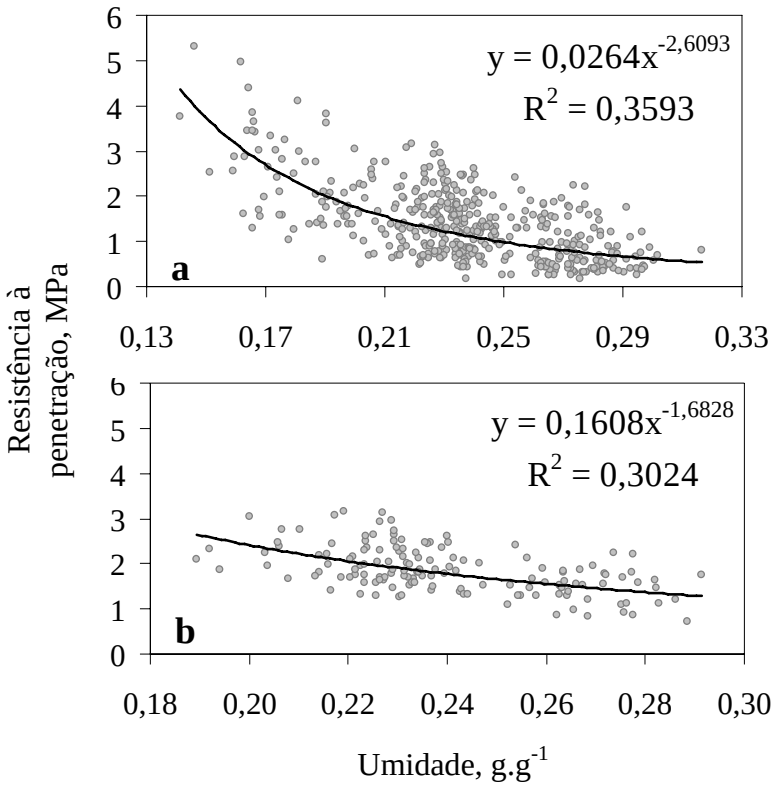

Figura 6 – Correlação entre resistência e umidade do solo: **a.** na camada 0-0,3 m (n = 432); **b.** na camada 0,2-0,3 m (n = 144).

A comparação entre os tratamentos de densidade e manejo da palha para os valores de RP corrigidos para a mesma Ug de 0,15 $g.g^{-1}$ são apresentados na tabela 13.

Tabela 13 – Valores médios de resistência à penetração, determinados no rastro do rodado, em função dos tratamentos de densidade e de manejo da palha, corrigidos para a umidade de 0,15 $g.g^{-1}$ nas duas profundidades avaliadas.

Densidade de palha						
	Profundidade (m)					
Tratamentos	0,0-0,1	0,1-0,2	0,0-0,1	0,1-0,2	0,0-0,1	0,1-0,2
	1º dia		6º dia		8º dia	
	Resistência (MPa)					
Sem palha	1,24 bc	1,51 a	3,60 b	2,81 b	4,46 c	2,92 b
5 $t.ha^{-1}$	1,27 c	1,61 a	2,12 a	2,47 ab	2,59 b	2,51 ab
10 $t.ha^{-1}$	1,10 a	1,44 a	1,70 a	2,09 a	1,84 a	2,10 a
15 $t.ha^{-1}$	1,14 ab	1,34 a	1,66 a	2,15 a	1,67 a	2,06 a
Manejo da palha						
Tratamentos	Profundidade (m)					
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,0-0,1	0,1-0,2	0,0-0,1	0,1-0,2
	1º dia		6º dia		8º dia	
	Resistência (MPa)					
Palha em pé	1,25 b	1,54 a	2,27 a	2,38 a	2,54 a	2,37 a
Palha tombada	1,15 a	1,44 a	2,30 a	2,44 a	2,53 a	2,42 a
Palha fragmentada	1,16 a	1,45 a	2,24 a	2,33 a	2,84 a	2,42 a

Médias nas colunas seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Para o primeiro dia após a passagem do trator, o efeito dos tratamentos de densidade de palha na RP foi significativo, apresentando os maiores valores nos tratamentos com 5 $t.ha^{-1}$ de palha e sem palha. No 6º e 8º dias, a diferença entre os tratamentos aumenta e aparece também na camada 0,1-0,2 m.

