

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU**

**DESENVOLVIMENTO RADICULAR DAS CULTURAS DE FEIJÃO,
SOJA E MILHO, SOB DIFERENTES MANEJOS DE SOLO, IRRIGADAS
POR PIVÔ CENTRAL**

MARCELO AUGUSTO DE AGUIAR E SILVA

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia - Irrigação e Drenagem.

**BOTUCATU-SP
Março – 2007**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU**

**DESENVOLVIMENTO RADICULAR DAS CULTURAS DE FEIJÃO,
SOJA E MILHO, SOB DIFERENTES MANEJOS DE SOLO, IRRIGADAS
POR PIVÔ CENTRAL**

MARCELO AUGUSTO DE AGUIAR E SILVA

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Cury Saad

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia - Irrigação e Drenagem.

**BOTUCATU-SP
Março – 2007**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO
- SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

S586d Silva, Marcelo Augusto de Aguiar e, 1973-
Desenvolvimento radicular das culturas de feijão, soja e milho, sob diferentes manejos de solo, irrigadas por pivô central / Marcelo Augusto de Aguiar e Silva . - Botucatu : [s.n.], 2007.
vi, 132f. : gráfs., tabs.

Tese (Doutorado)-Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2007
Orientador: João Carlos Cury Saad
Inclui bibliografia.

1. Plantio direto. 2. Solos - Compactação. 3. Água na agricultura. 4. Produtividade. 5. Raízes - Desenvolvimento. I. Saad, João Carlos Cury. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

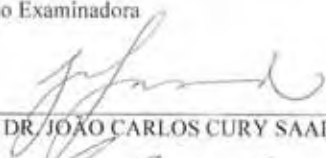
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: DESENVOLVIMENTO RADICULAR DAS CULTURAS DE FEIJÃO,
SOJA E MILHO, SOB DIFERENTES MANEJOS DE SOLO, IRRIGADAS POR PIVÔ CENTRAL.

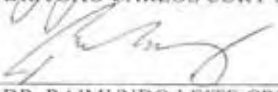
ALUNO: MARCELO AUGUSTO DE AGUIAR E SILVA

ORIENTADOR: PROF. DR. JOÃO CARLOS CURY SAAD

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. JOÃO CARLOS CURY SAAD



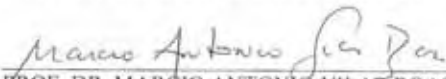
PROF. DR. RAIMUNDO LEITE CRUZ



PROF. DR. SÍLVIO JOSÉ BICUDO



PROF. DR. SÉRGIO NASCIMENTO DUARTE



PROF. DR. MÁRCIO ANTONIO VILAS BOAS

Data da Realização: 02 de abril de 2007.

DEDICATÓRIA

À minha amada esposa Tânia que nos
momentos mais difíceis sempre me trouxe
serenidade e equilíbrio.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Ao Prof. Dr. João Carlos Cury Saad pela orientação, amizade apoio, dedicação, compreensão e paciência, que nunca mediu esforços para passar todo seu conhecimento e tornar possível à realização desse trabalho;

Ao amigo Leonardo Pretto de Azevedo pela colaboração, empenho e ajuda nos momentos mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Irrigação e Drenagem da FCA/UNESP – Botucatu;

A todos funcionários e professores do Departamento de Engenharia Rural da FCA/UNESP – Botucatu;

Ao CNPq, pelo incentivo financeiro concedido através de bolsa e taxa de bancada, sem o qual o este trabalho não teria se completado;

Ao Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol pelas preciosas informações e pela orientação prestada;

A todos da Fazenda Buritim-Mirim situada no município de Angatuba, SP, na qual o experimento foi realizado;

A minha família e amigos que sempre acreditaram no meu potencial.

SUMÁRIO

	Página
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY.....	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	8
4.1 Manejo do solo.....	8
4.1.1 Preparo convencional.....	9
4.1.2 Plantio direto.....	10
4.2 Compactação do solo.....	11
4.3 Água disponível.....	16
4.4 Sistema radicular.....	18
4.4.1 Sistema radicular do feijão.....	21
4.4.2 Sistema radicular do milho.....	21
4.4.3 Sistema radicular da soja.....	22
4.5 Produtividade.....	23
4.5.1 Produtividade do feijão.....	23
4.5.2 Produtividade do milho.....	24
4.5.3 Produtividade da soja.....	25

CAPÍTULO I - RETENÇÃO DE ÁGUA, COMPACTAÇÃO DO SOLO E PRODUTIVIDADE DO FEJÓEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.) IRRIGADO POR PIVÔ CENTRAL EM DIFERENTES MANEJOS DO SOLO.

CAPÍTULO II - DESENVOLVIMENTO RADICULAR E PRODUTIVIDADE DO FEJÓO (*Phaseolus vulgaris* L.) IRRIGADO POR PIVÔ CENTRAL EM DIFERENTES MANEJOS DE SOLO.

CAPÍTULO III - PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS, COMPACTAÇÃO DO SOLO, DESENVOLVIMENTO RADICULAR E PRODUTIVIDADE DA SOJA (*Glycine Max* L.) EM DIFERENTES MANEJOS DE SOLO.

CAPÍTULO IV - COMPACTAÇÃO DO SOLO, DESENVOLVIMENTO
RADICULAR E PRODUTIVIDADE DO MILHO (*Zea mays* L.) IRRIGADO
SOB DIFERENTES MANEJOS DO SOLO.

5 CONCLUSÕES.....	28
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30

1 RESUMO

O sudoeste do Estado de São Paulo possui uma significativa área de culturas anuais, basicamente cereais, irrigados por pivô central. As culturas de milho, feijão e soja fazem parte da rotação de culturas praticadas por estes irrigantes, os quais adotam o plantio na palha como forma de uso sustentável de água e do solo. O efeito desta prática conservacionista sobre as propriedades físico-hídricas do solo, sobre sua compactação, sobre o desenvolvimento radicular e sobre os componentes da produção e produtividade das culturas de milho, feijão e soja, comparativamente com o manejo convencional, foi o objetivo deste trabalho de tese. O experimento foi desenvolvido na Fazenda Buriti-Mirim, situada na Rodovia Raposo Tavares Km 223,5, município de Angatuba, SP (23°30'13" S, 48°35'37" W; 640m), durante o segundo semestre de 2003, utilizando uma área de Latossolo Roxo cultivada com feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar Rubi, uma de Argissolo Acinzentado cultivada com milho (*Zea mays* L.) híbrido DKB 215 e outra área também de Argissolo Acinzentado cultivada com soja (*Glycine Max* L.) variedade monsoy 5942, todas irrigadas por pivô central e submetidas ao manejo convencional e ao plantio na palha. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com dois tratamentos: plantio na palha e plantio convencional, com 13 parcelas cada. As médias dos resultados obtidos foram comparadas pelo teste t de Student a 5% de probabilidade. Nas três culturas, os manejos de solo não diferiram quanto à

produtividade. Na cultura do feijão, o plantio na palha apresentou maior capacidade de retenção de água nas camadas mais superficiais do solo, menor compactação e distribuição radicular mais uniforme no perfil, com 84% das raízes concentradas nos primeiros 0,10m do perfil no plantio na palha e 93% no plantio convencional. Nas culturas do milho e da soja, os manejos não diferiram quanto à distribuição radicular em profundidade e para as duas culturas, o plantio na palha apresentou maior densidade do solo e menor quantidade de água disponível. Os manejos apresentaram valores de índice de cone muito semelhantes na cultura do milho sendo que nos dois manejos 90% das raízes se concentraram nos primeiros 0,20m de profundidade. Já para a cultura da soja, o plantio na palha apresentou menor índice de cone e 77% das raízes se concentraram nos primeiros 0,10m do solo deste manejo, sendo que no plantio convencional 70% do sistema radicular se concentrou até esta profundidade. Uma vez que os ciclos de manejo conservacionista são curtos, em decorrência do algodão fazer parte da rotação de culturas e da necessidade de destruição de seus restos culturais, verificou-se que a prática de plantio na palha gerou benefícios indiretos, porém o tempo foi reduzido para promover mudanças estruturais no solo e, conseqüentemente, alterações significativas nas propriedades físico-hídricas que resultem em maior desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, maior produtividade.

PALAVRAS-CHAVE: plantio na palha, índice de cone, água disponível, raiz, produtividade.

YIELD COMPONENTS AND ROOT DEVELOPMENT OF CORN, BEAN AND SOYBEAN CULTURES IRRIGATED BY CENTER PIVOT, UNDER DIFFERENT SOIL MANagements. Botucatu, 2007. 132p. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: MARCELO AUGUSTO DE AGUIAR E SILVA

Adviser: JOÃO CARLOS CURY SAAD

2 SUMMARY

The southwestern region of the state of São Paulo, Brazil presents significant area of annual cultures basically composed of cereals under center pivot system irrigation. The corn, bean and soybean cultures are part of crop rotation used by irrigators from this region, who perform no-tillage management as a form of sustainable soil use. The objective of this work was to compare two soil management systems: conventional management and no-tillage management systems in relation to their effects on the soil physical-hydric properties, compaction, root development and production components of those three cultures under center pivot system irrigation. The experiments were conducted at the Buriti-Mirim Farm, Km 223.5 of the Raposo Tavares Highway, Angatuba, SP, Brazil, using an area irrigated through center pivot system divided into two types of soil managements: conventional management and no-tillage management. Soil managements didn't differ in relation to productivity, for the three crops. For bean crop, the no-tillage management presented higher water retention capacity at the most superficial soil layers, lower compaction and more uniform root distribution, with 84% of roots concentrated in the 0-10cm soil layer for the no-tillage management and 93% for the conventional management. For the corn and soybean crops, the soil managements didn't differ in relation to root distribution and, for both cultures, the no-tillage showed higher soil density and lower available water. Both soil managements presented soil cone index very similar for corn culture and 90% of the root length concentrated in the 0-20cm soil layer. In the soybean culture, the no-tillage management

had lower soil cone index and 77% of roots concentrated in the 0-10cm soil layer, while the conventional management showed 70%. Since conservationist management cycles are short, because cotton culture is part of crop rotation and it's necessary to eliminate its organic material, it was verified that the no-tillage management practice generated indirect benefits; however, time was not enough to promote structural changes in the soil and hence significant alterations in the physical-hydric properties that would lead to higher root development and culture productivity.

Keywords: no-tillage management, soil cone index, available water, root, yield.

3 INTRODUÇÃO

A agricultura passou por grandes transformações no século XX, decorrente da evolução tecnológica, dando suporte ao crescimento populacional e o conseqüente aumento da demanda por alimentos. Uma das formas de atender a demanda alimentar, de crescimento exponencial, tem sido o uso intensivo do solo viabilizado pela irrigação. Desta forma, em áreas em que era feita uma cultura por ano dada à dependência das chuvas, passou-se a ter cinco culturas a cada dois anos com a adoção da irrigação. Evidentemente, tal uso do solo trouxe ao produtor irrigante maiores possibilidades de ganhos econômicos e minimização da dependência climática no tocante à demanda hídrica das culturas. Entretanto, a intensidade da exploração agrícola começou a afetar as propriedades físico-hídricas do solo, em muitos casos, de forma indesejável.

Na busca por elevada produtividade as práticas de preparo convencional do solo desencadearam problemas na agricultura brasileira. O uso indiscriminado destas práticas por anos consecutivos causou excessiva desagregação física do solo, preparo superficial e a formação de camadas impermeáveis abaixo da superfície do solo.

A formação de camadas compactadas tem sido considerada como o principal fator responsável pela redução na produtividade agrícola, uma vez que, a

compactação altera as propriedades físico-hídricas e, conseqüentemente, interfere no crescimento radicular e na produtividade das culturas.

A evolução da agricultura irrigada está associada a novos desafios e questionamentos: o uso intensivo do solo e a grande demanda hídrica são sustentáveis ao longo do tempo? Quais as técnicas de manejo de solo que permitem viabilidade de produção e ao mesmo tempo têm características conservacionistas? Desta forma, são crescentes as pesquisas envolvendo o uso racional da água na agricultura e a sustentabilidade de seus solos. Com o objetivo de incremento de produtividade associada à preservação dos recursos naturais, principalmente solo e água, é cada vez maior o interesse em avaliar sistemas de manejo que amenizem os problemas causados pelo sistema convencional de cultivo.

Uma alternativa é o uso do sistema de plantio direto. Este sistema de manejo conservacionista preconiza a semeadura em solo coberto por resíduos vegetais da cultura anterior, com o mínimo de mobilização na linha de semeadura, para que o solo permaneça o mais protegido possível, podendo melhorar inclusive, sua estrutura. A diversificação de espécies via rotação de cultura é fundamental para o sucesso da implantação desse sistema de manejo.

No sudoeste do Estado de São Paulo, na bacia hidrográfica do Alto Paranapanema, há uma significativa área de culturas anuais, basicamente cereais, irrigados por pivô central, na qual o plantio na palha é adotado como forma de uso sustentável do solo e da água. As vantagens desse sistema de manejo conservacionista comparativamente ao plantio convencional são muitas. Dentre as principais, os irrigantes desta região destacam: maior agilidade de plantio, pois a dessecação pode ser realizada após o plantio; menor custo de implantação da cultura; maior facilidade de manejo de plantas daninhas; produção e manutenção da palhada, evitando assim, escoamento superficial de água, conseqüentemente, erosão; a palhada diminui a compactação, amortecendo o impacto dos implementos. Entretanto, as mudanças estruturais no solo e, conseqüentemente, as alterações promovidos por este manejo nas propriedades físico-hídricas do solo, na sua compactação e no desenvolvimento radicular das culturas ainda não foram quantificadas.

Os irrigantes da Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema adotam rotação de cultura, envolvendo dentro outras culturas: feijão, milho, soja, trigo e algodão. A

necessidade de destruição dos restos culturais do algodão impede que se tenha longos ciclos de plantio na palha, o que tem gerado dúvidas quanto à intensidade com que tal prática conservacionista tem impactado o solo e suas propriedades físico-hídricas, fundamentais para o desenvolvimento radicular e para a produção agrícola.

Desta forma, a presente pesquisa teve por objetivo avaliar o efeito do sistema de plantio na palha sobre as propriedades físico-hídricas do solo, sobre sua compactação, sobre o desenvolvimento radicular e sobre os componentes da produção e produtividade das culturas de milho, feijão e soja, comparativamente com o preparo convencional.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Manejo do solo

Em função do manejo, o solo é passível tanto de degradação quanto de melhoramento do potencial produtivo. Os diferentes sistemas provocam alterações em sua densidade e porosidade e, conseqüentemente, no armazenamento de água ao longo do seu perfil, interferindo diretamente no desenvolvimento do sistema radicular e na produtividade das culturas. A magnitude das alterações é função do tempo de adoção do sistema de manejo, do tipo de solo e do clima da região.

É fundamental que se utilize sistemas de exploração agrícola visando alterar o mínimo possível as suas características físicas e químicas originais, especialmente aquelas que afetam a infiltração e a retenção de água, como a porosidade e a agregação (Castro et al., 1987), uma vez que, é o solo quem recebe, armazena e fornece toda a água que a planta necessita para seu desenvolvimento.

Portanto, os diferentes sistemas de manejo devem adaptar-se as condições edafoclimáticas, sociais e culturais regionais e contribuir para a manutenção ou melhoria da qualidade do solo e do ambiente, bem como para a obtenção de adequadas produtividades ao longo dos anos (Costa et al., 2003).

Devido ao uso indiscriminado de práticas de manejo do solo, sérios problemas vêm se desencadeando na agricultura brasileira. Em condições naturais, o solo encontra-se num estado estável ao ambiente, mas o manejo inadequado causa degradação, principalmente da fração orgânica, comprometendo a sustentabilidade de sistemas agrícolas (Gonçalves & Ceretta, 1999). A estrutura de um solo ideal é aquela que permite uma adequada área de contato entre as raízes e o solo, um espaço poroso contínuo e suficiente para o movimento de água e de gases e resistência do solo à penetração que não limite o crescimento de raízes (Koppi & Douglas, 1991).

4.1.1 Preparo convencional

Embora se verifique uma grande variação de processos, os sistemas de preparo intensivo do solo têm sido, genericamente, denominados como sistema de preparo convencional, e tem se caracterizado pelo revolvimento contínuo do solo, o que pode resultar em aumento da exposição dos componentes orgânicos e favorecimento de condições para a formação de uma zona compactada abaixo da camada arada (Seguy et al., 1984).

Entende-se por preparo do solo o conjunto de operações realizadas antes da semeadura, com a finalidade de revolver o solo para fornecer as melhores condições físicas, químicas e biológicas para a semente germinar, além de incorporar fertilizantes, corretivos e restos de culturas anteriores, este último, como forma de controlar plantas daninhas (Folle & Seixas, 1986). Entretanto, o uso dessa prática por anos sucessivos, além de ocasionar a excessiva desintegração física e preparo somente superficial do solo (0,12 a 0,15m), pode levar à formação de uma camada impermeável abaixo da superfície do solo, conhecido como “pé de grade ou pé de arado” (Freitas, 1992; Fornasieri Filho & Fornasieri, 1993).

Lanças (2005) define plantio convencional como sendo aquele que é utilizado de forma sistemática, contínua e prioritária em uma determinada região por muitos anos e décadas seguidas, cuja principal característica, é o revolvimento drástico do solo, tanto para modificar as suas condições físicas como para erradicar as plantas e a cobertura morta oriundas da cultura anterior.

A adoção de técnicas racionais de manejo conservacionista do solo e da água é de fundamental importância para a sua sustentabilidade, de tal forma que se possa, economicamente, manter ao longo do tempo esses recursos com quantidade e qualidade suficientes para a obtenção de níveis satisfatórios de produtividade (Wutke et al., 2000).

4.1.2 Plantio direto

Atualmente vem sendo substituído o preparo convencional do solo com sucesso em muitas regiões agrícolas do mundo e, em particular, do Brasil. A rápida degradação do solo sob exploração agrícola no mundo, especialmente nos países tropicais em desenvolvimento, despertou, nas últimas décadas, a preocupação com a qualidade do solo e a sustentabilidade da exploração agrícola (Lal & Pirce, 1991). Com o surgimento de novas técnicas e produtos agrícolas, tem sido possível desenvolver sistemas de plantio das culturas que dispensam quase que totalmente o preparo do solo.