Nos tratamentos de manejo da palha, houve efeito significativo de redução da RP nos manejos da palha tombada e fragmentada em relação à palha em pé na camada 0-0,1 m. Esse efeito era o esperado, uma vez que em pé a palha não apresentaria o mesmo efeito de dissipação da energia da compactação comparativamente aos tratamentos com a palha deixada sobre o solo. Entretanto, o mesmo não pode ser observado nos dias subseqüentes.

O comportamento da RP corrigida no tempo pode ser observado na tabela 14 e no anexo 3, em forma de gráfico.

Tabela 14 – Variação dos valores de resistência à penetração corrigida para a umidade de 0,15 $g.g^{-1}$ no tempo em função da quantidade de palha nas duas profundidades avaliadas.

Tratamentos	Tempo (dias após a passagem do trator na área)		
	1	6	8
	Resistência (MPa)		
	Camada 0-0,1 m		
Sem palha	1,24 A	3,60 B	4,46 C
5 $t.ha^{-1}$	1,27 A	2,12 B	2,59 C
10 $t.ha^{-1}$	1,10 A	1,70 B	1,84 B
15 $t.ha^{-1}$	1,14 A	1,66 B	1,67 B
	Camada 0,1-0,2 m		
Sem palha	1,51 A	2,81 B	2,92 B
5 $t.ha^{-1}$	1,61 A	2,47 B	2,51 B
10 $t.ha^{-1}$	1,44 A	2,09 B	2,10 B
15 $t.ha^{-1}$	1,34 A	2,15 B	2,06 B

Médias nas linhas seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Entre os tratamentos de densidade e manejo da palha os valores de RP corrigidos para um mesmo valor de umidade estão mais próximos do que os valores de RP não corrigidos, porém, as diferenças entre os dias após a passagem do trator foram mantidas. Se as diferenças entre os dias fossem função apenas da umidade do solo essas diferenças deveriam ter sido eliminadas. Isso significa que a RP aumentou com o tempo independentemente do teor de umidade.

Esse resultado pode estar relacionado ao efeito residual do manejo do solo, apresentando valores crescentes de RP com o tempo pela acomodação do solo. Além disso, o processo de secagem e umedecimento do solo que contribui para a acomodação do solo, ou aumento da Ds, com o tempo seria também maior no tratamento sem palha, por isso as diferenças se ampliam no tempo mesmo com os valores de resistência corrigidos para a mesma umidade. Estudos sobre a dinâmica da resistência à penetração em função da umidade do solo, da densidade de palha, da carga sobre o solo e do tempo são ainda necessários para elucidar essas pressuposições, podendo contribuir para ampliar o conhecimento sobre o processo de compactação do solo e sua relação com o desenvolvimento radicular e produção das culturas.

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos no presente trabalho, conclui-se que:

a) a densidade e porosidade total do solo não foram alteradas pela passagem do trator em função do acúmulo da quantidade de palha em superfície;
b) o manejo da palha não proporcionou alterações significativas nos valores de resistência e umidade;
c) o aumento da densidade de palha em superfície reduziu a resistência à penetração e aumentou a umidade do solo no rastro do rodado;
d) a redução da resistência à penetração com o aumento da densidade de palha não foi devido apenas ao aumento da umidade do solo nos tratamentos com palha e, portanto,
e) maiores densidades de palha geraram menores valores de resistência à penetração, comprovando o efeito da palha em superfície na redução da compactação.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASAE - American Society of Agricultural Engineers. **Soil cone penetrometer.** ASAE Standards S313.2. St. Joseph, p.820-821, 1998.

ACHARYA, C.L. & SHARMA, P.D. Tillage and mulch effects on soil physical environment, root growth, nutrient uptake and yield of maize and wheat on an Alfisol in north-west India. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.32, p. 291-302, 1994

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.115-119, 1995.

ARATANI, R.C.; DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; PECHE FILHO, A.; DUARTE, A.P. & KANTHACK, R.A.D. Desempenho de semeadoras-adubadoras de soja em Latossolo Vermelho muito argiloso com palha intacta de milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.2, p.517-522, 2006.

ARAÚJO, A.G.; CASÃO JUNIOR, R. & SIQUEIRA, R. Máquinas para semear. **Cultivar Máquinas**, v.1, n.2, p.10-11, 2001.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** São Paulo: Ícone, 1990. 355p.

BEUTLER, A.N. & CENTURION, J.F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.6, p.581-588, 2004a.

BEUTLER, A.N. & CENTURION, J.F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.7, p.849-856, 2003.

BEUTLER, A.N. & CENTURION, J.F. Soil compaction and fertilization in soybean productivity. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.61, n.6, p.626-631, 2004b.

BHAGAT, R.M. & ACHARYA, C.L. Effect of soil management on rain-fed wheat in northern Índia. I. Hidro-thermal regime and root growth. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.9, p.65-77, 1987.

BORTOLUZZI, E.C. & ELTZ, F.L.F. Manejo da palha de aveia preta sobre as plantas daninhas e rendimento de soja em semeadura direta**. Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.2, p.237-243, 2001.

BRAIDA, J.A. **Matéria orgânica e resíduos vegetais na superfície do solo e suas relações com o comportamento mecânico do solo sob plantio direto.** 2004. 107f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2004.

BRAIDA, J.A.; REICHERT, J.M.; VEIGA, M. & REINERT, D.J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio de proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.4, p.605-614, 2006.

BRANDT, A.A. **Propriedades mecânicas de solo franco arenoso sob distintos sistemas de preparo, tráfego mecanizado e resíduos vegetais.** 2005. 69f. Tese Dissertação (de Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2005.

BUSSCHER, W.J. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. **Transactions of the American Engineering Society of Agricultural Engineers**, v.33, p.519-524, 1990.

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

CAMARGO, A.P.; PINTO, H.S.; BRUNINI, O.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; ORTOLANI, A.A. & ALFONSI, R.R. **Clima do Estado de São Paulo.** In: Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo. São Paulo, Secretaria de Agricultura. v.1, p.51-86, 1974.

CAMARGO, O.A. & ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas.** Piracicaba: Esalq, 1997. 132p.

CANARACHE, A. PENETR – A generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.16, p.51-70, 1990.

CARVALHO, E.J.M.; FIGUEIREDO, M.S. & COSTA, L.M. Comportamento físico-hídrico de um Podzólico Vermelho-amarelo câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.2, p.257-265, 1999.

CASSEL, D.K.; BOWEN, H.D. & NELSON, L.A. An evaluation of mechanical impedance for three tillage treatments on Norfolk sandy loam. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.42, p.116-120, 1978.

CASTRO, O.M. Cultivo mínimo e propriedades físicas do solo. In: SEMINÁRIO SOBRE CULTIVO MÍNIMO DO SOLO EM FLORESTAS, 1., Curitiba, 1995. **Anais.** Curitiba: Sociedade Brasileira de Silvicultura, p.34-42, 1995.

DANIEL, L.A. & MARETTI, H.J. Avaliação de camada de solo compactado e análise de crescimento de plantas. IN: SIVEIRA, G.M. **IV Ciclo de Estudos sobre Mecanização Agrícola.** Campinas: Fundação Cargill, p.22-33, 1990.

DAO, T.H. Tillage system and crop residue effects on surface compaction of a Paleustoll. **Agronomy Journal**, v.88, p.141-148, 1996.

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

DE MARIA, I.C.; DUARTE, A.P. & CECCON, G. Plantio direto no médio Paranapanema. **O Agronômico**, v.56, n.2, p.22-26, 2004.

DEMATTÊ, J.L.I. Manejo e conservação de solos, na cultura da cana. **Visão agrícola**, n.1, p.8-17, 2004.

DIAS JÚNIOR, M.S. Compactação do solo. In: **Tópicos em ciências do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. v.1, p.55-94, 2000.

DRAGHI, L.M.; BOTTA,G.F.; BALBUENA, R.H.; CLAVERIE J.A. & ROSATTO, H. Diferencias de las condiciones mecánicas de um suelo arcilloso sometido a diferentes sistemas de labranza. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.1, p.120-124, 2005.

EHLERS, W.W.; KÖPKE, F. HESSE, F. & BÖHM, W. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.3, p.261-275, 1983.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos e análise de solo.** 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999. 412p.