A intensidade de mobilização do solo é responsável pela sua deterioração, a redução na mobilização e o acúmulo de resíduos orgânicos na superfície do solo, provavelmente, poderá reverter esta situação (Silveira Neto et al., 2006). A técnica do plantio direto tem sido preconizada como uma alternativa para evitar os efeitos indesejáveis do preparo do solo repetitivo e inadequado, quando da prática do cultivo intensivo (Chan et al., 1992).

O sistema de plantio direto tem como principal característica a implantação de uma cultura sem mobilização drástica do solo, ou seja, sem o seu preparo ou mobilização antes da semeadura; a mobilização ocorre apenas na linha da semeadura. Este tipo de sistema envolve também, a manutenção dos resíduos vegetais das culturas anteriores na superfície do solo e a diversificação de espécies cultivadas via rotação de culturas. De acordo com Seixas et al. (2005), essa rotação consiste na alternância de cultivo de espécies vegetais na mesma área e na mesma estação, observando-se um período mínimo sem o cultivo da mesma espécie. Portanto, diversificar as culturas de uma propriedade seguindo um programa seqüencial de culturas devidamente planejado e ordenado é fundamental para o sucesso de implantação desse manejo.

4.2 Compactação do solo

A compactação do solo consiste na alteração de sua estrutura, geralmente causada por tráfego de máquinas e implementos agrícolas ou pela degradação causada pelas operações de preparo e de cultivo. Compactação é um processo de redução do espaço poroso do solo, podendo reduzir a permeabilidade a água e a difusão dos gases (Taylor & Brar, 1991; Soane & Ouwerkerk, 1994).

Essas alterações nas propriedades físicas do solo afetam suas propriedades hídricas, que, por consequência, afetam o crescimento radicular e a produtividade das culturas. De acordo com Lima et al. (2006), a compactação tem se destacado em nível mundial como um dos principais responsáveis pela redução da produtividade das culturas devido a degradação da qualidade físico-hídrica de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo.

Com a compactação pode se levar a uma menor produtividade agrícola, uma vez que esta reduz a permeabilidade do solo ao ar e a água, além de dificultar a penetração das raízes (Lanças et al., 1990; Novak et al., 1992; Freitas 1994; Pedrotti et al., 1998). Com isso, o solo apresenta menor disponibilidade hídrica e nutricional, resultando em uma pequena camada a ser explorada pelo sistema radicular. Freitas (1994) destaca ainda que, por depender de vários fatores, principalmente da água do solo no período de crescimento das raízes, o efeito da compactação na produção das culturas é difícil de ser quantificado.

As práticas de manejo convencionais, em que se tem uma intensa mecanização, acentuam os problemas de compactação do solo, ficando este efeito mais evidente nas culturas anuais devido à intensiva mobilização do solo durante as operações de preparo (Silva et al., 1986). A compactação do solo causada pela pressão do arado ou da grade, no preparo convencional, é uma das condições que interfere e modifica diretamente a estrutura do solo, e conseqüentemente, na sua drenagem, uma vez que, há a redução no volume de macroporos, modificando a difusão de água e gases e, dificultando o desenvolvimento radicular das plantas (Pedroso & Corsini, 1983).

No plantio direto, em que a semeadura é realizada sob os restos da cultura anterior, as camadas superficiais do perfil do solo, quando comparadas ao preparo

convencional, geralmente apresentam, após três a quatro anos, maior estabilidade estrutural, maiores valores de densidade e de microporosidade e menores valores de macroporosidade e de porosidade total (Vieira, 1981; Vieira & Muzilli, 1984; Corrêa, 1985; Stone & Silveira, 1999). Isto se deve, principalmente, ao não revolvimento do solo e a pressão exercida pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas, sobretudo quando realizado em solos argilosos e com elevados teores de água (Vieira & Muzilli, 1984; Stone & Silveira, 1999). O tráfego de máquinas pesadas no sistema de plantio direto tem provocado compactação superficial do solo (Silva et al., 2000) e reduzido à produtividade das culturas (Beutler & Centurion, 2003).

Um dos indicadores do nível de compactação no solo é sua densidade (Mantovani, 1987; Borges et al., 1988; Reichardt, 1990; Díaz-Zorita, 2000; Krzic et al., 2000; Queiroz-Voltan et al., 2000). Contudo, generalizações não devem ser feitas, uma vez que a compactação não tem ocorrência contínua numa determinada camada (Reichardt, 1990).

Porém, se o sistema for corretamente manejado, com boa cobertura morta e adequada rotação de culturas sua densidade pode vir a diminuir com o passar dos anos, devido ao aumento do conteúdo de matéria orgânica na camada superficial, melhorando, inclusive, a estrutura do solo (Reeves, 1995; Stone & Silveira 1999) que irá promover a formação de canais que permitem adequado fluxo de ar e maiores taxas de infiltração de água (Seixas et al., 2005).

De acordo com Silveira Neto et al. (2006), o aumento na densidade do solo da camada superficial tem feito com que alguns agricultores da região dos cerrados, eventualmente, utilizem o arado ou o escarificador nas suas áreas até então conduzidas sob plantio direto contínuo, atuando assim, na redução da densidade do solo e na redistribuição dos nutrientes no perfil do solo. Segundo Silveira et al. (1998), tal procedimento pouco afeta o aspecto conservacionista de manejo do solo, já que o plantio direto volta a ser empregado nos cultivos subseqüentes.

Segundo Dexter (1988), as práticas naturais podem ser mais satisfatórias que o preparo mecânico do solo na melhoria de sua estrutura. Entretanto, Corsini & Ferraudo (1999) alertam que não se pode esperar que o efeito do cultivo intensivo realizado durante anos seja resolvido de imediato com a adoção de tal prática, uma vez que fatores como adequação à cultura, ao solo, às condições climáticas e aos fatores naturais devem ser levados

em conta. Os autores concluem que um Latossolo Roxo mantido por um longo período sob plantio direto de milho, somente apresentou benefícios da manutenção desse sistema conservacionista nos valores de macroporosidade e densidade do solo no quarto ano agrícola, sendo que esses benefícios aumentaram e atingiram um valor máximo no oitavo ano agrícola consecutivo, obtendo-se valores semelhantes aos encontrados imediatamente após as operações mecânicas realizadas para a instalação do experimento.

Oliveira et al. (2004) trabalhando com um Latossolo Vermelho submetido ao plantio direto e ao preparo com arado de discos por 20 anos, concluíram que o plantio direto, pela ausência de revolvimento e tráfego de máquinas, foi o sistema que mais alterou a estrutura, apresentando por isso, maior disponibilidade hídrica em relação ao sistema arado de disco. A densidade do solo no plantio direto, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, e 30-40cm, foi inferior ou igual aquela do arado de discos, possivelmente em razão do maior teor de carbono orgânico presente no solo e ausência de revolvimento, entretanto, este aspecto não indicou restrição para cultivo. Contrariamente, Silveira Neto et al. (2006), trabalhando por cinco anos consecutivos em um Latossolo Vermelho distrófico, em Santo Antônio de Goiás, GO, com rotação de culturas em plantio direto seguido anualmente de um preparo com arado e plantio direto contínuo, concluíram que o plantio direto contínuo aumenta a densidade e diminui a macroporosidade e a porosidade total do solo.

No plantio direto a compactação superficial do solo pode apresentar correlação negativa com a produtividade (Johnson et al., 1990), em razão de maior resistência mecânica oferecida ao desenvolvimento das raízes entre agregados e intra-agregados (Piccinin et al., 2000). Entretanto, a ausência de preparo e a adição de matéria orgânica, fazem com que os agregados se mantenham mais estáveis (Corrêa, 2002), diminuindo a suscetibilidade do solo à compactação, a qual pode ser referenciada pelo índice de cone obtido por meio de penetrometria.

A resistência mecânica do solo à penetração, índice de cone, é medida por aparelhos que permitem avaliar o nível de trafegabilidade e de resistência dos solos à penetração das raízes das culturas. Os penetrômetros são aparelhos destinados a determinar a resistência mecânica do meio no qual penetra. O índice de cone é definido como a resistência do solo à penetração de uma ponta cônica expressa como a força por unidade de área da base

do cone até uma determinada profundidade (Cunha et al., 2002). Para Machado et al. (1999) o índice de cone pode ser utilizado como um parâmetro adequado para a caracterização das condições físico-mecânicas do solo e estimativas das interações solo-máquina (trafegabilidade, compactação e métodos de preparo do solo) e solo-raiz (impedimento mecânico, restrição ao crescimento).

De acordo com Freddi et al. (2006), a resistência mecânica do solo à penetração exerce grande influência sobre o desenvolvimento vegetal, uma vez que o crescimento das raízes e a produtividade das culturas variam de forma inversamente proporcional ao seu valor. Geralmente, quanto maior a densidade do solo e quanto mais seco o solo, maior a resistência à penetração. Assim, segundo Rosolem (1995), um solo seco pode ter o mesmo efeito sobre as raízes que um solo compactado. No caso do solo seco o problema ainda é até mais grave, pois se um solo com alta densidade tiver canais ou trincas, poderá haver crescimento radicular, o que não ocorre em solo seco.

Com o objetivo de encontrar uma resposta de qual seria o impedimento mecânico máximo que não traria prejuízos à produção agrícola, Tormena et al. (1998) e Silva et al., (2002) concordam que 2000kPa de resistência à penetração do solo tem sido associado a condições impeditivas para o crescimento das raízes e da parte aérea das culturas de uma maneira geral. Outros autores (Canarache, 1990; Merotto & Mundstock, 1999) afirmam que valores de resistência mecânica à penetração variando de 1000 a 3500kPa podem restringir ou mesmo impedir o crescimento e o desenvolvimento das raízes. Já para Arshad et al. (1996), os valores que restringem o desenvolvimento radicular variam de 2000 a 4000kPa.

Cintra & Mielniczuk (1983) verificaram uma redução de 50% no comprimento radicular de várias culturas na resistência do solo à penetração de 1100kPa, em Latossolo Roxo. Pauletto et al. (1989) constataram que somente seriam consideradas camadas compactadas aquelas cujos valores de resistência mecânica do solo à penetração fossem superiores a 1720kPa, alertando também para o fato de que o limite superior de 2320kPa impediria o desenvolvimento do sistema radicular das plantas de milho. Também para a cultura do milho, Tavares Filho et al. (2001) mostraram que valores de resistência, quando superiores a 3500kPa, não restringiram o desenvolvimento radicular do milho, influenciando apenas sua morfologia. Já Foloni et al. (2003) afirmam que o sistema radicular do milho não é

capaz de romper uma camada compactada de solo com resistência mecânica da ordem de 1400kPa.

Silva et al. (2005) trabalhando por 17 anos em um Argissolo Vermelho em Eldorado do Sul, RS, com sistema de preparo convencional, cultivo mínimo e plantio direto, concluíram que o solo em sistema de plantio direto apresentou maiores valores de resistência ao penetrômetro em profundidade, em relação ao solo em preparo convencional, mas não verificou nenhuma restrição física ao desenvolvimento radicular do milho sob os diferentes sistemas de preparo. Freddi et al. (2006), estudando a correlação entre a produtividade do milho e a resistência mecânica do solo à penetração em um Latossolo Vermelho sob preparo convencional, concluíram que valores de resistência mecânica à penetração variando entre 900 e 2000kPa não restringiram a produtividade da cultura do milho.

Para a cultura do feijão, Forsythe & Huertas (1979) afirmaram que a produção de grãos, de matéria seca e de raízes do feijoeiro, às vezes, pode ser diminuída se ocorrer aumento na resistência à penetração do solo na camada superior. Com valores de resistência do solo, na capacidade de campo, variando de 600 a 1000kPa, encontraram os maiores rendimentos, enquanto valores acima de 2100kPa provocaram efeito contrário. Valores de resistência mecânica do solo à penetração variando entre 1290 a 2870kPa não restringiram a produtividade de grãos da cultura do feijão (Carvalho et al., 2006).

A produtividade da soja não é afetada pela presença de camadas compactas no perfil do solo, quando não há restrição hídrica (Cardoso et al., 2006). Entretanto, Mielniczuk et al. (1985) constataram uma redução de 86% no comprimento radicular da soja, em vasos com Latossolo Roxo, quando a resistência à penetração foi de 2350kPa, porém, não decrescendo a massa de matéria seca da parte aérea. Também em vaso, Rosolem et al. (1994), verificaram que valores de resistência à penetração de 690kPa reduziu de 50% do comprimento radicular da soja, em Latossolo Vermelho-Escuro.

Secco (2003), estudando o efeito de diferentes estados de compactação em um Latossolo Vermelho distrófico e num Latossolo Vermelho distroférico, ambos manejados sob sistema plantio direto, verificou que os estados de compactação mais intensos, com valores de resistência à penetração de 2650 e 3260kPa, respectivamente, não propiciaram

decréscimos na produtividade da soja, em ambos os Latossolos. Na cultura do milho, somente o Latossolo Vermelho distroférico apresentou diferença significativa, sendo que onde esse nível de compactação propiciou decréscimo de 24,3 % na produtividade. Em outro estudo, Secco et al. (2004) estudando num Latossolo Vermelho distroférico o efeito de diferentes manejos na compactação do solo, concluíram que quando os valores de resistência à penetração foram de até 2600kPa, não houve comprometimento do rendimento de grãos de soja. O impedimento físico em subsuperfície de até 1980kPa não diminuiu a produção total de raízes da soja, apesar de ter alterado a distribuição do sistema radicular ao longo do perfil (Foloni et al., 2006).

4.3 Água disponível

Os diferentes sistemas de manejo do solo alteram de diversas maneiras as características físico-hídricas do solo, e estas por sua vez, influenciarão no crescimento e desenvolvimento das raízes e na produtividade das culturas. A magnitude dos efeitos do manejo sobre as propriedades físico-hídricas do solo dependem, além da classe de solo, das condições climáticas, do sistema de cultivo utilizado e do tempo de uso dos diferentes sistemas de manejo (Costa et al., 2003). Isso explica, em parte, os diferentes resultados obtidos quanto ao efeito do sistema de preparo convencional e plantio direto na densidade, na resistência do solo à penetração, na quantidade de água disponível, no desenvolvimento radicular e na produtividade.

A mobilização mecânica e o tráfego de máquinas e implementos agrícolas interferem na estrutura e no grau de cobertura do solo, o que pode ocasionar alterações em seus atributos físicos e hídricos (Unger & Cassel, 1991). De uma maneira geral, as modificações provocadas pelo preparo intensivo do solo, como o revolvimento na sua estrutura, formação de camadas compactadas e modificação do tamanho dos poros, alteram as forças de retenção de água no solo e sua disponibilidade para as plantas (Silva et al., 2005). Os autores lembram também que o preparo do solo modifica sua rugosidade superficial, com a incorporação de resíduos vegetais, ocasionando assim, diminuição da infiltração e aumento da evaporação de água.

A quantidade de água disponível para as culturas encontra-se na dependência da profundidade explorada pelas raízes, da capacidade de armazenamento de água do solo e da densidade radicular da planta (Manfron et al., 2003). Assim, o manejo racional do solo e da cultura apresenta importância para o crescimento e distribuição do sistema radicular, favorecendo o aproveitamento eficiente da água no processo produtivo. O uso do plantio direto e da irrigação, como técnicas conjugadas, tem se mostrado promissor do ponto de vista de melhorar a exploração do solo e sua conservação.

Nesse sentido, a utilização de sistemas conservacionistas de preparo de solo pode afetar o armazenamento de água em relação a sistemas de preparo convencional. O manejo do solo sob plantio direto, embora aumente a densidade do solo, bem como a resistência à penetração das raízes, aumenta o volume de água armazenada e disponível as plantas (Klein & Libardi, 1998). A maior disponibilidade hídrica em plantio direto está relacionada ao não revolvimento do solo, a sua menor temperatura e a maior cobertura morta superficial (Vieira, 1984), que reduz a evaporação da água do solo, aumenta a transpiração da planta, conseqüentemente, aumenta a produtividade das culturas.

A manutenção de resíduos culturais na superfície do solo no plantio direto proporciona, além do aumento da retenção de água, maior proteção do solo contra o impacto direto da chuva (Igue, 1984). O não revolvimento do solo leva a uma decomposição mais lenta e gradual do material orgânico, contribuindo para a conservação do solo e da água, promovendo, principalmente a melhoria da estrutura que favorece a aeração e a infiltração de água no solo, possibilitando maior penetração do sistema radicular (Igue, 1984; Lal, 1986).

O não revolvimento e a manutenção dos resíduos culturais em sua superfície podem contribuir também para uma melhor condição físico-hídrica do solo, pela não formação de crostas superficiais, aumento da estabilidade de agregados devido ao acúmulo de matéria orgânica, estabelecimento de porosidade contínua pela atividade biológica da fauna edáfica e de raízes e o equilíbrio entre os valores de macro e microporosidade (Salton & Mielniczuk, 1995).

Stone & Moreira (2000; 2001), verificaram que o plantio direto com adequada cobertura morta proporcionou maior economia de água em comparação com os demais sistemas de preparo do solo e, no decorrer dos anos, melhoria das características físicas

do solo, uma vez que, com o aumento do conteúdo de matéria orgânica na camada superficial do solo, esta pode vir a diminuir sua densidade, favorecendo a melhoria de sua estrutura.

Vários são os trabalhos que têm mostrado que, sob o sistema de plantio direto ou em sistemas de cultivo mínimo, ocorre maior retenção de água pelo solo, principalmente em baixas tensões (Igue, 1984; Vieira, 1984; Lal, 1986; Castro et al., 1987; Salton & Mielniczuk, 1995; Stone & Moreira, 1995; Klein & Libardi, 1998; Stone & Silveira (1999); Stone & Moreira 2000; Stone & Moreira 2001; Oliveira et al. 2004; Lima et al., 2006). Desta maneira, aqueles sistemas de preparo que provocam maior revolvimento do solo e, portanto, aumentam o seu volume, armazenam menos água na camada revolvida em relação à outra camada idêntica sem revolvimento (Stone & Moreira, 2000).

No primeiro ano de cultivo dos sistemas de plantio direto e convencional, Lopes et al. (2004) não encontraram diferenças importantes de armazenamento de água no solo. Do mesmo como que Silva et al. (2005) concluíram que, do ponto de vista hídrico, as curvas de retenção e o volume de água disponível não foram influenciadas pelos sistemas de preparo. Os autores lembram que nesse caso, o aumento da taxa de infiltração e a diminuição da evaporação da água decorrente da manutenção dos resíduos vegetais sobre o solo nos sistemas de cultivo mínimo e plantio direto, podem contribuir para uma maior disponibilidade hídrica na fase inicial do estabelecimento das culturas nesses sistemas conservacionistas de manejo em comparação ao preparo convencional.

Segundo Costa et al. (2006), trabalhando em um Latossolo Vermelho submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto, em duas áreas, com oito e dez anos de cultivo, verificaram que em ambos os sistemas, a densidade do solo, a porosidade total, a capacidade de água disponível e a resistência do solo à penetração, foram similares.

4.4. Sistema radicular

O crescimento radicular ocorre quando células da região meristemática sofrem divisão e alongamento, por meio da pressão de turgor nas células, que é a força direcional para se sobrepor a qualquer resistência externa (Camargo & Alleoni, 1997). Além disso, as raízes são flexíveis, lubrificadas e podem alterar a direção de crescimento para

ultrapassar obstáculos, como agregados ou estruturas mais adensadas (Vepraskas, 1994). Apesar disso, o impedimento mecânico causado pela compactação pode provocar decréscimo na taxa de alongação celular (Bengough & Mullins, 1990), em função da ausência quase completa de orifícios e pouca porosidade nas estruturas compactadas (Tavares Filho et al., 1999). Além da compactação, o crescimento do sistema radicular também é influenciado pela temperatura, pela umidade, pela aeração, pela disponibilidade de nutrientes, pelo estresse hídrico e pelas práticas culturais (Rosolem, 1996; Camargo & Alleoni, 1997; Fageria & Stone, 1999).

Embora o padrão de enraizamento esteja sob controle genético, os fatores do solo que afetam o seu desenvolvimento podem ser divididos em fatores químicos, como nutrientes e elementos tóxicos, e fatores físicos, como densidade do solo, disponibilidade hídrica e aeração (Taylor & Arkin, 1981; Rosolem, 1995).

A habilidade das plantas em explorar o solo em busca de água e nutrientes, depende da distribuição do seu sistema radicular no perfil do solo que, por sua vez, depende das condições físicas e químicas, as quais são passíveis de alterações em função do manejo utilizado (Alvarenga & Cruz, 2003). Neste sentido, o plantio convencional, realizado de maneira repetitiva e inadequada, é responsável pela degradação da estrutura do solo, cuja importância, do ponto de vista do desenvolvimento radicular, associa-se à estabilidade, continuidade dos poros, porosidade total e distribuição dos poros pelo tamanho (Hamblin, 1987; Lal, 1993).

De maneira geral, o alongamento radicular só é possível quando a pressão de crescimento das raízes for maior que a resistência mecânica do solo à penetração (Passioura, 1991). A resistência à penetração é um dos atributos físicos do solo que influencia o crescimento de raízes e serve como base à avaliação dos efeitos dos sistemas de manejo do solo sobre o desenvolvimento radicular (Tormena & Roloff, 1996).

A formação de camadas de solo compactadas superficial e subsuperficialmente tem sido a principal restrição ao aprofundamento do sistema radicular, ocasionando a concentração de raízes próximas à superfície (Barber, 1995; Beulter, 2004; Gonçalves et al., 2006). O rearranjo da estrutura do solo, decorrente da compactação, se reflete no crescimento das raízes que tendem a concentrarem-se até 10cm de profundidade (Lal,

1989). Apesar da compactação poder promover uma concentração superficial das raízes, do ponto de vista exclusivamente nutricional, esta seria benéfica, uma vez que os solos apresentam maior concentração de nutrientes nas camadas mais superficiais (Rosolem, 1995).

As alterações nas propriedades físicas de um solo compactado podem promover o engrossamento das raízes em razão de mudanças morfológicas e fisiológicas do sistema radicular, específicas a cada espécie ou cultivar, a fim de se adaptarem (Materechera et al., 1992; Müller et al., 2001). A compactação do solo pode causar redução no comprimento radicular e aumento no seu diâmetro (Vepraskas, 1994) e conseqüente diminuição da produção. São observadas também alterações na disponibilidade de água, nutrientes e na difusão de gases no solo (Taylor & Brar, 1991), cujas relações com o desenvolvimento das raízes são fundamentais.

O aumento da resistência do solo reduz ou até cessa o desenvolvimento radicular dependendo da espécie (Beulter & Centurion, 2003). Por outro lado, o aumento da resistência mecânica do solo à penetração pode estimular a proliferação de raízes laterais, as quais são mais finas e capazes de crescer em poros do solo de diâmetro reduzido (Russel & Goss, 1974). Camargo & Alleoni (1997) destacam que, em solos compactados, a baixa aeração induz a ramificação das raízes adventícias superficiais, tornando-as menos eficientes na absorção de água e nutrientes. Portanto, existe uma estreita relação entre porosidade do solo e crescimento radicular, com maior crescimento de raízes onde há maior número e continuidade de macroporos (Hatano et al., 1988).

Barber (1971) verificou que os diferentes manejos de solo influem na profundidade em que se localiza a densidade máxima das raízes. No preparo convencional, a máxima densidade radicular foi encontrada entre 10 e 30cm de profundidade, enquanto, no plantio direto, entre 0 e 10cm. De maneira geral, a profundidade efetiva do sistema radicular das culturas anuais raramente ultrapassa 30cm em regiões tropicais, podendo ir até abaixo de 1,0m em regiões de clima temperado (Saad, 1991).

Richter et al. (1990), trabalhando com diferentes culturas, observaram que, de maneira geral, há uma maior produção radicular em plantio direto que no preparo convencional, no entanto, a maior quantidade de raízes encontrada no plantio direto se concentrou nos primeiros 15cm de solo.

Com relação à distribuição radicular do trigo, Rosolem et al. (1992) verificaram que o preparo do solo com grade pesada, em primeiro lugar, seguido do plantio direto, proporcionaram as piores distribuições de raízes e estas se concentravam na camada superficial do solo. A distribuição mais uniforme do sistema radicular foi observada no preparo com arado. Para Bennie (1996) é difícil generalizar conclusões sobre a influência da compactação do solo no crescimento radicular, uma vez que esta é decorrente de diversos fatores, que dependem das características genéticas das plantas, das condições ambientais e do estágio de desenvolvimento do vegetal.

4.4.1 Sistema radicular do feijão

Inforzato & Miyasaka (1963) citados por Silva (2004), verificaram, sob condições tropicais, que o sistema radicular do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é superficial, e que na floração mais de 83% da biomassa radicular concentra-se na camada de 0-20 cm do solo.

Stone & Silveira (1999), estudando a distribuição do sistema radicular do feijão em profundidade, concluíram que esta foi influenciada pelo sistema de manejo do solo, sendo mais uniforme no preparo com arado. No preparo com grade houve concentração de cerca de 60% das raízes na camada de 0-10 cm de profundidade e, em plantio direto, a mesma concentração ocorreu até 20 cm.

Stone (2002), trabalhando com a cultura do feijão por quatro anos consecutivos, em três sistemas de preparo do solo: plantio direto, aração com grade aradora e aração com arado de aiveca, concluíram que 76 a 90% das raízes se concentraram nos primeiros 30 cm de profundidade do solo.

4.4.2 Sistema radicular do milho

A profundidade do sistema radicular do milho é variável em função do ambiente de crescimento, mas normalmente se desenvolve de 1,2 a 1,5m de profundidade, e geralmente 60 a 80% do sistema radicular encontra-se nos primeiros 30cm do solo (Rhoads &

Bennett, 1990). Para Resende et al., (1990) a profundidade efetiva do sistema radicular do milho, até os 30 dias após a germinação, é de 20cm, e de 40cm após esse período. Moreira (1993) e Albuquerque & Resende (2002) concordam que, de uma maneira geral, a profundidade efetiva do sistema radicular do milho varia de 40 a 50cm.

A compactação modifica o comprimento, diâmetro e distribuição das raízes de milho no solo (Shierlaw & Alston, 1984), que por sua vez pode interferir na sua taxa de absorção de água. Mas o principal fator que afeta a taxa de crescimento da raiz de milho é o nível de água no solo (Barber et al., 1988), uma vez que, o conteúdo de água no solo afeta a relação entre resistência do solo à penetração e o alongamento radicular (Rosolem et al., 1999).

Rosolem et al. (1999) trabalhando com crescimento radicular de plântulas de milho, concluíram que a resistência do solo à penetração da ordem de 1300kPa reduzem à metade o crescimento das raízes seminais adventícias do milho e que o aumento da resistência causa diminuição no comprimento e número de raízes seminais adventícias. Quando a densidade do solo é baixa, a textura tem papel preponderante no crescimento radicular.

Para Foloni et al. (2003), o impedimento físico em subsuperfície altera a distribuição do sistema radicular das plantas de milho ao longo do perfil do solo, porém, não diminui a produção total de raízes. Seixas et al. (2005) estudando alguns fatores que interferem na compactação do solo em plantio direto e seus efeitos na cultura do milho, em Latossolo Vermelho Distroférrico Típico, no município de Dois Vizinhos, PR, concluíram que os tratamentos que não sofreram compressão do solo apresentaram maiores produtividades e também maior densidade de raízes, com sua distribuição mais homogênea no perfil do solo.

4.4.3 Sistema radicular da soja

Aproximadamente 70 a 80% da massa das raízes de soja distribuem-se nos primeiros 15cm do solo, em condições normais de cultivo (Gregory, 1992), com o desenvolvimento radicular da soja ocorrendo através dos macroporos ou dos espaços vazios entre os agregados (Abreu et al., 2004). A continuidade desses espaços vazios, considerados

fundamentais para o aprofundamento das raízes, é decorrente da presença de estruturas mais frágeis, fendas, originadas dos movimentos de contração e expansão da fração coloidal, e de canais formados pelas raízes em decomposição e pela atividade biológica da fauna do solo (Neves et al., 2003; Holland, 2004). Esses processos estão intimamente associados ao manejo do solo nas operações de preparo, rotação de culturas e atividades de descompactação (Torres & Saraiva, 1999).

Segundo Cardoso (2006), a presença de camadas mais compactas no perfil do solo provocou o desenvolvimento radicular em zonas de menor resistência, em poros biológicos e nas fissuras do solo, e quando comparou diferentes manejos do solo, não obteve diferença entre os tratamentos para a produção de grãos, graças à adequada disponibilidade hídrica durante o período avaliado.

4.5 Produtividade

4.5.1 Produtividade do feijão

O efeito dos diferentes manejos sobre a produtividade do feijoeiro ainda não está bem determinado. Mullins et al. (1980) e Zaffaroni et al. (1991) não encontraram diferenças na produtividade do feijoeiro entre o plantio direto e o preparo convencional do solo. Knavel & Herron (1986), Mullins & Straw (1988), Sampaio et al. (1989) e Siqueira (1989), por sua vez, observaram que o preparo convencional proporcionou maior produtividade, enquanto que Skarphol & Corey (1987) e Urchei (1996), verificaram maior produtividade em plantio direto.

Stone & Moreira (1995), estudando o efeito de diferentes manejos de preparo do solo (com arado de aiveca, arado escarificador e grade aradora) e plantio direto sobre a produtividade e a utilização de água pela cultura de feijão, constataram que o sistema de plantio direto foi o mais eficiente no uso da água, proporcionando assim, maior produtividade com maior economia de água. Em outro trabalho, Stone & Silveira (1999), também encontram maior produtividade do feijão na condição de plantio direto, quando comparado ao plantio convencional (arado e grade) devido, entre outros fatores, aos menores

valores e à menor variação da tensão matricial da água no solo ao longo do ciclo, em comparação com demais sistemas de preparo do solo. Porém, Silveira et al. (2001) verificaram diminuição no rendimento do feijoeiro quando o sistema de plantio direto foi utilizado consecutivamente durante seis anos.

Stone & Moreira (2001) observaram menor número de vagens por planta e massa de 100 grãos em plantio direto, refletindo assim em menor produtividade em comparação com o sistema de preparo convencional com grade pesada e arado de aivecas. A menor produção, segundo os autores, pode ter sido consequência do menor teor de N nas plantas no sistema de plantio direto, o que provocou redução do índice de área foliar e tendência de redução na produção de matéria seca de plantas. Segundo Stone (2002), os sistemas de manejo do solo afetaram significativamente a produtividade da cultura do feijão, sendo que o plantio direto apresentou menor produtividade, menor número de vagens por planta e massa de 100 grãos, em comparação com os demais sistemas de preparo do solo. O mesmo autor conclui que a produtividade do feijoeiro sob plantio direto aumenta com o tempo de adoção deste sistema.

Segundo Lopes et al. (2004), no primeiro ano de cultivo nos sistemas de plantio direto e convencional, não foram verificadas diferenças na produtividade de grãos de feijão entre os manejos. Arf et al. (2004) observaram que o preparo do solo com arado de aiveca e o com grade aradora apresentaram maior produtividade de grãos em relação ao plantio direto, uma vez que houve maior ataque de mofo-branco no plantio direto devido a maior umidade na superfície do solo proporcionada pela cobertura morta. De acordo com Lima et al. (2006), avaliando a qualidade físico-hídrica de um Argissolo Vermelho distrófico submetido a diferentes manejos, concluíram que, após cinco anos de adoção do sistema de plantio direto, este apresentou melhores condições físico-hídricas e permaneceu por maior período dentro da faixa de umidade volumétrica considerada ótima para o desenvolvimento das culturas de soja e feijão. Sendo que o rendimento da soja não foi influenciado pelos tratamentos, enquanto que a escarificação foi favorável ao rendimento do feijoeiro.

4.5.2 Produtividade do milho

Na cultura do milho os resultados referentes aos diferentes manejos de solo influenciando a produtividade também são bastante contraditórios. Comparando-se sistema plantio direto e preparo convencional, foi observado aumento do rendimento de grãos de milho sob plantio direto por Hernani & Salton (1997) e Possamai et al. (2001), enquanto outros autores encontraram rendimentos inferiores desta cultura quando conduzidos sob sistema plantio direto (Fancelli & Favarin, 1989; Hill, 1990; Sonae & Ball, 1998).

Em estudo de 20 anos, Ismail et al. (1994) encontraram maior rendimento de grãos de milho sob preparo convencional nos primeiros 12 anos, o que se inverteu nos anos seguintes, o que foi atribuído por estes autores à elevação da matéria orgânica no solo sob sistema plantio direto. Os teores de matéria orgânica nessas áreas podem alcançar ou até ultrapassar o dos ecossistemas naturais (Séguy & Bouzinac, 2001).

De acordo com Silva & Silva (2001), trabalhando durante dois anos com três sistemas de manejo: plantio direto com guandu, plantio direto e cultivo convencional, no município de Alagoinha, PB, concluíram que dois anos de experimentações foram insuficientes para promover modificações na produção e a produtividade de grãos de milho, não apresentou diferença significativa entre os sistemas de manejo utilizados.

Segundo Carvalho et al. (2004), avaliando a produtividade do milho nos sistema de plantio direto e convencional em Latossolo Vermelho distrófico, em Selvíria, MS, os dois sistemas de plantio só diferiram quanto à produtividade em ano com ocorrência de veranico, sendo que o plantio convencional propiciou maior produtividade. Berolini et al. (2006) trabalhando com dois sistemas de manejo do solo: preparo reduzido através de escarificação e plantio direto em Nitossolo Vermelho distroférico concluíram que os sistemas de manejo não influenciaram os componentes de produção da cultura de milho.

4.5.3 Produtividade da soja

Os resultados dos diferentes manejos de solo influenciando a produtividade da cultura da soja também são bastante contraditórios.

Quando compararam vários sistemas de manejo de solo entre eles o plantio direto e o plantio direto escarificado, Secco et al. (1996) não observaram diferença de rendimento de grãos da soja.

Conduzindo experimento de oito anos, Kluthcouski et al. (2000) verificaram que o rendimento de grãos de soja apresentou estabilidade ao longo do tempo, sendo esta, dentre as principais culturas, a espécie mais adaptada ao sistema plantio direto, independente das possíveis restrições devido compactação ou a concentração superficial de nutrientes no solo, sob este sistema. Quando cultivada sob sistema plantio direto, a soja pode apresentar crescimento inicial reduzido, com plantas menos vigorosas, quando comparado ao preparo convencional, no entanto, há um crescimento compensador atingindo produtividade de grãos equiparada em ambos os sistemas (Yusuf et al, 1999).

O rendimento de soja sob plantio direto foi 47,88% inferior ao plantio direto escarificado provavelmente devido à compactação no sistema plantio direto, que reduziu o desenvolvimento radicular em função do aumento da resistência mecânica, o que afetou a absorção de água e nutrientes (Ferrerias et al.,2001). A escarificação do solo em área manejada por oito anos sob sistema plantio direto não propiciou incremento no rendimento de grãos de soja. Os cultivares de soja apresentaram comportamento semelhante para os diferentes estados de compactação do solo (Secco et al., 2004).

Pauletti et al. (2003), trabalhando em Latossolo Vermelho Distrófico típico, de 1993 a 2000, avaliando o rendimento de grãos de milho e soja nos diferentes sistemas de manejo, concluíram que para a cultura de milho, não foram observadas diferenças significativas de rendimento de grãos quando foram comparados os manejos e os anos de cultivo. No ano de 1998 o rendimento de grãos de soja do tratamento plantio direto foi inferior aos tratamentos preparo mínimo e plantio convencional. No ano de 2000, esta cultivar foi substituída pela BRS 133, havendo maior rendimento no tratamento plantio direto em relação ao preparo mínimo e plantio convencional. Os autores concluíram também que em ano com precipitação normal, o preparo convencional do solo (grade pesada + grade leve) proporciona maior produtividade da soja do que o sistema de plantio direto.

Carvalho Filho (2004), estudando os efeitos de diferentes sistemas de preparo de solo num Latossolo Vermelho distrófico, cultivado com soja, concluiu que a

produtividade de grãos não sofreu influência dos diferentes manejos. Entretanto, Carvalho et al. (2004) avaliando a produtividade da soja em plantio direto e convencional num Latossolo Vermelho distrófico, observaram que o sistema convencional proporcionou maior produtividade em ano com precipitação normal.

Camara & Klein (2005) trabalhando em Latossolo Vermelho Distrófico típico, em dois manejos de solo, plantio direto e plantio direto escarificado, concluiu que os componentes de rendimento e o rendimento de grãos da cultura da soja não foram afetados pelos manejos. A presença de camadas compactadas no perfil do solo não afeta a produtividade de grão e a acumulação de matéria seca da soja, quando não há restrição hídrica (Cardoso et al., 2006).