ESS, D.R.; VAUGHAN, D.H.; PERUMPRAL, J.V. Crop residues and root effects on soil compaction. **Transactions of the American Engineering Society of Agricultural Engineers**, v.41, n.5, p.1271-1275, 1998.

FERNANDES, B.; GALLOWAY, H.M. & BRONSON, R.D. Efeito de três sistemas de preparo do solo na densidade aparente, na porosidade total e na distribuição dos poros em dois solos (Typic Argiaquoll e Typic Hapludalf). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.3, p.329-333, 1983.

FERREIRA, D.F. **Programa SISVAR versão 4.6 (Build 63).** Lavras: UFLA, 1999.

GABRIEL FILHO, A.; SILVA, S.L.; MODOLO, A.J. & SILVEIRA, J.C.M. Desempenho de um trator operando em solo com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.3, p.781-789, 2004.

GENRO JÚNIOR, S.A.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v.28, p.477-484, 2004.

GRABLE, A.R. & SIEMER, E.G. Effects of bulk density, aggregate size and soil water suction on oxygen diffusion, redox potentials and elongation of corn roots. **Soil Science Society of America Procedures**, Madison, v.32, p.180-186, 1968.

GUPTA, S.C.; SCHNEIDER, E.C; LARSON, W.E. & HADAS, A. Influence of corn residue on compression and compaction behavior of soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.51, p.207-212, 1987.

HILL, R.L. & MEZA-MONTALVO, M. Long-term wheel traffic effects on soil physical properties under different tillage systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.54, p.865-870, 1990.

IMHOFF, S; SILVA, A.P. & TORMENA, C.A. Spatial heterogeneity of soil properties in areas under elephant-grass short-duration grazing system. **Plant and Soil**, v.219, p.161-168, 2000.

JORGE, J.A. **Compactação do solo**: causas, conseqüências e maneiras de evitar sua ocorrência. Campinas: Instituto Agronômico (Circular, 117), 1983. 22p.

KICHEL, A.N. & MIRANDA, C.H.B. **Uso de milheto como planta forrageira.** http://www.cnpgc.embrapa.br/publicacoes/divulga/GCD46.html, 2000, (08 novembro 2005).

KLEIN, V.A. & LIBARDI, P.L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.4, p.858-867, 2002.

LAMPURLANÉS, J. & CANTERO-MARTÍNEZ, C. Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management systems and their relationship with barley root growth. **Agronomy Journal**, v.95, p.526-536, 2003.

LEÃO, T.P.; SILVA, A.P.; MACEDO, M.C.; IMHOFF, S. & EUCLIDES, V.P.B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.415-423, 2004.

LEY, G.J.; MULLINS, C.E. & LAL, R. The potential restriction to root growth in structurally weak tropical soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.33, p.133-142, 1995.

LOMBARDI NETO, F.; DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; DECHEN, S.C.F. & VIEIRA, S.R. Efeito da quantidade de resíduos culturais de milho nas perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, p.71-75, 1988.

MAGALHÃES, P.S.G. Manejo de solos e seus efeitos sobre a compactação. In: Silveira, G. M.. **IV Ciclo de Estudos sobre Mecanização Agrícola.** Campinas: Fundação Cargill, p.156-167, 1990.

NESMITH, D.S.; RADCLIFFE, D.E.; HARGROVE, R.L.; CLARK, R.L. & TOLLNER, E.W. Soil compaction in double-cropped wheat and soybeans on an Ultissol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.51, p.183-186, 1987.

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

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia Aplicada.** Jaboticabal: Funep, 2001. 414p.

RIBON, A.A.; CENTURION, J.F.; CENTURION, M.A.P.C. & PEREIRA, G.T. Densidade e resistência à penetração de solos cultivados com seringueira sob diferentes manejos. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v.25, n.1, p.13-17, 2003.

ROSOLEM, C.A. **Relações solo-planta na cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 1995. 53 p.

ROSOLEM, C.A.; VALE, L.S.R.; GRASSI FILHO, H. & MORAES, M.H. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.18, n.3, p.491-497, 1994.