CAPÍTULO I

RETENÇÃO DE ÁGUA, COMPACTAÇÃO DO SOLO E PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.) IRRIGADO POR PIVÔ CENTRAL EM DIFERENTES MANEJOS DO SOLO

Redigido conforme as normas da revista: **ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**RETENÇÃO DE ÁGUA, COMPACTAÇÃO DO SOLO E PRODUTIVIDADE DO
FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.) IRRIGADO POR PIVÔ CENTRAL EM
DIFERENTES MANEJOS DO SOLO**

RESUMO: O sudoeste do Estado de São Paulo, Brasil, possui uma significativa área de culturas anuais, basicamente cereais, irrigadas por pivô central. A cultura do feijão faz parte da rotação de culturas praticadas por estes irrigantes, os quais adotam o plantio na palha como forma de uso sustentável do solo. Este trabalho teve como objetivo comparar dois manejos do solo, convencional e plantio na palha, quanto aos efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo, compactação e sobre os componentes de produção da cultura do feijão irrigado por pivô central. O experimento foi conduzido na Fazenda Buriti-Mirim, situada na Rodovia Raposo Tavares Km 223,5, município de Angatuba, SP (23°30'13" S, 48°35'37" W; 640m), durante o segundo semestre de 2003, utilizando uma área de Latossolo Roxo irrigada por pivô central, dividida em dois tipos de manejo do solo plantio convencional e plantio na palha. Embora no plantio na palha tenha-se encontrado uma maior capacidade de retenção de água nas camadas mais superficiais do solo, bem como uma menor compactação, os manejos não diferiram quanto à produtividade da cultura. Uma vez que os ciclos de manejo conservacionista são curtos, verificou-se que a prática de plantio na palha gerou benefícios indiretos, porém o tempo foi muito reduzido para promover mudanças estruturais no solo e, conseqüentemente, alterações significativas nas propriedades físico-hídricas que resultem em maior desenvolvimento radicular e maior produtividade.

PALAVRAS-CHAVE: plantio na palha, índice de cone, água disponível.

**WATER RETENTION, COMPACTION AND BEAN YIELD IN DIFFERENT SOIL
MANAGEMENTS UNDER A CENTER PIVOT SYSTEM**

ABSTRACT: The southwestern region of the state of São Paulo, Brazil presents significant area of annual cultures basically composed of cereals under center pivot irrigation system. The bean culture is part of crop rotation used by irrigators from this region, who perform no-tillage

management as a form of sustainable soil use. The objective of this work was to compare two soil management systems: conventional management and no-tillage management systems in relation to their effects on the soil physical-hydric properties, compaction and production components of bean culture under central pivot system irrigation. The experiment was conducted at the Buriti-Mirim Farm, Km 223.5 of the Raposo Tavares Highway, Angatuba, SP, Brazil, during the second semester of 2003 using an area irrigated through center pivot system divided into two types of soil managements: conventional management and no-tillage management. Although no-tillage management presented higher water retention capacity at the most superficial soil layers as well as lower compaction, the soil managements did not present significant differences in relation to culture productivity. Since conservationist management cycles are short, it was verified that the no-tillage management practice generated indirect benefits; however, time was not enough to promote structural changes in the soil and hence significant alterations in the physical-hydric properties that would lead to higher root development and culture productivity.

Keywords: no-tillage management, soil cone index, available water.

INTRODUÇÃO

Manejo do Solo

Em condições naturais, o solo encontra-se num estado estável no ambiente, mas o manejo inadequado causa degradação, principalmente da fração orgânica, comprometendo a sustentabilidade de sistemas agrícolas (Gonçalves & Ceretta, 1999). A estrutura de um solo ideal é aquela que permite uma adequada área de contato entre as raízes e o solo, um espaço poroso contínuo e suficiente para o movimento de água e de gases e resistência do solo à penetração que não limite o crescimento de raízes (Koppi & Douglas, 1991).

Em função do manejo, o solo é passível tanto de degradação quanto de melhoramento do potencial produtivo. Os diferentes sistemas provocam alterações em sua densidade e porosidade e, conseqüentemente, no armazenamento de água ao longo do seu perfil, interferindo diretamente no desenvolvimento do sistema radicular e na produtividade das

culturas. A magnitude das alterações é função do tempo de adoção do sistema de manejo, do tipo de solo e do clima da região. Os sistemas de manejo devem adaptar-se as condições edafoclimáticas, sociais e culturais regionais e contribuir para a manutenção ou melhoria da qualidade do solo e do ambiente, bem como para a obtenção de adequadas produtividades ao longo dos anos (Costa et al., 2003).

Preparo Convencional

O sistema de preparo convencional é o conjunto de operações realizadas antes da semeadura, com a finalidade de revolver o solo para fornecer as melhores condições físicas, químicas e biológicas para a semente germinar, além de incorporar fertilizantes, corretivos e restos de culturas anteriores, este último, como forma de controlar plantas daninhas (Folle & Seixas, 1986). Entretanto, o uso dessa prática por anos sucessivos, além de ocasionar a excessiva desintegração física e preparo somente superficial do solo (0,12 a 0,15m), pode levar à formação de uma camada impermeável abaixo da superfície do solo, conhecido como “pé de grade ou pé de arado” (Freitas, 1992; Fornasieri Filho & Fornasieri, 1993).

Plantio Direto

O preparo convencional do solo vem sendo substituído com sucesso em muitas regiões agrícolas do mundo e, em particular, do Brasil. A rápida degradação do solo sob exploração agrícola no mundo, especialmente nos países tropicais em desenvolvimento, despertou, nas últimas décadas, a preocupação com a qualidade do solo e a sustentabilidade da exploração agrícola (Lal & Pirce, 1991). Se o cultivo intensivo é responsável pela deterioração do solo, sua redução e o acúmulo de resíduos orgânicos na superfície do solo, provavelmente, poderão reverter esta situação (Silveira Neto et al., 2006). A técnica do plantio direto tem sido preconizada como uma alternativa para evitar os efeitos indesejáveis do preparo do solo repetitivo e inadequado, quando da prática do cultivo intensivo (Chan et al., 1992).

O sistema de plantio direto tem como principal característica à implantação de uma cultura sem mobilização drástica do solo, ou seja, sem o seu preparo ou mobilização antes da semeadura, a mobilização ocorre apenas na linha da semeadura. Este tipo de sistema envolve também, a manutenção dos resíduos vegetais das culturas anteriores em sua superfície e a

diversificação de espécies via rotação de culturas. De acordo com Seixas et al. (2005), essa rotação consiste na alternância de espécies vegetais na mesma área e na mesma estação, observando-se um período mínimo sem o cultivo da mesma espécie.

Compactação do Solo

A compactação do solo consiste na alteração de sua estrutura, geralmente causada por tráfego de máquinas e implementos agrícolas ou pela degradação causada pelas operações de preparo e de cultivo. A compactação do solo é um processo em que a porosidade e a permeabilidade são reduzidas, o arranjo estrutural, a difusão de gases, a infiltração e o armazenamento de água comprometidos, e a resistência do solo à penetração aumentada (Taylor & Brar, 1991; Soane & Ouwerkerk, 1994). Com a compactação tem-se uma menor produtividade agrícola, uma vez que esta reduz a permeabilidade do solo ao ar e a água, além de dificultar a penetração das raízes (Lanças et al., 1990; Novak et al., 1992; Freitas 1994; Pedrotti et al., 1998). Com isso, o solo apresenta menor disponibilidade hídrica e nutricional, resultando em uma pequena camada a ser explorada pelo sistema radicular.

O manejo convencional, em que se tem uma intensa mecanização, acentua os problemas de compactação do solo, ficando este efeito mais evidente nas culturas anuais devido à intensiva mobilização do solo durante as operações de preparo (Silva et al., 1986).

No plantio direto, a semeadura é realizada sob os restos da cultura anterior, as camadas superficiais do perfil do solo, quando comparadas ao preparo convencional, geralmente apresentam, após três a quatro anos, maior estabilidade estrutural, maiores valores de densidade e de microporosidade e menores valores de macroporosidade e de porosidade total (Vieira, 1981; Vieira & Muzilli, 1984; Corrêa, 1985; Stone & Silveira 1999). Isto se deve, principalmente, ao não revolvimento do solo e a pressão exercida pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas, sobretudo quando realizado em solos argilosos e com elevados teores de água (Vieira & Muzilli, 1984; Stone & Silveira, 1999). O tráfego de máquinas pesadas no sistema de plantio direto tem provocado compactação superficial do solo (Silva et al., 2000) e reduzido a produtividade das culturas (Beutler & Centurion, 2003).

Um dos indicadores do nível de compactação no solo é sua densidade (Mantovani, 1987; Reichardt, 1990; Díaz-Zorita, 2000; Queiroz-Voltan et al., 2000). Quando o sistema é

corretamente manejado, com boa cobertura morta e adequada rotação de culturas sua densidade pode vir a diminuir com o passar dos anos, devido ao aumento do conteúdo de matéria orgânica na camada superficial, melhorando, inclusive, a estrutura do solo (Reeves, 1995; Stone & Silveira 1999) que irá promover a formação de canais que permitem adequado fluxo de ar e maiores taxas de infiltração de água (Seixas et al., 2005).

O índice de cone pode ser utilizado como um parâmetro adequado para a caracterização das condições físico-mecânicas do solo e estimativas das interações solo-máquina (trafegabilidade, compactação e métodos de preparo do solo) e solo-raiz (impedimento mecânico, restrição ao crescimento), conforme Machado et al. (1999). Ele é definido como a resistência do solo à penetração de uma ponta cônica expressa como a força por unidade de área da base do cone até uma determinada profundidade (Cunha et al., 2002).

Tormena et al. (1998) e Silva et al., (2002) concordam que 2000kPa de resistência à penetração no solo tem sido associado a condições impeditivas para o crescimento das raízes e da parte aérea das culturas de uma maneira geral. Canarache, 1990 e Merotto & Mundstock, 1999) afirmam que valores de resistência mecânica à penetração variando de 1000 a 3500kPa podem restringir ou mesmo impedir o crescimento e o desenvolvimento das raízes.

Para a cultura do feijão, valores de resistência mecânica do solo à penetração variando entre 1290 a 2870kPa não restringiram a produtividade de grãos segundo Carvalho et al. (2006).

Água Disponível

O manejo do solo sob plantio direto, embora aumente a densidade do solo, bem como a resistência à penetração das raízes, aumenta o volume de água armazenada e disponíveis as plantas (Klein & Libardi, 1998). A maior disponibilidade hídrica em plantio direto está relacionada ao não revolvimento do solo, a sua menor temperatura e a maior cobertura morta superficial (Vieira, 1984), que reduz a evaporação, aumenta a transpiração, conseqüentemente, aumenta a produtividade das culturas.

A manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo no plantio direto proporciona, além do aumento da retenção de água, maior proteção do solo contra o impacto direto da chuva (Igüe, 1984). O não revolvimento do solo leva a uma decomposição mais lenta e gradual

do material orgânico, contribuindo para a conservação do solo e da água, promovendo, principalmente a melhoria da estrutura que favorece a aeração e a infiltração de água no solo, possibilitando maior penetração do sistema radicular (Igue, 1984; Lal, 1986).

Vários são os trabalhos que têm mostrado que, sob o sistema de plantio direto ou em sistemas de cultivo mínimo, ocorre maior retenção de água pelo solo, principalmente em baixas tensões (Igue, 1984; Vieira, 1984; Lal, 1986; Castro et al., 1987; Salton & Mielniczuk, 1995; Stone & Moreira, 1995; Klein & Libardi, 1998; Stone & Silveira, 1999; Stone & Moreira 2000; Stone & Moreira 2001; Oliveira et al. 2004; Lima et al., 2006). Nas tensões mais baixas, a distribuição do tamanho dos poros está altamente correlacionada com o armazenamento de água no solo. Desta maneira, aqueles sistemas de preparo que provocam maior revolvimento do solo e, portanto, aumentam o seu volume, armazenam menos água na camada revolvida em relação à outra camada idêntica sem revolvimento (Stone & Moreira, 2000).

Objetivos

No sudoeste do Estado de São Paulo, na bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema, há uma significativa área de culturas anuais, basicamente cereais, irrigados por pivô central, na qual o plantio na palha é adotado como forma de uso sustentável do solo e a água. As vantagens desse sistema de manejo conservacionista comparativamente ao plantio convencional são muitas. Dentre as principais, os irrigantes desta região destacam: maior agilidade de plantio, pois a dessecação pode ser realizada após o plantio; menor custo de implantação da cultura; maior facilidade de manejo de plantas daninhas; produção e manutenção da palhada, evitando assim, escoamento superficial de água, conseqüentemente, erosão; a palhada diminui a compactação, amortecendo o impacto dos implementos. Entretanto, as mudanças estruturais no solo e, conseqüentemente, as alterações promovidos por este manejo nas propriedades físico-hídricas do solo, na sua compactação e no desenvolvimento radicular das culturas ainda não foram quantificadas.

Desta forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar como dois diferentes sistemas de manejo, o convencional e o plantio na palha, interferem na retenção de água no solo, na compactação e na produtividade do feijão irrigado via pivô central.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado e conduzido numa área de Latossolo Roxo de 18ha irrigada por pivô central na Fazenda Buriti-Mirim, município de Angatuba-SP (23°30'13" S, 48°35'37" W; 640m), durante o segundo semestre de 2003. A cultura utilizada foi feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar Rubi, cuja semeadura ocorreu em 02 de agosto e a colheita no dia 25 de novembro de 2003, totalizando 116 dias de ciclo da cultura.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com dois tratamentos: plantio na palha e plantio convencional, com 13 parcelas cada. As médias dos resultados obtidos foram comparadas pelo teste t de Student a 5% de probabilidade.

O plantio convencional foi realizado mediante o uso de arado e grade, enquanto o plantio na palha se caracterizou pela semeadura realizada sob os restos da cultura anterior, sem revolvimento do solo. Utilizou-se a denominação plantio na palha, uma vez que a parcela sem revolvimento não caracteriza um sistema de plantio direto contínuo, visto que, periodicamente são realizadas operações de preparo do solo para eliminação da soqueira do algodão e subsolagem para eliminação das camadas compactadas do solo e redistribuição dos nutrientes no perfil do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Rotação de culturas segundo a programação de plantio.

2001		2002		2003	
1º semestre	2º semestre	1º semestre	2º semestre	1º semestre	2º semestre
Algodão/ aveia	Milho	Feijão/ aveia	Algodão	Aveia	Feijão

Antes da instalação do experimento foram coletadas amostras indeformadas de solo com o auxílio de anéis volumétricos, nas camadas de 0-5cm, 5-10cm, 10-20cm e 20-40cm, nas duas condições de preparo do solo, para obtenção das curvas características de retenção de água no solo. Para ajustar os pares de dados de tensão de água no solo e a correspondente umidade volumétrica adotou-se a equação não linear proposto por Van Genuchten (1980), cujos parâmetros foram obtidos utilizando o programa computacional Soil Water Retention Curve – SWRC (Dourado Neto et al., 1990).

Para o monitoramento da irrigação foram instaladas três baterias de tensiômetros em cada tratamento de manejo do solo. Cada bateria era composta por dois tensiômetros instalados nas profundidades de 15 e 30cm, sendo que o primeiro definia o momento de irrigar e o segundo era utilizado para controle da lâmina aplicada, conforme recomendação de Saad & Libardi, 1992. As irrigações foram realizadas sempre que a média entre as leituras dos tensiômetros a 15cm de profundidade atingisse 35kPa (Silveira & Stone 1994; Moreira et al., 1999).

Para a determinação da resistência mecânica à penetração (índice de cone) do solo, foi utilizado um penetrômetro hidráulico-eletrônico, de acordo com Lanças e Santos (1998). O penetrômetro hidráulico-eletrônico, montado sobre uma carreta para transporte rodoviário e aplicação em tratores com sistema hidráulico, apresenta um cone com área da base de 320 mm², ângulo sólido de 30° e velocidade constante de penetração no solo de 30 mm s⁻¹ conforme ASAE S313.2 (1991). O sistema eletrônico possui um sistema de aquisição de dados (Microllogger 23X, Campbell), sensor de força (célula de carga de 10000 N) e sensor de profundidade (potenciômetro rotativo). As profundidades para determinação do índice de cone foram de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40cm, na condição de plantio convencional e na palha.

Por ocasião da colheita da cultura do feijão, foram coletadas 10 plantas sequenciais em local pré-determinado na área útil de cada parcela. Essas plantas foram levadas para laboratório para determinação de: número de vagens/planta; número de grãos/planta; número médio de grãos/vagem e massa de 1000 grãos, que foi determinada através da coleta ao acaso e pesagem de 2 amostras de 1000 grãos por parcela.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 estão apresentadas as precipitações e irrigações que ocorreram durante o ciclo do feijoeiro, que totalizaram, respectivamente, 333,5mm e 188,3mm. De acordo com Doorenbos & Kassam (1979), a necessidade hídrica da cultura do feijão com ciclo de 60 a 120 dias varia de 300 a 500mm para obtenção de alta produtividade.

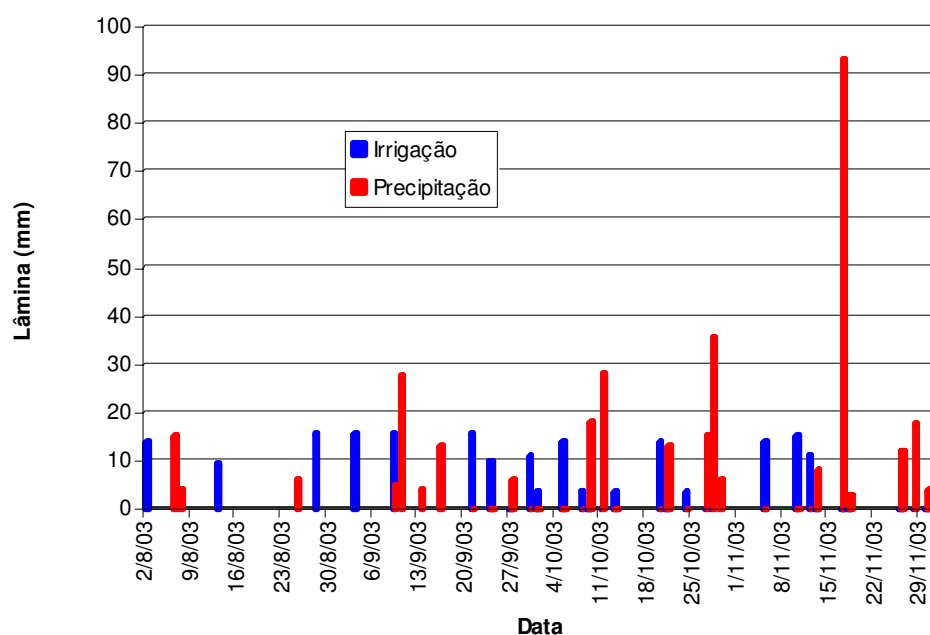


Figura 1. Ocorrência de precipitação e irrigação durante o ciclo da cultura do feijão.

Verifica-se que em pelo menos dois dias, 09/09 e 20/10/03, logo após a realização da irrigação ocorreu precipitação pluvial com lâmina igual ou superior aquela aplicada. Isto evidencia a importância de serviços de monitoramento climático que forneçam informações sobre a probabilidade de ocorrência de chuvas, pois um pequeno adiantamento da irrigação prevista ou mesmo sua suspensão pode representar economia de água e de energia, bem como evitar condições propícias para desenvolvimento de doenças.

Para a cultura do feijão recomenda-se proceder à irrigação quando a tensão da água no solo atingir 35kPa (Silveira & Stone 1994; Moreira et al., 1999). O monitoramento da tensão da água no solo, Figuras 2 e 3, mostrou uma tendência muito parecida entre as condições de plantio na palha e convencional. Sendo a linha azul a que representa a tensão equivalente ao solo na capacidade de campo, ou seja, 10kPa, e a linha verde que representa a tensão de 35kPa que indica o momento de irrigar, nota-se que em determinados períodos a tensão ultrapassou esses dois limites. Os períodos em que a tensão se aproximou de 0, ou seja, da saturação, são aqueles correspondentes a ocorrência de chuvas intensas (10/09 a 16/09/03).

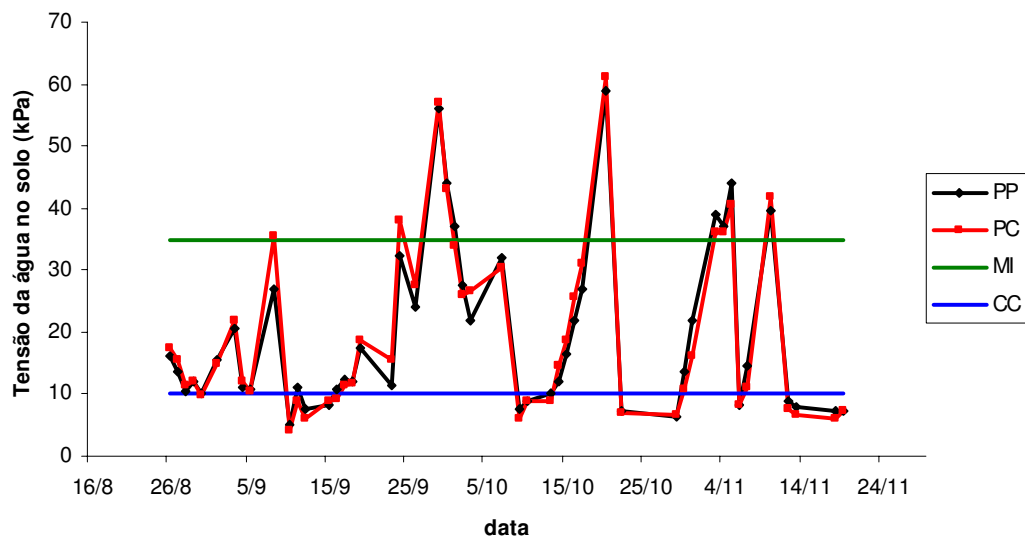


Figura 2. Tensão de água no solo (kPa) a 15cm de profundidade, para a condição de plantio na palha (PP) e plantio convencional (PC), momento de irrigar (MI) e capacidade de campo (CC), ao longo do ciclo da cultura.

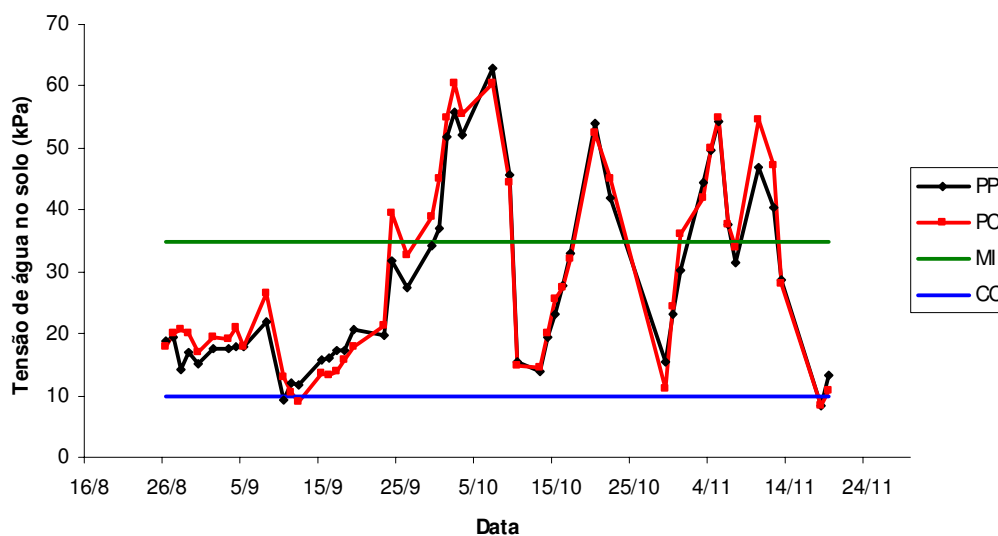


Figura 3. Tensão de água no solo (kPa) a 30cm de profundidade, para a condição de plantio na palha (PP) e plantio convencional (PC), momento de irrigar (MI) e capacidade de campo (CC), ao longo do ciclo da cultura.

Por outro lado, em alguns períodos a tensão extrapolou a tensão limite (35kPa) deixando o solo mais seco visando auxiliar no controle de doenças com alto potencial de danos e que se propagam em ambiente úmido, como por exemplo, o mofo branco.

Em condições idênticas de precipitação e irrigação, o solo manejado na condição de plantio na palha apresentou uma maior quantidade de água disponível nas camadas mais superficiais (0 a 5cm e 5 a 10cm), valores idênticos na camada de 10 a 20cm e menor quantidade na camada mais profunda (20 a 40cm), conforme registrado na Tabela 2. A maior disponibilidade hídrica no plantio na palha na camada do solo de 0-10cm foi observada por Urchei (1996), que também observou que nas camadas de 10 a 20cm e de 20 a 30cm, os dois tipos de manejo praticamente tiveram o mesmo armazenamento de água. Considerando a profundidade efetiva do sistema radicular do feijoeiro variando de 20 a 30cm (Moreira 1993; Stone 2002), a condição de plantio na palha mostrou-se mais eficiente na retenção de água até essa profundidade, e com isso, pode haver mais água disponível para as plantas e menor variação no seu conteúdo, uma vez que a cobertura morta nesta condição possivelmente reduziu as perdas de água por evaporação (Stone & Silveira, 1999; Stone & Moreira, 2000; 2001). Outros trabalhos (Castro et al., 1987; Salton & Mielniczuk, 1995; Klein & Libardi, 1998) verificaram que em plantio direto ou em sistemas de preparo mínimo, nos quais o solo é pouco ou nada revolvido, ocorre maior retenção de água. De acordo com Vieira (1984) a maior disponibilidade hídrica em plantio direto está relacionada ao não revolvimento do solo, a sua menor temperatura e a maior cobertura morta superficial, que aumentou a rugosidade da superfície e possivelmente favoreceu maiores índices de infiltração.

Tabela 2. Unidades correspondentes à capacidade de campo (CC) em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, ponto de murcha permanente (PMP) em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, água disponível (AD) em mm cm^{-1} , densidade (Ds) em g cm^{-3} e textura em diferentes camadas de solo para os manejos, plantio convencional (PC) e plantio na palha (PP).

Manejo de solo	Camada (cm)	CC ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	PMP ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	AD (mm cm^{-1})	Ds (g cm^{-3})	Textura
PC	0-5	0,3215	0,2764	0,5	1,48	argiloso
	5-10	0,3172	0,2584	0,6	1,41	muito argiloso
	10-20	0,3248	0,2697	0,6	1,41	muito argiloso
	20-40	0,3071	0,2418	0,7	1,26	muito argiloso
PP	0-5	0,3387	0,2653	0,7	1,23	argiloso
	5-10	0,3645	0,2934	0,7	1,37	muito argiloso
	10-20	0,3885	0,3302	0,6	1,41	muito argiloso
	20-40	0,3672	0,3152	0,5	1,36	muito argiloso

Desta maneira, as plantas do plantio na palha tiveram condições potenciais de maior desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, maior crescimento vegetativo, maior número de flores e maior produção de grãos.

Como no plantio convencional houve uma intensa mecanização, ou seja, maior tráfego de máquinas e implementos agrícolas, as camadas mais superficiais do perfil do solo (0 a 5cm e de 5 a 10cm) registraram maiores valores de densidade, em conformidade com os resultados de Pedroso & Corsini, 1983; Silva et al., 1986; Campos et al., 1995. Sendo a densidade do solo uma das formas mais comuns de quantificar sua compactação (Mantovani, 1987; Reichardt, 1990), pode-se concluir que até a profundidade de 10cm o plantio na palha encontrava-se menos compactado. O não revolvimento do solo e a menor movimentação de máquinas e implementos agrícolas, aliado ao efeito da cobertura morta que aumentou o conteúdo de matéria orgânica, propiciaram uma melhora na estrutura do solo nesta profundidade, aumentando assim seus agregados e diminuindo sua densidade, o que contribuiu para um maior armazenamento de água nesta condição, a semelhança do encontrado por Stone & Moreira (2000; 2001). Do mesmo modo que para a água disponível, na camada de 10 a 20cm os dois manejos de solo apresentaram a mesma densidade, e na camada mais profunda (20-40) foi à condição de plantio convencional que apresentou menor densidade do solo.

O índice de cone é uma medida indireta de resistência do solo à penetração das raízes, tendo apresentado tendência de aumento até a profundidade de 20cm, com valores máximos de 3254kPa e 3310kPa na camada de 10 a 20cm, para a condição de plantio na palha e convencional, respectivamente (Tabela 3). Comparativamente, o plantio convencional apresentou maiores valores de índice de cone nas camadas de 5-10, 10-20 e 20-40cm, sendo que somente na camada de 0-5cm este foi inferior ao plantio na palha.

Tabela 3. Valores de índice de cone (kPa) para as condições de plantio na palha (PP) e plantio convencional (PC) nas diferentes camadas de solo avaliadas.

Manejo do solo	0-5cm	5-10cm	10-20cm	20-40cm
PP	1104	2736	3254	2335
PC	1095	3161	3310	2702

As camadas de 5 a 10cm e 10 a 20cm, no plantio convencional, apresentaram valores muito próximos, 3161kPa e 3310kPa, respectivamente, o que pode ter sido causado por problemas na regulação da profundidade efetiva de trabalho dos equipamentos, o que evidenciou alterações na profundidade do “pé de grade ou pé de arado”.

As alterações físico-hídricas nas camadas mais superficiais no plantio na palha não foram suficientes para influenciar favoravelmente os componentes de produção e a produtividade do feijoeiro, que não apresentaram diferença estatística significativa a 5% de probabilidade em relação ao manejo convencional (Tabela 4).

Tabela 4. Número de grãos por planta, número de grãos por vagem, massa de 1000 grãos e produtividade do feijoeiro para os dois manejos de solo.

Manejo de solo	Número de grãos por planta	Número de vagens por planta	Número de grãos por vagem	Massa de 1000 grãos (g)	Produtividade (Kg ha ⁻¹)
Plantio na palha	83,48a	15,22a	5,14a	180,02a	3360a
Plantio convencional	78,41a	16,22a	5,16a	190,47a	3330a

Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente, a 5% de probabilidade, pelo teste t de Student.

Mullins et al. (1980) e Zaffaroni et al. (1991) também não encontraram diferenças na produtividade do feijoeiro entre o plantio direto e o preparo convencional do solo. Segundo Lopes et al. (2004), no primeiro ano de cultivo dos sistemas de plantio direto e convencional, não foi possível verificar diferenças significativas de produtividade entre os sistemas de plantio. Entretanto, Stone (2002), conclui que a produtividade do feijoeiro sob plantio direto aumenta com o tempo de adoção deste sistema.

CONCLUSÕES

O plantio na palha apresentou, até a profundidade de 10 cm, menor valor de densidade do solo, menor compactação e maior capacidade de armazenamento de água em relação ao plantio convencional. Entretanto, estes dois manejos de solo não registraram diferença significativa para a produtividade do feijoeiro e para os demais componentes de produção avaliados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASAE Standard ASAE S313.2, Soil Cone Penetrometer, Agricultural Engineers Yearbook of Standards, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, EUA, 1991. 591 p.

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

CAMPOS, R.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.& PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.19, 1995. p.121-126,

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

CARVALHO, G. J., CARVALHO, M. P., FREDDI, O. S., MARTINS M. V. Correlação da produtividade do feijão com a resistência à penetração do solo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.3, 2006. p. 765–771.

CASTRO, O. M.; VIEIRA, S. R.; MARIA, I.C. Sistema de preparo do solo e disponibilidade de água. In: *SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA*, 1987, Campinas. Anais. Campinas: Fundação Cargil, 1987. p. 27-51.

CHAN, K.Y.; ROBERTS, W.P.; HEEMAN, O.F. Organic carbon and associated soil properties of a red earth after 10 years of rotation under different stubble and tillage practices. *Australian Journal of Soil Research*, Melbourne, v.30, 1992. p. 71-83.

CORRÊA, J.C. Efeito de métodos de cultivo em algumas propriedades físicas em um Latossolo Amarelo muito argiloso do Estado do Amazonas. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.20, n.11, 1985. p. 1317-1322.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v.27, 2003. p. 527-535.

CUNHA, J.P.A.R.; VIEIRA, L.B.; MAGALHÃES, A.C. Resistência Mecânica do Solo à Penetração Sob Diferentes Densidades e Teores de Água. Engenharia na Agricultura, v.10, 2002. p. 1-4.

DÍAZ-ZORITA, M. Effect of deep-tillage and nitrogen fertization interactions on dryland corn (Zea mays L.) productivity. Soil & Tillage Research, Amsterdam, v. 54, 2000. p. 11-19.

DOURADO NETO, D., LIER, Q.J.V.; BOTREL, T.A., LIBARDI, P.L. Programa para confecção da curva característica de retenção de água no solo utilizando o modelo de Genuchten. Engenharia Rural, v.1, n.2, 1990. p.94-101.

FOLLE, S.M.; SEIXAS, J.M. Mecanização agrícola. In:GOEDERT, W.J. (Ed). Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo. São Paulo: NOBEL/EMBRAPA CPAC, 1986, p. 385-408.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J.L. Manual da cultura de arroz. Jaboticabal: Funep, 1993. 221 p.

FREITAS, P.L. Manejo físico do solo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, 1., 1990, Goiânia. Anais. Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 117-139.

FREITAS, P.L., de. Aspectos físicos e biológicos do solo. In: LANDERS, J.N. (Ed). Experiências de plantio direto no Cerrado. Goiânia: APDC, 1994. p.199-213.

GONÇALVES, C.N., CERETTA, C.A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. Revista Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa (MG), v.23, n.2, 1999. p. 307-313.

IGUE, K. Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos nas propriedades do solo. In: ADUBAÇÃO VERDE NO BRASIL. Campinas: Fundação Cargill, 1984. p.232-267.

KLEIN, V.A., LIBARDI, P.L. Armazenagem de água no solo e resistência à penetração. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12. 1998. Fortaleza/Ceará. Resumos expandidos. Sociedade Brasileira Ciências do Solo. Universidade Federal do Ceará. 1998. p.163-164.

KOPPI, A.J.; DOUGLAS, J.T. A rapid inexpensive and quantitative procedure for assessing soil structure with respect to cropping. Soil Use Management, v.7, 1991. p. 52-56.

LAL, R. Soil surface management in the tropics for intensive land use and high and sustained production. Advances in Soil Sciences, v.5, 1986. p. 100-109.

LAL, R.; PIRCE, F. J. The vanishing resource. In: LAL, R.; PIRCE, F. J. (Ed.). Soil managment for sustainability. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 1991. p. 1-5.

LANÇAS, K. P., SANTOS FILHO, C.A. Penetrômetro hidráulico-eletrônico equipado com DGPS para avaliação da compactação do solo. La Plata, Editorial de la U.N.L.P. 1998. p. 570-576.

LANÇAS, K.P., BENEZ, S.H., FURLANI Jr, J.A., GAMERO, C.A., ANTUNIASSI, U.R. Subsolador: desgaste em função da sua dureza superficial. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 19., Piracicaba, SP. 1990. Anais... Piracicaba, SP. 1990. p. 801-809.

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

MACHADO, A.L.T., TREIN, C.R., BICA, A.V.D., BOENI, M. Desenvolvimento e aplicação de um penetrógrafo eletrônico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28, A Engenharia Agrícola – TENDÊNCIAS E INOVAÇÕES. 1999, Pelotas, RS, Anais... Pelotas/RS, (CD ROM). 1999.

MANTOVANI, E.C. Compactação do solo. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.13(147), 1987. p. 52-55.

MEROTTO, A. & MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strength. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, 1999. p. 197-202.

MOREIRA, J.A.A., STONE, L.F., SILVA, S.C., SILVEIRA, P.M. Irrigação do feijoeiro no sistema plantio direto. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 31 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnico, 33).

MULLINS, C.A.; TOMPKINS, F.D.; PARKS, W.L. Effects of tillage methods on soil nutrient distribution, plant nutrient absorption, stand, and yield of snap beans and lima beans. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, Alexandria, v.105, 1980. p. 591-593.

NOVAK, L.R., MANTOVANI, E.C., MARTYN, P.J., FERNANDES, B. Efeito do tráfego de trator e da pressão contato pneu/solo na compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro álico, em dois níveis de umidade. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.27, 1992. p. 1587-1595.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.28, 2004. p. 327-336.

PEDROSO, P.A.C.; CORSINI, P.C. Manejo físico do solo. In: FERREIRA, M.E., YAMADA, T.; MALAVOLTA, E. Cultura do arroz de sequeiro: fatores afetando a produtividade. Piracicaba: Associação Brasileira para a pesquisa da potassa e do fosfato, 1983. p.225-238.