SECCO, D.; SILVA, V.R.; RUBIN, R.B.; GENRO JUNIOR, S.A.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Efeitos da compactação nos atributos físicos do solo e na produtividade da cultura do trigo, em Latossolo Vermelho-escuro sob sistema plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 8., Ilhéus, 2000. **Anais.** Ilhéus: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. CD-ROM

SENE, M.; VEPRASKAS, M.J.; NADERMAN, G.C. & DENTON, H.P. Relationships of soil texture and structure to corn yield response to subsoiling. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.49, p.422-427, 1985.

SILVA, A.P. Avanços na quantificação da compactação do solo. **Citricultura atual**, n.24, p.6-8, 2001.

SILVA, A.P.; IMHOFF, S. & CORSI, M. Evaluation of soil compaction in an irrigated short-duration grazing system. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.70, p.83-90, 2003.

SILVA, A.P.; KAY, B.D. & PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range of soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, p.1775-1781, 1994.

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

STONE, L.F. & MOREIRA, J.A.A. Efeitos de sistemas de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.4, p.835-841, 2000.

STONE, L.F. & SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.2, p.395-401, 2001.

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

STRECK, C.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. & KAISER, D.R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.3, p.755-760, 2004.

TAYLOR, H.M. & BURNETT, E. Influence of soil strength on the root-growth habits of plants. **Soil Science**, v.98, p.174-180, 1964.

TAYLOR, H.M.; ROBERTSON, G.M. & PARKER, J.J. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. **Soil Science**, v.102, p.18-22, 1966.

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, p.333-339, 1996.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. & LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.573-581, 1998.

TORMENA, C.A.; VIDIGAL FILHO, P.S.; GONÇALVES, A.C.A.; ARAÚJO, M.A. & PINTRO, J.C. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.1, p.65-71, 2004.

VOMOCIL, J.A. & FLOCKER, W.J. Soil compaction – its effects on storage and movement of soil, air and water. **Transactions of the American Engineering Society of Agricultural Engineers**, v.4, p.242-246, 1961.

WHITELEY, G.M.; UTOMO, W.H. & DEXTER, A.R. A comparison of penetrometer pressures and the pressures exerted by roots. **Plant and Soil**, v.61, p.351-364, 1981.

YASIN, M; GRISSO, R.D; BASHFORD, L.L.; JONES, A.J. & MIELKE, L.N. Normalizing cone resistance values by covariance analysis. **Transactions of the American Engineering Society of Agricultural Engineers**, v.36, n.5, p.1267-1270, 1993.