PEDROTTI, A., VAHL, L.C., PAULETTO, E.A. Níveis de compactação do planossolo e o desenvolvimento radicular de algumas culturas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12. 1998. Fortaleza/Ceará. Resumos expandidos. Sociedade Brasileira Ciências do Solo. Universidade Federal do Ceará. 1998. p. 89-90.

QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; NOGUEIRA, S.S.S.; MIRANDA, M.A.C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.35, 2000. p. 929-938.

REEVES, D.W. Soil management under no-tillage: soil physical aspects. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1., 1995, Passo Fundo. Resumos. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1995. p. 127-130.

REICHARDT, K. A Água em Sistemas Agrícolas. Barueri: Manole, 1990. 188 p.

SAAD, A.M.; LIBARDI, P.L. Uso prático do tensiômetro para o irrigante. São Paulo: IPT, 1992. 27 p. (IPT. Comunicação Técnica).

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho Escuro de Eldorado do Sul (RS). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.19, 1995. p. 313-319.

SEIXAS, J.; ROLOFF, G.; RALISCH, R. Tráfego de máquinas e enraizamento do milho em plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.35, n.4, 2005. p. 794-798.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. Intervalo hídrico ótimo. In: MORAES, M. H.; MÜLLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. *Qualidade física do solo: métodos de estudo-sistemas de preparo e manejo do solo*. Jaboticabal: Funep, 2002. p. 1-18.

SILVA, A.P., LIBARDI, P.L., CAMARGO, O.A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.10, 1986. p. 91-95.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. *Ciência Rural*, v.30, 2000. p. 795-801.

SILVEIRA NETO, A. N., SILVEIRA, P. M., STONE, L. F., OLIVEIRA, L. F. C. Efeito de manejo e rotação de culturas em atributos físicos do solo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.36, n.1, 2006. p. 29-35.

SILVEIRA, P.M.; STONE, L. F. Manejo da irrigação do feijoeiro: uso do tensiômetro e avaliação do desempenho do pivô central. Goiânia: EMBRAPA, 1994. 46 p. (Circular Técnico, 27).

SOANE, B.D. & OUWERKERK, C. van. Soil compaction problems in world agriculture. In: SOANE, B.D. & OUWERKERK, C. van, eds. *Soil compaction in crop production*. Netherlands, Elsevier,. 1994. p.01-21.

STONE, L. F. Efeito de lâminas de irrigação e preparo do solo na resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. 24p.

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

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeito do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.34, 1999. p. 83-91.

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.36, n.3, 2001. p. 473-481.

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Resposta de duas cultivares de feijão a diferentes lâminas de irrigação, sob diferentes preparos de solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. Resumos expandidos. Viçosa:SBCS/UFV, 1995. p. 1743-1475.

TAYLOR, H.M.; BRAR, G.S. Effect of soil compaction on root development. Soil and Tillage Research, v.19, 1991. p. 111-119.

TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. Journal of Ecology, v.63, 1975. p. 995-1001.

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, 1998. p. 573-581.

URCHEI, M.A. Efeitos do plantio direto e do preparo convencional sobre alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso e no crescimento e produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob irrigação. 1996. 150f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, 1996.

VIEIRA, M.J. O preparo do solo e o comportamento da planta. Plantio Direto, Ponta Grossa, v.1, n.5, 1984. p. 4-5.

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

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

ZAFFARONI, E.; BARROS, H.H.A.; NÓBREGA, J.A.M.; LACERDA, J.T.; SOUZA JUNIOR, V.E. Efeito de métodos de preparo do solo na produtividade e outras características agrônômicas de milho e feijão no Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Campinas, v.15, n.1, 1991. p. 99-104.

CAPÍTULO II

DESENVOLVIMENTO RADICULAR E PRODUTIVIDADE DO FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.) IRRIGADO POR PIVÔ CENTRAL EM DIFERENTES MANEJOS DE SOLO

Redigido conforme as normas da revista: **REVISTA BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO**

DESENVOLVIMENTO RADICULAR E PRODUTIVIDADE DO FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.) IRRIGADO POR PIVÔ CENTRAL EM DIFERENTES MANEJOS DE SOLO

RESUMO: A cultura do feijão faz parte da rotação de culturas praticada pelos irrigantes do sudoeste paulista, que realizam o plantio na palha como forma de uso sustentável do solo. O efeito dessa prática conservacionista sobre a compactação, o desenvolvimento radicular e sobre os componentes de produção da cultura do feijão, comparativamente ao manejo convencional, foi o objetivo desse trabalho. O experimento foi conduzido na Fazenda Buriti-Mirim, Angatuba-SP (23°30'13" S, 48°35'37" W; 640m), utilizando uma área de Latossolo Roxo de 18ha irrigada por pivô central, dividida em dois tipos de manejo do solo: plantio convencional e plantio na palha. Foram avaliados os componentes de produção da cultura, índice de cone do solo e componentes do desenvolvimento radicular (distribuição no perfil do solo, comprimento, superfície, diâmetro e matéria seca). Embora no plantio na palha tenha-se encontrado uma menor compactação nas camadas mais superficiais e distribuição mais uniforme de raízes no perfil do solo, os manejos avaliados não diferiram significativamente quanto à produtividade da cultura.

PALAVRAS-CHAVE: raiz, índice de cone, compactação, plantio na palha.

ROOT DEVELOPMENT AND BEAN YIELD IN DIFFERENT SOIL MANAGERMENTS UNDER A CENTER PIVOT SYSTEM.

ABSTRACT: The bean culture is part of crop rotation used by irrigators from the southwestern region of the state of São Paulo, Brazil, who perform no-tillage soil management as a form of sustainable soil use. The effect of this conservationist practice on soil compaction, root development and bean culture production components in relation to the conventional management was the objective of this work. The experiment was conducted at the Buriti-Mirim Farm, Angatuba, SP, Brazil, using an 18ha area irrigated through center pivot system divided into two types of soil managements: conventional management and dry-grass management. Crop production components, soil cone index and root development components (distribution in the soil profile, length, surface, diameter and dry matter) were evaluated.

Although the no-tillage management had presented lower compaction at the most superficial layers and more uniform root distribution in the soil profile, the managements evaluated were not significantly different in relation to crop productivity.

Keywords: root, soil cone index, compaction, no-tillage management.

INTRODUÇÃO

Os diferentes sistemas de manejo afetam a densidade e porosidade do solo, interferindo diretamente no desenvolvimento do sistema radicular e na produtividade das culturas. A utilização incorreta de máquinas e equipamentos agrícolas leva ao aumento na densidade do solo na camada subsuperficial e tem sido apontada como uma das principais causas da deterioração da estrutura do solo e da diminuição de produtividade das culturas (Campos et al., 1995). Segundo Pedroso & Corsini (1983) e Silva et al. (1986), alterações na estrutura do solo causadas por práticas de manejo convencionais também afetam sua drenagem, uma vez que há a redução no volume de macroporos, modificando a difusão de água e gases, dificultando o desenvolvimento radicular das plantas.

Se o cultivo intensivo é responsável pela deterioração do solo, sua redução e o acúmulo de resíduos orgânicos na superfície provavelmente poderá reverter esta situação (Silveira Neto et al., 2006). A adoção de técnicas racionais de manejo conservacionista do solo e da água é de fundamental importância para a sustentabilidade, de tal forma que se possa preservar ao longo do tempo esses recursos com quantidade e qualidade suficientes para a manutenção de níveis satisfatórios de produtividade (Wutke et al., 2000). Neste sentido, a técnica do plantio direto tem sido preconizada como uma alternativa para evitar os efeitos indesejáveis do preparo do solo repetitivo e inadequado (Chan et al., 1992).

Trata-se de um sistema de manejo onde a semeadura é realizada sob os restos da cultura anterior, sem mobilização drástica do solo, ou seja, sem o seu preparo ou mobilização antes da semeadura (Stone e Silveira, 1999). Embora esta técnica possa aumentar o volume de água armazenada e disponível às plantas, Klein e Libardi (1998) explicam que o manejo do solo sob plantio direto também aumenta a densidade do solo e a resistência à penetração. De acordo com Silveira Neto et al. (2006), este aumento de densidade nas camadas mais superficiais do solo tem feito com que alguns agricultores da região dos cerrados,

eventualmente, utilizem o arado ou o escarificador em áreas até então conduzidas sob plantio direto, atuando também na redistribuição dos nutrientes no perfil do solo. Segundo Silveira et al. (1998), tal procedimento pouco afeta o aspecto conservacionista de manejo do solo, já que a semeadura direta volta a ser empregada nos cultivos subseqüentes.

O uso do plantio direto e da irrigação como técnicas conjugadas tem se mostrado promissor do ponto de vista de melhorar a exploração do solo e sua conservação. Stone & Moreira (2000; 2001) verificaram que o plantio direto proporcionou maior economia de água que outros sistemas de manejo do solo; além disso, o sistema melhoraria as características físicas do solo no decorrer dos anos, uma vez que o aumento do conteúdo de matéria orgânica na camada superficial do solo pode vir a diminuir sua densidade.

Uma vez que o plantio direto melhora a estrutura e aumenta a disponibilidade hídrica do solo, é de se esperar um maior desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, maior produtividade nesse tipo de manejo; entretanto, os efeitos dos diferentes manejos do solo influenciando o desenvolvimento radicular e a produtividade do feijoeiro ainda não estão bem determinados. De maneira geral, o alongamento radicular só é possível quando a pressão de crescimento das raízes for maior que a resistência mecânica do solo à penetração (Passioura, 1991). De acordo com Freddi et al. (2006), essa resistência exerce grande influência sobre o desenvolvimento vegetal, uma vez que o crescimento das raízes e a produtividade das culturas variam de forma inversamente proporcional ao seu valor.

Valores de resistência mecânica à penetração variando de 1000 a 3500kPa podem restringir ou mesmo impedir o crescimento e o desenvolvimento das raízes das culturas de uma maneira geral (Canarache, 1990; Merotto & Mundstock, 1999). Já para Arshad et al. (1996) esses valores podem variar de 2000 a 4000kPa. Mais especificamente para a cultura do feijão, Carvalho et al. (2006) concluiu que valores de resistência mecânica do solo à penetração variando entre 1290 a 2870kPa não são restritivos à produtividade.

Richther et al. (1990), trabalhando com diferentes culturas, obtiveram uma maior produção radicular no sistema de plantio direto que no plantio convencional; no entanto, a maior quantidade de raízes encontradas no plantio direto se concentrou nos primeiros 15cm de solo. Stone & Silveira (1999), estudando o efeito de diferentes manejos de solo sobre a produtividade, disponibilidade de água, e desenvolvimento radicular da cultura de feijão,

constatarem que o sistema de plantio direto apresentou maior produtividade com maior economia de água; no entanto, a distribuição do sistema radicular em profundidade foi mais uniforme no solo preparado com arado. Stone (2002) trabalhou com a cultura do feijão por quatro anos consecutivos em três sistemas de preparo do solo (plantio direto, aração com grade aradora e aração com arado de aiveca) e observou que de 76 a 90% das raízes se concentraram nos primeiros 30cm de profundidade do solo.

Em relação à produtividade do feijoeiro, Knavel & Herron (1986), Mullins & Straw (1988), Sampaio et al. (1989) e Siqueira (1989) verificaram maiores produtividades em preparo convencional, quando comparado ao plantio direto. No estudo de Stone (2002) o plantio direto apresentou menor número de vagens por planta e menor massa de 100 grãos, conseqüentemente, menor produtividade, em comparação aos demais sistemas de preparo do solo; no entanto, o autor atribuiu a menor produtividade ao menor teor de N nas plantas, concluindo que a produtividade do feijoeiro sob plantio direto aumenta com o tempo de adoção deste sistema.

Outros aspectos importantes estão relacionados à diminuição de produtividade no sistema de plantio direto. Arf et al. (2004) observaram que o preparo do solo com arado de aiveca e o com grade aradora produziu maior quantidade de grãos em relação ao plantio direto, uma vez que a cobertura morta deste sistema proporcionou maior umidade na superfície do solo, favorecendo o ataque da cultura pelo “mofo-branco”.

Mullins et al. (1980) e Zaffaroni et al. (1991), no entanto, não encontraram diferenças na produtividade do feijoeiro entre o plantio direto e o preparo convencional do solo. Segundo Lopes et al. (2004), no primeiro ano de cultivo nos sistemas de plantio direto e convencional também não foram verificadas diferenças significativas de armazenamento de água no solo e de produtividade de grãos entre os sistemas de plantio.

No sudoeste do Estado de São Paulo, na bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema, há uma significativa área de culturas anuais, basicamente cereais, irrigados por pivô central, na qual o plantio na palha é adotado como forma de uso sustentável do solo e a água. As vantagens desse sistema de manejo conservacionista comparativamente ao plantio convencional são muitas. Dentre as principais, os irrigantes desta região destacam: maior agilidade de plantio, pois a dessecação pode ser realizada após o plantio; menor custo de

implantação da cultura; maior facilidade de manejo de plantas daninhas; produção e manutenção da palhada, evitando assim, escoamento superficial de água, conseqüentemente, erosão; a palhada diminui a compactação, amortecendo o impacto dos implementos. Entretanto, as mudanças estruturais no solo e, conseqüentemente, as alterações promovidos por este manejo nas propriedades físico-hídricas do solo, na sua compactação e no desenvolvimento radicular das culturas ainda não foram quantificadas.

Desta forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar como estes sistemas interferem na compactação (índice de cone), desenvolvimento radicular e na produtividade do feijão irrigado por pivô central.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado e conduzido numa área de Latossolo Roxo de 18ha irrigada por pivô central na Fazenda Buriti-Mirim, município de Angatuba-SP (23°30'13" S, 48°35'37" W; 640m), durante o segundo semestre de 2003. A cultura utilizada foi o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar Rubi, cuja semeadura ocorreu em 02 de agosto e a colheita dia 25 de novembro de 2003, totalizando 116 dias de ciclo da cultura.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com dois tratamentos: plantio na palha e plantio convencional, com 13 parcelas cada. As médias dos resultados obtidos foram comparadas pelo teste t de Student a 5% de probabilidade.

O plantio convencional foi realizado mediante o uso de arado e grade, enquanto o plantio na palha se caracterizou pela semeadura realizada sob os restos da cultura anterior, sem revolvimento do solo. Utilizou-se a denominação “plantio na palha”, porque a parcela sem revolvimento não caracteriza um sistema de plantio direto contínuo, uma vez que, periodicamente são realizadas operações de preparo do solo para eliminação da soqueira do algodão e subsolagem para eliminação das camadas compactadas e redistribuição dos nutrientes no perfil do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Rotação de culturas segundo a programação de plantio.

2001		2002		2003	
1º semestre	2º semestre	1º semestre	2º semestre	1º semestre	2º semestre
Algodão/ aveia	Milho	Feijão/ aveia	Algodão	Aveia	Feijão

Antes da instalação do experimento foram coletadas amostras indeformadas de solo com o auxílio de anéis volumétricos. As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Física dos Solos do Departamento de Recursos Naturais, da Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu, para obtenção da curva característica de retenção de água no solo nos dois manejos utilizados.

O fornecimento de água para a cultura foi realizado por um sistema de irrigação pivô-central. Para o monitoramento da irrigação foram instaladas três baterias de tensiômetros em cada tratamento de manejo do solo: convencional e plantio na palha (Silveira e Stone, 2001). Cada bateria foi composta por dois tensiômetros instalados nas profundidades de 15 e 30cm, sendo que o primeiro definia o momento de irrigar e o segundo era utilizado para controle da lâmina aplicada (Saad & Libardi, 1992). As irrigações foram realizadas sempre que a média entre as leituras dos tensiômetros a 15cm de profundidade atingisse 35kPa (Silveira & Stone 1994; Moreira et al., 1999).

Para a determinação do índice de cone (resistência mecânica do solo à penetração), foi utilizado um penetrômetro hidráulico-eletrônico, de acordo com Lanças e Santos Filho (1998). O penetrômetro hidráulico-eletrônico, montado sobre uma carreta para transporte rodoviário e aplicação em tratores com sistema hidráulico, apresenta um cone com área da base de 320 mm², ângulo sólido de 30° e velocidade constante de penetração no solo de 30 mm s⁻¹ conforme ASAE S313.2 (1991). O sistema eletrônico possui um sistema de aquisição de dados (Microllogger 23X, Campbell), sensor de força (célula de carga de 10000 N) e sensor de profundidade (potenciômetro rotativo). As profundidades para determinação do índice de cone foram de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40cm, em ambos os tratamentos.

O desenvolvimento radicular foi avaliado quando 50% das plantas encontravam-se em pleno florescimento, e sua amostragem foi realizada utilizando-se um trado de aço galvanizado com diâmetro de 4,5cm. A coleta de solo para a análise de raízes ocorreu nos dias 03 e 04 de

novembro, em quatro camadas (0-5; 5-10; 10-20 e 20-40cm). As amostras foram retiradas na linha de plantio entre uma planta e outra, com quatro repetições por parcela, totalizando 52 amostras de cada camada por tratamento. Posteriormente, as raízes foram separadas do solo por lavagem em água corrente, com auxílio de uma peneira de 0,5mm. As amostras de raízes depois de lavadas e separadas, foram acondicionadas em coletores universais com solução de álcool 70% e levadas à geladeira a uma temperatura de 4°C.

As variáveis que caracterizam o desenvolvimento radicular foram determinadas em um Scanner acoplado a um computador dotado do Software WinRhizo, que utiliza como princípio o método proposto por Tennant (1975). Nesse equipamento determinou-se o comprimento (Km m^{-3}), a superfície ($\text{m}^2 \text{m}^{-3}$) e o diâmetro radicular (cm). Após essas avaliações as amostras foram secas em estufa a 65°C, até atingirem peso constante, para a determinação da produção de matéria seca radicular (g m^{-3}).

Por ocasião da colheita da cultura do feijão, foram coletadas 10 plantas sequenciais em local pré-determinado na área útil de cada parcela, totalizando 130 amostras por tratamento. Essas plantas foram levadas ao laboratório para determinação do número de vagens/planta, número de grãos/planta, número médio de grãos/vagem e massa de 1000 grãos, determinada através da coleta ao acaso e pesagem de duas amostras de 1000 grãos por parcela.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores de índice de cone mostraram tendência de aumento até a camada de 10 a 20cm, em ambos os tratamentos. Nesta camada observaram-se os maiores valores para plantio na palha e convencional, respectivamente de 3254kPa e 3310kPa (Tabela 2). Fisicamente, o alongamento radicular só é possível quando a pressão de crescimento das raízes for maior que a resistência mecânica do solo à penetração (Passioura, 1991), que pode ser caracterizada pelo índice de cone.