7 ANEXOS

7.1 Anexo 1

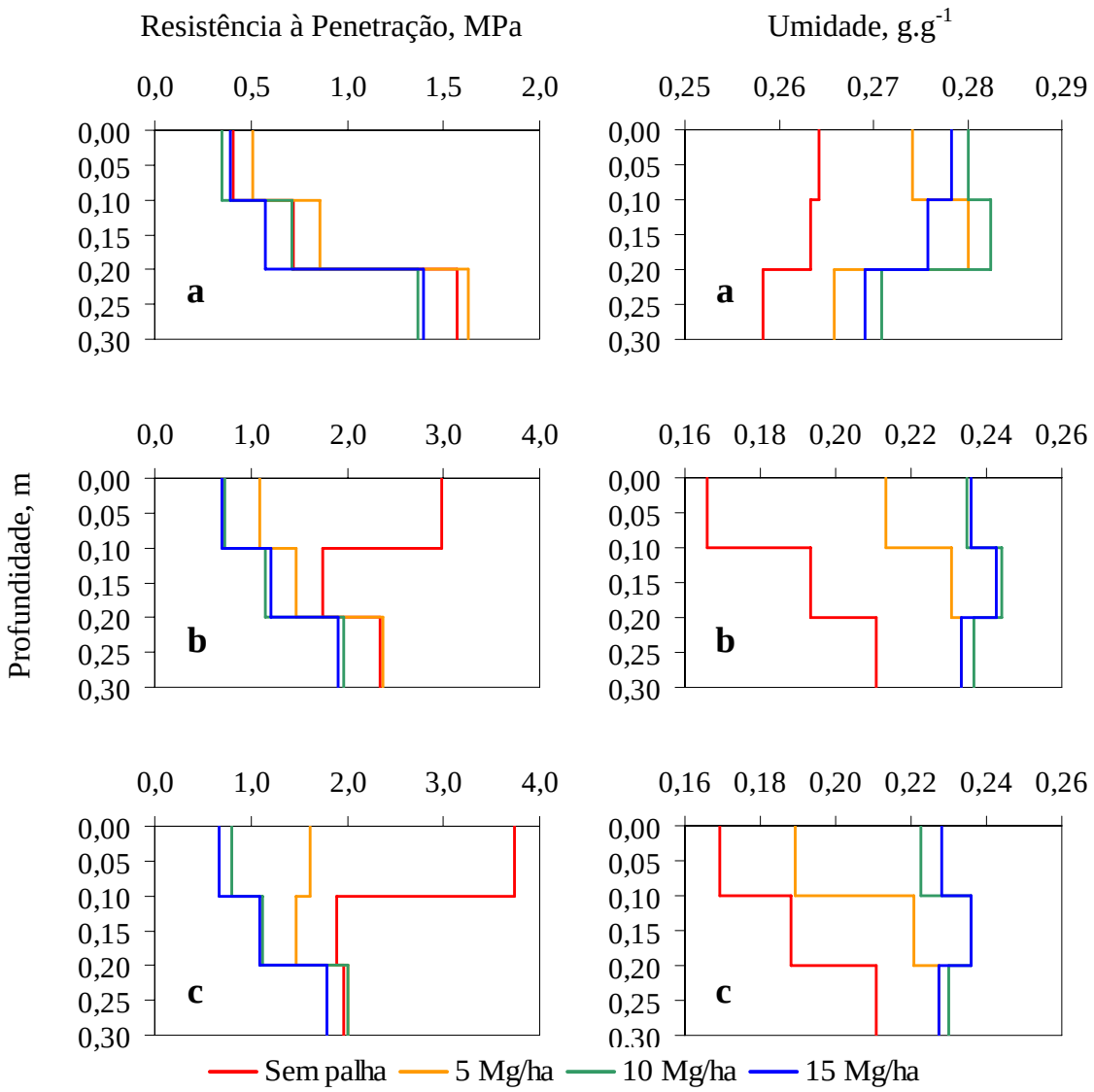

Figura 7 – Resistência à penetração e umidade do solo em profundidade em função da quantidade de palha em superfície: **a.** 1 dia após a passagem do trator na área; **b.** 6 dias após a passagem do trator na área; **c.** 8 dias após a passagem do trator na área.

7.2 Anexo 2

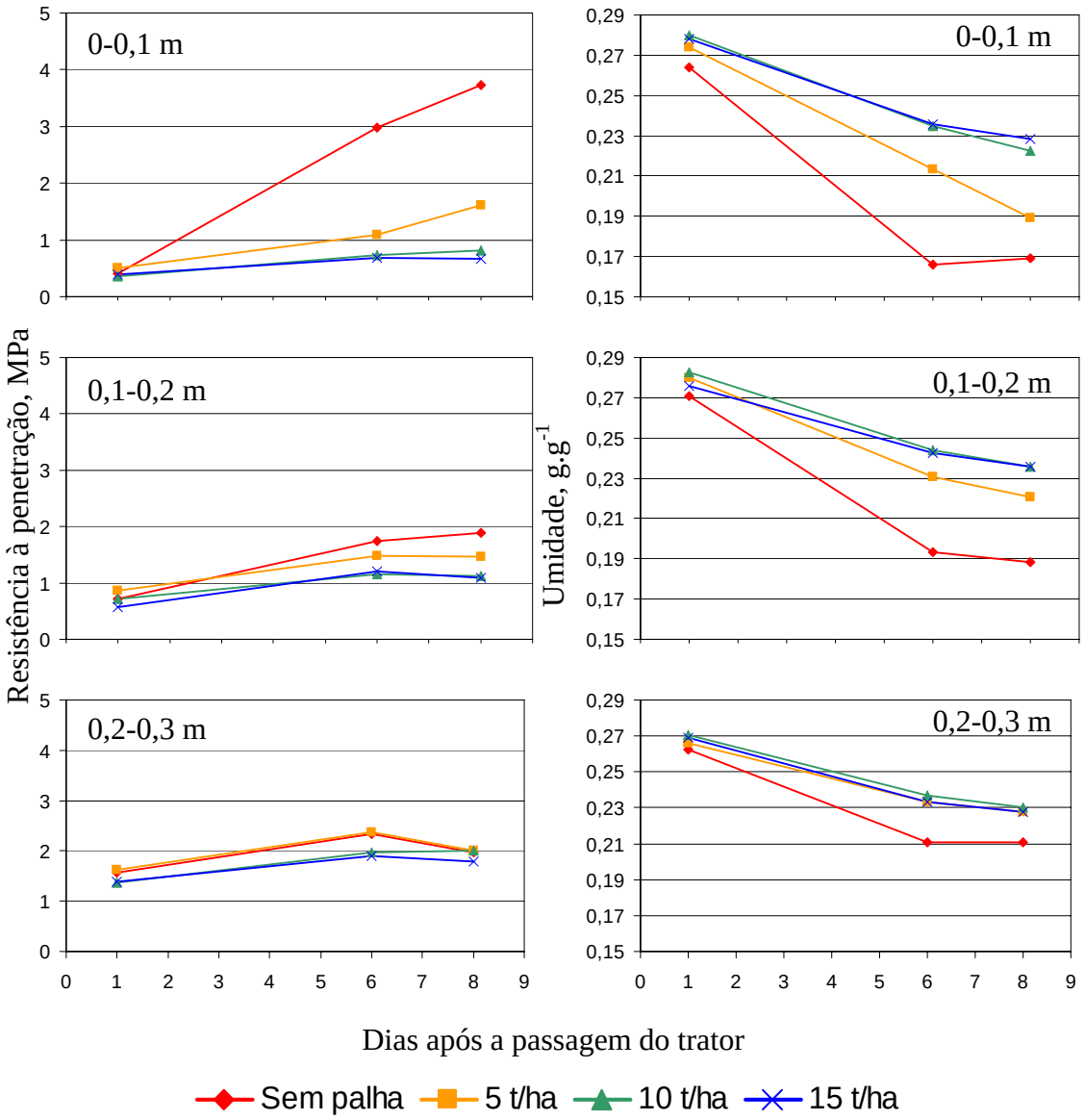

Figura 8 – Variação no tempo da resistência à penetração e umidade do solo em função da quantidade de palha em superfície.

7.3 Anexo 3

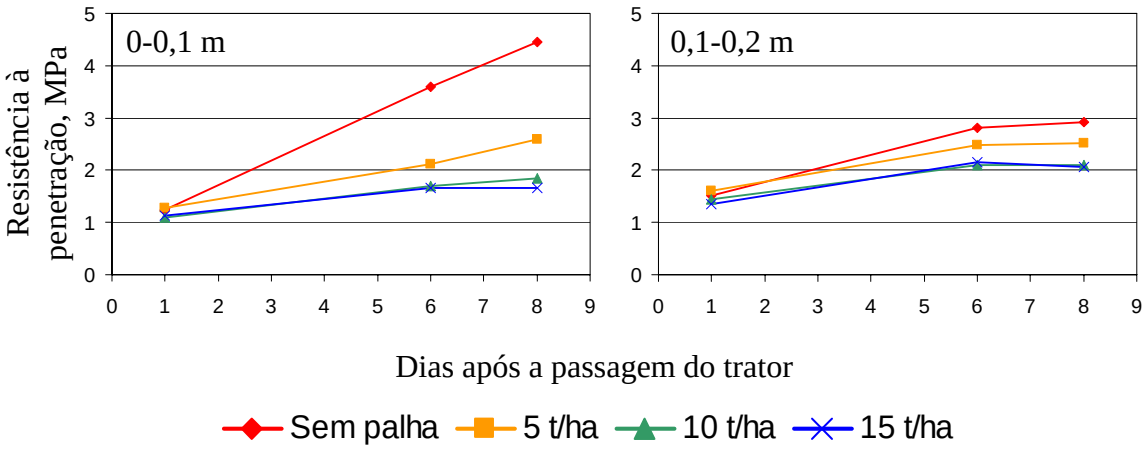

Figura 9 – Variação no tempo da resistência à penetração corrigida para a umidade de 0,15 $g.g^{-1}$.