Para Carvalho et al. (2006), o valor de índice de cone máximo para desenvolvimento radicular adequado do feijoeiro é de 2870kPa, mostrando que os valores obtidos foram restritivos na camada de 10 a 20cm. Segundo Canarache (1990), Arshad et al. (1996) e

Merotto & Mundstock (1999), os valores de índice de cone constatados neste trabalho também podem ser restritivos ao desenvolvimento radicular da maioria das culturas.

Tabela 2. Valores de índice de cone (kPa) para as condições de plantio na palha (PP) e plantio convencional (PC) nas diferentes camadas de solo avaliadas.

Manejo do solo	0-5cm	5-10cm	10-20cm	20-40cm
PP	1104	2736	3254	2335
PC	1095	3161	3310	2702

Desta forma, o sistema radicular do feijoeiro se concentrou nas camadas mais superficiais do solo (0 a 5cm e 5 a 10cm), apresentando comprimento total de 93% nos primeiros 10cm do perfil no plantio convencional e 84% no plantio na palha (Tabela 3). A distribuição mais uniforme de raízes no plantio na palha pode estar relacionada aos valores de índice de cone da camada 5 a 10cm. Nesta camada, o índice de cone do plantio na palha (2736kPa) foi inferior ao considerado restritivo para a cultura (2870kPa), o que não ocorreu no plantio convencional (3161kPa).

Observa-se ainda que as camadas de 5 a 10 e 10 a 20cm no plantio convencional apresentaram valores muito próximos, 3161kPa e 3310kPa respectivamente, o que pode ter sido causado por problemas na regulação da profundidade efetiva de trabalho dos implementos agrícolas, evidenciando alterações na profundidade do “pé de grade ou pé de arado”.

Tabela 3. Distribuição do comprimento radicular do feijoeiro no perfil do solo, nas condições de plantio na palha e convencional, para as camadas avaliadas.

Camada (cm)	Plantio na palha	Plantio convencional
0-5	38%	61%
5-10	46%	32%
10-20	11%	6%
20-40	5%	1%

A camada de 5 a 10cm também apresentou diferença significativa no peso seco de raízes (Tabela 4), de 898,35 g.m⁻³ no plantio na palha e 598,59 g.m⁻³ no plantio convencional. Para as outras variáveis de desenvolvimento radicular, não houve diferença significativa entre os tratamentos. Os resultados de distribuição radicular mais uniforme em plantio na palha

discordam de Stone & Silveira (1999), que obtiveram melhor distribuição em solo preparado com arado.

Tabela 4. Comprimento (km m^{-3}), superfície ($\text{m}^2 \text{m}^{-3}$), peso seco (g m^{-3}) e diâmetro (cm) radicular do feijoeiro no plantio na palha (PP) e plantio convencional (PC) nas diferentes camadas avaliadas.

	Comprimento (Km m^{-3})		Superfície ($\text{m}^2 \text{m}^{-3}$)		Peso Seco (g m^{-3})		Diâmetro (cm)	
Camada (cm)	PP	PC	PP	PC	PP	PC	PP	PC
					733,15	924,55	0,054	
0-5	9,04a	16,66a	14,37a	22,35a	a	a	a	0,046a
					898,35	598,59	0,059	
5-10	10,98a	8,67a	19,93a	11,82a	a	b	a	0,048a
					339,38	263,67	0,056	
10-20	2,68a	1,53a	5,28a	3,26a	a	a	a	0,059a
							0,048	
20-40	1,11a	0,28a	1,72a	0,44a	93,53a	74,70a	a	0,042a

Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente, a 5% de probabilidade, pelo teste t de Student.

No entanto, as diferenças na distribuição do sistema radicular e no peso seco de raízes não foram suficientes para influenciar a produtividade do feijoeiro entre os tratamentos (Tabela 5). Estes resultados assemelham-se aos obtidos por Mullins et al. (1980) e Zaffaroni et al. (1991), que também não encontraram diferenças na produtividade do feijoeiro entre o plantio direto e o plantio convencional.

Tabela 5. Número de grãos por planta, número de grãos por vagem, massa de 1000 grãos e produtividade do feijoeiro em razão de diferentes preparos de solo, plantio convencional (PC) e plantio na palha (PP).

Manejo de solo	Número de grãos por planta	Número de vagens por planta	Número de grãos por vagem	Massa de 1000 grãos (g)	Produtividade (Kg ha^{-1})
PP	83,48a	15,22a	5,14a	180,02a	3360a
PC	78,41a	16,22a	5,16a	190,47a	3330a

Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente, a 5% de probabilidade, pelo teste t de Student.

CONCLUSÕES

A distribuição do sistema radicular até a profundidade de 40cm foi mais uniforme no sistema de plantio na palha que no plantio convencional. O sistema de plantio na palha apresentou maior peso seco de raiz que o plantio convencional, na camada de 5-10cm de profundidade. Não houve diferença significativa de produtividade do feijoeiro entre os manejos de solo avaliados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARF, O., RODRIGUES, R. A. F., SÁ, M. E., BUZETTI, S., NASCIMENTO, V. Manejo do solo, água e nitrogênio no cultivo de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.2, 2004. p. 131-138.

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B. & GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J., eds. Methods for assessing soil quality. Madison, **Soil Science Society of America**, 1996. p.123-141 (SSSA Special publication, 49).

ASAE Standard ASAE S313.2, **Soil Cone Penetrometer**, Agricultural Engineers Yearbook of Standards, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, EUA, 591 p., 1991.

CAMPOS, R.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.& PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.19, p.121-126, 1995.

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

CARVALHO, G. J., CARVALHO, M. P., FREDDI, O. S., MARTINS M. V. Correlação da produtividade do feijão com a resistência à penetração do solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, 2006. p. 765–771.

CHAN, K.Y.; ROBERTS, W.P.; HEEMAN, O.F. Organic carbon and associated soil properties of a red earth after 10 years of rotation under different stubble and tillage practices. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.30, 1992. p. 71-83.

FREDDI, O. S., CARVALHO, M. P., JÚNIOR, V. V., CARVALHO, G.J. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, 2006. p. 113-121.

KLEIN, V.A., LIBARDI, P.L. Armazenagem de água no solo e resistência à penetração. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12. 1998. Fortaleza/Ceará. **Resumos expandidos**. Sociedade Brasileira Ciências do Solo. Universidade Federal do Ceará. 1998. p.163-164.

KNAVEL, D.E.; HERRON, J.W. Response of vegetable crops to nitrogen rates in tillage systems with and without vetch and ryegrass. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, Alexandria, v.111, n.4, 1986. p. 502-507.

LANÇAS, K. P., SANTOS FILHO, C.A. **Penetrômetro hidráulico-eletrônico equipado com DGPS para avaliação da compactação do solo**. La Plata, Editorial de la U.N.L.P. 1998. p. 570-576.

LOPES, A. S.; PAVANI, L.C.; CORÁ, J. E.; ZANINI, J.R.; MIRANDA, H.A. Manejo da irrigação (tensiometria e balanço hídrico climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistemas de cultivo direto e convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.1, 2004. p.89-100.

MEROTTO, A. & MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, 1999. p. 197-202.

MOREIRA, J.A.A., STONE, L.F., SILVA, S.C., SILVEIRA, P.M. **Irrigação do feijoeiro no sistema plantio direto**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, p. 31, 1999. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnico, 33).

MULLINS, C.A.; STRAW, R.A. Production of snap beans as affected by soil tillage method and row spacing. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, Alexandria, v.113, n.5, 1988. p. 667-669.

MULLINS, C.A.; TOMPKINS, F.D.; PARKS, W.L. Effects of tillage methods on soil nutrient distribution, plant nutrient absorption, stand, and yield of snap beans and lima beans. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, Alexandria, v.105, 1980. p. 591-593.

PASSIOURA, J.B. Soil structure and plant growth. *Austr. J. Soil Res.*, v.29, 1991. p. 717-728.

PEDROSO, P.A.C.; CORSINI, P.C. Manejo físico do solo. In: FERREIRA, M.E., YAMADA, T.; MALAVOLTA, E. **Cultura do arroz de sequeiro**: fatores afetando a produtividade. Piracicaba: Associação Brasileira para a pesquisa da potassa e do fosfato, 1983. p. 225-238.

RICHTER, D.D.; BARBAR, L.I.; HUSTON, M.A.; JAEGER, M. Effects of annual tillage on organic carbon in a fine-textured udalf: the importance of root dynamics to soil carbon storage. **Soil Science**, Baltimore, v.48, n.3, p.78-83, 1990.

SAAD, A.M.; LIBARDI, P.L. **Uso prático do tensiômetro para o irrigante**. São Paulo: IPT, 1992. 27 p. (IPT. Comunicação Técnica).

SAMPAIO, G.V.; GALVÃO, J.D.; FONTES, L.A.N.; FIGUEIREDO, M. S.; CARDOSO, A.A. Efeitos de sistemas de preparo do solo sobre o consórcio milho-feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ceres**, Viçosa, v.36, 1989. p. 465-482.

SILVA, A.P., LIBARDI, P.L., CAMARGO, O.A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, 1986. p. 91-95.

SILVEIRA NETO, A. N., SILVEIRA, P. M., STONE, L. F., OLIVEIRA, L. F. C. Efeito de manejo e rotação de culturas em atributos físicos do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.36, n.1, 2006. p. 29-35.

SILVEIRA, P. M., ZIMMERMANN, F. J. P., AMARAL A. M. Efeito da sucessão de cultura e do preparo do solo sobre o rendimento do arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.6, p. 885-890, 1998.

SILVEIRA, P.M.; STONE, L. F. **Manejo da irrigação do feijoeiro: uso do tensiômetro e avaliação do desempenho do pivô central**. Goiânia: EMBRAPA, p.46 1994. (Circular Técnico, 27).

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. Manejo da água de irrigação. In: SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. **Irrigação do Feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2001. p. 139-170.

SIQUEIRA, N. de S. **Efeitos de sistemas de preparo do solo sobre a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e sobre algumas propriedades físicas e químicas do solo**. Viçosa: UFV, 1989. 106p. Tese de Mestrado.

STONE, L. F. **Efeito de lâminas de irrigação e preparo do solo na resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. 24p.

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

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

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.3, 2001. p. 473-481.

TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, v.63, 1975. p. 995-1001.

WUTKE, E.B.; ARRUDA, F.B.; FANCELLI, A.L.; PEREIRA, J.C.V.N.A.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; AMBROSANO, G.M.B. Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.3, 2000. p. 621-33.

ZAFFARONI, E., BARROS, H.H.A., NÓBREGA, J.A.M., LACERDA, J.T., SOUZA Jr., V.E. Efeito de métodos de preparo do solo na produtividade e outras características agrônômicas de milho e feijão no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.1, 1991. p.99-104.

CAPÍTULO III

PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS, COMPACTAÇÃO DO SOLO, DESENVOLVIMENTO RADICULAR E PRODUTIVIDADE DA SOJA (*Glycine Max* L.) EM DIFERENTES MANEJOS DE SOLO

Redigido conforme as normas da revista: **PESQUISA AGROPECUÁRIA BRASILEIRA**

**PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS, COMPACTAÇÃO DO SOLO,
DESENVOLVIMENTO RADICULAR E PRODUTIVIDADE DA SOJA (*Glycine Max*
L.) EM DIFERENTES MANEJOS DE SOLO**

RESUMO: A cultura da soja faz parte da rotação de culturas praticadas pelos irrigantes do sudoeste paulista, os quais praticam o plantio na palha como forma de uso sustentável do solo. O efeito dessa prática conservacionista sobre as propriedades físico-hídricas do solo, sobre sua compactação, sobre o desenvolvimento radicular e sobre a produtividade da cultura da soja, comparativamente como o manejo convencional, foi o objetivo desse trabalho. O experimento foi conduzido na Fazenda Buriti-Mirim, situada na Rodovia Raposo Tavares Km 223,5, município de Angatuba, SP (23°30'13" S, 48°35'37" W; 640m), durante o segundo semestre de 2003, utilizando uma área de Argissolo Acinzentado irrigada por pivô central, dividida em dois tipos de manejo do solo plantio convencional e plantio na palha. Embora no plantio na palha tenha-se encontrado maior densidade do solo, menor quantidade de água disponível e menor índice de cone, os dois manejos não diferiram quanto ao desenvolvimento radicular. Sendo que, nos primeiro 10cm do solo concentraram-se 77% das raízes no plantio na palha e 70% no plantio convencional. Como os componentes avaliados de desenvolvimento radicular não diferiram, não houve diferença na produtividade. A prática de plantio na palha gerou benefícios indiretos, porém o tempo não foi suficiente para promover mudanças estruturais no solo e, conseqüentemente, alterações significativas nas propriedades físico-hídricas que resultem em maior desenvolvimento radicular e em maior produtividade.

PALAVRAS-CHAVE: plantio na palha, raiz, água disponível, índice de cone.

**PHYSICAL-HYDRIC PROPERTIES, SOIL COMPACTION, ROOT DEVELOPMENT
AND IRRIGATED SOYBEAN YIELD, UNDER DIFFERENT SOIL MANAGEMENTS.**

ABSTRACT: The soybean culture is part of crop rotation used by irrigators from the southwestern region of the state of São Paulo, who perform no-tillage soil management as a form of sustainable soil use. The effect of this conservationist practice on physical-hydric properties, soil compaction, root development and soybean culture production components in

relation to the conventional management was the objective of this work. The experiment was conducted at the Buriti-Mirim Farm, Angatuba, SP, Brazil, using an area irrigated through center pivot system divided into two types of soil managements: conventional and no-tillage. Although the no-tillage management had presented higher soil density, lower water available and lower soil cone index, both soil managements showed no difference in relation to root development. In 0-10cm soil layer, no-tillage and conventional management concentrated 77% and 70% of root length, respectively. There were no difference in the soybean yield for soil managements. The no-tillage management practice generated indirect benefits, however, time was not enough to promote structural changes in the soil and hence significant alterations in the physical-hydric properties that would lead to higher root development and culture productivity.

Keywords: root, soil cone index, water available, no-tillage management.

INTRODUÇÃO

O uso indiscriminado de práticas de manejo do solo tem desencadeado sérios problemas na agricultura brasileira e mundial. As práticas de manejo convencionais, em que se tem uma intensa mecanização e o revolvimento drástico do solo, acentuam os problemas de compactação (Silva et al., 1986; Campos et al., 1995), alteram as forças de retenção de água no solo e sua disponibilidade para as plantas (Silva et al., 2005) e restringem o aprofundamento do sistema radicular, que se concentra próximo a superfície (Gonçalves et al., 2006).

Se o cultivo intensivo é responsável pela deterioração do solo, sua redução e o acúmulo de resíduos orgânicos na superfície do solo, provavelmente, poderá reverter esta situação (Silveira Neto et al., 2006). Nesse sentido, uma alternativa para evitar os efeitos indesejáveis do preparo do solo repetitivo e inadequado é a técnica do plantio direto (Chan et al., 1992).

Os sistemas de plantio direto e preparo mínimo podem contribuir para uma melhor condição físico-hídrica do solo, pela não formação de crostas superficiais, aumento da estabilidade de agregados devido ao acúmulo de matéria orgânica, estabelecimento de porosidade contínua pela atividade biológica da fauna edáfica e de raízes e o equilíbrio entre os valores de macro e microporosidade, que por sua vez, aumentam volume de água disponível

(Salton & Mielniczuk, 1995). Vários trabalhos mostram que ocorre maior retenção de água pelo solo, principalmente em baixas tensões, no sistema de plantio direto ou em sistemas de preparo mínimo (Vieira, 1984; Castro et al., 1987; Salton & Mielniczuk, 1995; Urchei 1996; Klein e Libardi 1998; Stone & Silveira 1999, Stone & Moreira 2000; Stone & Moreira 2001). Entretanto Costa et al. (2003) lembram que o efeito do manejo sobre as propriedades físico-hídricas do solo depende, além da classe de solo, das condições climáticas, do sistema de cultivo utilizado e do tempo de uso dos diferentes sistemas de manejo. Não se pode esperar que o efeito do cultivo intensivo realizado durante anos seja alterado de imediato com a adoção de tal prática, uma vez que fatores como adequação à cultura, ao solo, às condições climáticas e aos fatores naturais devem ser levados em conta (Corsini & Ferraudo, 1999). Os autores afirmam que um Latossolo Roxo mantido por um longo período sob plantio direto de milho, somente apresentou benefícios da manutenção desse sistema conservacionista nos valores de macroporosidade e densidade do solo no quarto ano agrícola, sendo que esses benefícios aumentaram e atingiram um valor máximo no oitavo ano agrícola consecutivo, obtendo-se valores semelhantes aos encontrados imediatamente após as operações mecânicas realizadas para a instalação do experimento.

No primeiro ano de cultivo dos sistemas de plantio direto e convencional, Lopes et al. (2004) não encontraram diferenças importantes de armazenamento de água no solo. Do mesmo como que Silva et al. (2005) concluíram que o volume de água disponível não foi influenciado pelos sistemas de preparo. O autor lembra que nesse caso, o aumento da taxa de infiltração e a diminuição da evaporação da água decorrente da manutenção dos resíduos vegetais sobre o solo nos sistemas de cultivo mínimo e plantio direto, podem contribuir para uma maior disponibilidade hídrica na fase inicial do estabelecimento das culturas nesses sistemas conservacionistas de manejo em comparação ao preparo convencional.

Segundo Costa et al. (2006), trabalhando em um Latossolo Vermelho submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto, em duas áreas, com oito e dez anos de cultivo, verificaram que, em ambos os sistemas, a densidade do solo, a capacidade de água disponível e a resistência do solo a penetração, foram similares.

O manejo do solo sob plantio direto embora, de maneira geral, aumente o volume de água armazenada e disponível as plantas, aumenta também a densidade do solo, bem como a

resistência à penetração das raízes (Klein e Libardi, 1998). A densidade do solo sob plantio direto pode diminuir com o passar dos anos devido ao aumento da matéria orgânica na camada superficial, melhorando, inclusive, a estrutura do solo (Reeves, 1995; Stone & Silveira 1999; Stone & Moreira 2000; 2001). O aumento da densidade do solo em plantio direto contínuo pode ser evitado, sem a interrupção do sistema, com a prática da rotação de culturas e do uso de culturas de cobertura (Silveira Neto et al., 2006).

A quantidade de água disponível para a cultura encontra-se na dependência da profundidade explorada pelo sistema radicular (Manfron et al., 2003) e em condições normais de cultivo, a soja apresenta aproximadamente 70 a 80% do seu sistema radicular distribuído nos primeiros 15 cm do solo, (Gregory, 1992), ocorrendo o desenvolvimento das suas raízes através dos macroporos ou dos espaços vazios entre os agregados (Abreu et al., 2004). Entretanto, o rearranjo da estrutura do solo, decorrente da compactação, dificulta a penetração das raízes, a permeabilidade de ar e de água, ocasionando a concentração de raízes próxima à superfície (Lal, 1989; Lanças et al., 1990; Gonçalves et al., 2006).

De maneira geral, o alongamento radicular só é possível quando a pressão de crescimento das raízes for maior que a resistência mecânica do solo à penetração (Passioura, 1991). Entretanto, Russel & Goss (1974) relatam que o aumento da resistência mecânica do solo à penetração pode estimular a proliferação de raízes laterais, as quais são mais finas e capazes de crescer em poros do solo de diâmetro reduzido.

De acordo com Freddi et al. (2006), a resistência mecânica do solo à penetração exerce grande influência sobre o desenvolvimento vegetal, uma vez que o crescimento das raízes e a produtividade das culturas variam de forma inversamente proporcional ao seu valor. Geralmente, quanto maior a densidade do solo e quanto mais seco o solo, maior a resistência à penetração. Assim, segundo Rosolem (1995), um solo seco pode ter o mesmo efeito sobre as raízes que um solo compactado. No caso do solo seco o problema ainda é até mais grave, pois se um solo com alta densidade tiver canais ou trincas, poderá haver crescimento radicular, o que não ocorre em solo seco.

Com o objetivo de encontrar uma resposta de qual seria a impedância mecânica máxima que não traria prejuízos à produção agrícola, Tormena et al. (1998) e Silva et al. (2002) concluíram que 2000kPa de resistência à penetração do solo tem sido associado a

condições impeditivas para o crescimento das raízes e da parte aérea das culturas de uma maneira geral.

Secco (2003), estudando o efeito de diferentes estados de compactação em um Latossolo Vermelho distrófico e num Latossolo Vermelho distroférico, ambos manejados sob sistema plantio direto, verificou que o estado de compactação mais intenso, com valores de resistência à penetração de 2650 e 3260kPa, não propiciaram decréscimos na produtividade da soja, em ambos os Latossolos. Em outro estudo, Secco et al. (2004) estudando num Latossolo Vermelho distroférico o efeito de diferentes manejos na compactação do solo, concluíram que quando os valores de resistência à penetração foram de até 2600kPa, não houve comprometimento do rendimento de grãos de soja. Já Silva et al. (2005) trabalhando por 17 anos em um Argissolo Vermelho em Eldorado do Sul, RS, com sistema de preparo convencional, preparo reduzido e semeadura direta, concluíram que o solo em sistema de plantio direto apresentou maiores valores de resistência ao penetrômetro em profundidade, em relação ao solo em preparo convencional. O impedimento físico em subsuperfície de até 1980kPa não diminuiu a produção total de raízes da soja, apesar de ter alterado a distribuição do sistema radicular ao longo do perfil (Foloni et al., 2006).

Dentre as principais culturas, a soja é a espécie mais adaptada ao sistema plantio direto, independente das possíveis restrições devido compactação ou a concentração superficial de nutrientes no solo, sob este sistema (Kluthcouski et al., 2000). Quando cultivada sob sistema plantio direto, pode apresentar crescimento inicial reduzido, com plantas menos vigorosas, quando comparado ao preparo convencional, no entanto, há um crescimento compensador atingindo produtividade de grãos equiparada em ambos os sistemas (Yusuf et al, 1999).

Carvalho Filho (2004), estudando os efeitos de diferentes sistemas de preparo periódico de solo num Latossolo Vermelho distrófico, cultivado com soja, concluiu que a produtividade de grãos não sofreu influência dos sistemas de preparo do solo. Do mesmo modo, Cardoso et al. (2006), avaliando o efeito da compactação do solo sobre o desenvolvimento radicular da soja e sobre sua produtividade, num Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto, concluíram que a presença de camadas mais compactas no perfil do solo provocou o desenvolvimento radicular em zonas de menor resistência, em poros biológicos e nas fissuras

do solo; e a produção de grãos não apresentou diferença entre os tratamentos, graças à adequada disponibilidade hídrica durante o período avaliado.

No sudoeste do Estado de São Paulo, na bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema, há uma significativa área de culturas anuais, basicamente cereais, irrigados por pivô central, na qual o plantio na palha é adotado como forma de uso sustentável do solo e a água. As vantagens desse sistema de manejo conservacionista comparativamente ao plantio convencional são muitas. Dentre as principais, os irrigantes desta região destacam: maior agilidade de plantio, pois a dessecação pode ser realizada após o plantio; menor custo de implantação da cultura; maior facilidade de manejo de plantas daninhas; produção e manutenção da palhada, evitando assim, escoamento superficial de água, conseqüentemente, erosão; a palhada diminui a compactação, amortecendo o impacto dos implementos. Entretanto, as mudanças estruturais no solo e, conseqüentemente, as alterações promovidas por este manejo nas propriedades físico-hídricas do solo, na sua compactação e no desenvolvimento radicular das culturas ainda não foram quantificadas.

Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi avaliar como dois diferentes sistemas de manejo, utilizados pelos agricultores irrigantes do sudoeste paulista, interferem na quantidade de água disponível, na compactação do solo, no desenvolvimento radicular e na produtividade da cultura da soja, irrigada via pivô central.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado e conduzido numa área de Argissolo Acinzentado de 37ha irrigada via pivô central na Fazenda Buriti-Mirim, município de Angatuba, SP (23°30'13" S, 48°35'37" W; 640m), durante o segundo semestre de 2003. A cultura utilizada foi a soja (*Glycine Max* L.), variedade monsoy 5942, cuja semeadura ocorreu em 25 de setembro e a colheita dia 15 de janeiro de 2004, totalizando 113 dias de ciclo da cultura.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com dois tratamentos: plantio na palha e plantio convencional, com 13 parcelas cada. As médias dos resultados obtidos foram comparadas pelo teste t de Student a 5% de probabilidade.

O plantio convencional foi realizado mediante o uso de arado e grade, enquanto o plantio na palha se caracterizou pela semeadura realizada sob os restos da cultura anterior, sem

revolvimento do solo. Utilizou-se a denominação “plantio na palha”, porque a parcela sem revolvimento não caracteriza um sistema de plantio direto contínuo, uma vez que, periodicamente são realizadas operações de preparo do solo para eliminação da soqueira do algodão e subsolagem para eliminação das camadas compactadas e redistribuição dos nutrientes no perfil do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Rotação de culturas segundo a programação de plantio.

2001		2002		2003	
1º semestre	2º semestre	1º semestre	2º semestre	1º semestre	2º semestre
Trigo	Algodão	Aveia	Feijão	Crotalária/ Trigo	Soja

Antes da instalação do experimento foram coletadas amostras indeformadas de solo com o auxílio de anéis volumétricos, nas profundidades de 0-5cm, 5-10cm, 10-20cm e 20-40cm, nas duas condições de manejo do solo, para obtenção de sua curva característica de retenção de água e a realização da análise física do solo. As amostras foram encaminhadas para os Laboratórios de Física dos Solos do Departamento de Recursos Naturais, da Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu.

O fornecimento de água para a cultura foi realizado por um sistema de irrigação pivô-central. Para o monitoramento da irrigação foram instaladas três baterias de tensiômetros em cada tratamento de manejo do solo: convencional e plantio na palha (Silveira e Stone, 2001). Cada bateria foi composta por dois tensiômetros instalados nas profundidades de 15 e 30cm, sendo que o primeiro definia o momento de irrigar e o segundo era utilizado para controle da lâmina aplicada. As irrigações foram realizadas sempre que a média entre as leituras dos tensiômetros a 15cm de profundidade atingisse 40kPa (Saad & Libardi, 1992).

Visando caracterizar a retenção de água do solo, com valores correspondentes em potencial de água no solo, efetuou-se a determinação da curva característica de retenção de água. Utilizou-se o programa computacional Soil Water Retention Curve – SWRC (Dourado Neto et al., 1990) para ajustar matematicamente os dados ao modelo não linear proposto por Van Genuchten (1980), representado pela equação:

$$\theta = \theta_{\gamma} + \frac{\theta_s - \theta_{\gamma}}{\left[1 + (\alpha \times |\psi|)^n\right]^m} \quad (1)$$

em que:

θ = teor volumétrico de água no solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

θ_{γ} = teor de água residual ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

θ_s = teor de água para solo saturado ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

α , m, n = parâmetros de ajuste do modelo;

ψ = potencial matricial da água no solo (kPa).

As curvas características de retenção de água no solo foram determinadas nas profundidades de 0-5cm, 5-10cm, 10-20cm e 20-40cm, nas duas condições de manejo do solo.

Para a determinação do índice de cone (resistência mecânica do solo à penetração), foi utilizado um penetrômetro hidráulico-eletrônico, de acordo com Lanças e Santos Filho (1998). O penetrômetro hidráulico-eletrônico, montado sobre uma carreta para transporte rodoviário e aplicação em tratores com sistema hidráulico, apresenta um cone com área da base de 320 mm^2 , ângulo sólido de 30° e velocidade constante de penetração no solo de 30 mm s^{-1} conforme ASAE S313.2 (1991). O sistema eletrônico possui um sistema de aquisição de dados (Microllogger 23X, Campbell), sensor de força (célula de carga de 10000 N) e sensor de profundidade (potenciômetro rotativo). As profundidades para determinação do índice de cone foram de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40cm, na condição de plantio convencional e na palha.

O desenvolvimento radicular foi avaliado quando 50% das plantas encontravam-se em pleno florescimento, e sua amostragem foi realizada utilizando-se um trado de aço galvanizado com diâmetro de 4,5cm. A coleta de solo para a análise de raízes ocorreu nos dias 24 e 25 de novembro, em quatro camadas (0-5; 5-10; 10-20 e 20-40). As amostras foram retiradas na linha de plantio, entre uma planta e outra, com quatro repetições por parcela, totalizando 52 amostras de cada camada por tratamento. Posteriormente, as raízes foram separadas do solo por lavagem em água corrente, com auxílio de uma peneira de 0,5mm. As amostras de raízes depois de lavadas e separadas, foram acondicionadas em coletores universais com uma solução de álcool 70% e levadas à geladeira a uma temperatura de 4°C .

As variáveis que caracterizam o desenvolvimento radicular foram determinadas em um Scanner acoplado a um computador dotado do Software WinRhizo, que utiliza como princípio o método proposto por Tennant (1975). Nesse equipamento determinou-se o comprimento (Km m^{-3}), a superfície ($\text{m}^2 \text{m}^{-3}$) e o diâmetro radicular (cm). Após essas avaliações as amostras foram secas em estufa a 65°C , até atingirem peso constante, para a determinação da produção de matéria seca radicular (g m^{-3}).

Por ocasião da colheita da cultura da soja, foram coletadas 10 plantas seqüenciais em local pré-determinado na área útil de cada parcela, totalizando 130 amostras por tratamento. Essas plantas foram levadas para laboratório para determinação de: número de grãos por planta, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de 1000 grãos (g) por parcela.

RESSULTADOS E DISCUSSÃO

As precipitações e irrigações que ocorreram durante o ciclo da soja, totalizaram, respectivamente, 624,5mm e 66,1mm (Figura 1). Após o dia 10/11/03 a irrigação foi suspensa devido aos altos índices pluviométricos que atenderam plenamente as necessidades hídricas da soja. A irrigação na fase inicial de implantação da cultura evitou que as plantas sofressem estresse hídrico.

No curto período de manejo da irrigação observa-se que em três dias (08/10, 19/10 e 25/10/03) após a realização da irrigação, num curto período, de no máximo dois dias, ocorreu precipitação que excedeu a lâmina aplicada. Um pequeno adiantamento da irrigação prevista ou mesmo sua suspensão representaria economia de água e de energia, bem como evitaria condições propícias ao desenvolvimento de doenças que se propagam em ambiente úmido. Fica evidente a importância de serviços de monitoramento climático que forneçam informações sobre a probabilidade de ocorrência de chuvas.

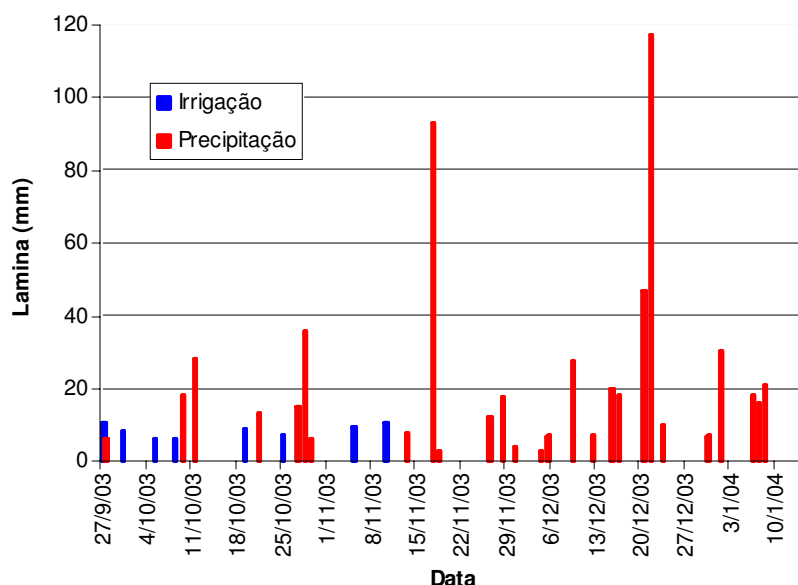


Figura 1. Ocorrência de precipitação e irrigação durante o ciclo da cultura da soja.

Como não houve restrição hídrica durante o ciclo da cultura, a água não foi fator limitante para o desenvolvimento das plantas. Os valores de água disponível foram elevados, tanto no plantio na palha como no plantio convencional (Tabela 2), e não restringiram o crescimento e o desenvolvimento do sistema radicular, conseqüentemente, não comprometeram o desenvolvimento da parte aérea.

O solo do plantio convencional apresentou maior quantidade de água disponível em suas camadas mais superficiais, de 0 a 5 e de 5 a 10cm, discordando de Vieira, 1984; Castro et al., 1987; Salton & Mielniczuk, 1995; Urchei, 1996; Klein & Libardi, 1998; Stone & Silveira, 1999, Stone & Moreira, 2000; Stone & Moreira, 2001. Como a magnitude do efeito do sistema de manejo sobre as propriedades físico-hídricas do solo depende, entre outros fatores, do tempo de adoção do manejo (Costa et al., 2003), este pode não ter sido suficiente para promover no plantio na palha mudanças estruturais no solo, e conseqüentemente, aumentar a água armazenada e disponível às plantas. Uma vez que os ciclos de manejo conservacionista são curtos e o plantio na palha não foi contínuo. Devido a operações de preparo do solo que ocorreram periodicamente para eliminação da soqueira do algodão e subsolagem para eliminação das camadas compactadas. Não se pode esperar que o efeito do cultivo intensivo realizado durante anos seja resolvido de imediato com a adoção de tal prática (Corsini &

Ferraudo, 1999). Lopes et al., (2004), no primeiro ano de cultivo nos sistemas de plantio direto e convencional, não encontraram diferenças importantes de armazenamento de água no solo.

Por depender de outros fatores além do tempo de uso do sistema, alguns autores mesmo trabalhando por longo período com plantio direto contínuo, não encontraram diferenças significativas no armazenamento de água entre os manejos. Silva et al. (2005) trabalhando por 17 anos com sistema de preparo convencional, cultivo mínimo e plantio direto, e Costa et al. (2006), trabalhando com preparo convencional e o plantio direto, em duas áreas, com oito e dez anos de cultivo, verificaram que os manejos apresentaram similar capacidade de água disponível. Desta maneira fica claro que os sistemas de manejo adaptam-se diferentemente a cada região e a sua condição edafoclimática particular.

Tabela 2. Umidades correspondentes à capacidade de campo (CC) em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, ponto de murcha permanente (PMP) em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, água disponível (AD) em mm cm^{-1} , densidade (Ds) em g cm^{-3} e textura em diferentes camadas de solo para os manejos, plantio convencional (PC) e plantio na palha (PP).

Manejo de solo	Camada (cm)	CC ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	PMP ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	AD (mm cm^{-1})	Ds (g cm^{-3})	Textura
PC	0-5	0,2136	0,0897	1,24	1,56	Média
	5-10	0,2029	0,1000	1,03	1,62	Arenosa
	10-20	0,2510	0,1600	0,91	1,65	Média
	20-40	0,2162	0,1114	1,05	1,54	Arenosa
PP	0-5	0,1807	0,0824	0,98	1,65	Arenosa
	5-10	0,1891	0,0934	0,96	1,67	média
	10-20	0,1849	0,0839	1,01	1,69	arenosa
	20-40	0,1948	0,1068	0,88	1,55	arenosa

O plantio na palha, no qual a semeadura foi realizada sobre os restos da cultura anterior, apresentou, para todas as camadas avaliadas, maiores valores de densidade, corroborando com Reeves, (1995); Klein & Libardi, (1998) e Stone & Silveira, (1999). O aumento na densidade está relacionado ao não revolvimento do solo e a movimentação de máquinas e implementos agrícolas, que possivelmente fizeram com que o solo apresentasse menor macroporosidade, aumentando assim sua densidade (Klein & Libardi, (1998); Stone & Silveira, 1999; Stone & Silveira (2001); Silveira Neto et al., 2006). A densidade é um dos indicadores do nível de compactação (Mantovani, 1987; Borges et al., 1988; Reichardt, 1990; Díaz-Zorita, 2000; Krzic et al., 2000; Queiroz-Voltan et al., 2000) e o tráfego de máquinas

pesadas no sistema de plantio direto tem provocado compactação superficial do solo (Silva et al., 2000). Contudo, generalizações não devem ser feitas, uma vez que a compactação não tem ocorrência contínua numa determinada camada (Reichardt, 1990).

Caso se adote o plantio na palha de forma contínua, possivelmente haveria diminuição em sua densidade e aumento no volume de água armazenada, devido à melhoria de sua estrutura causada pelo aumento do conteúdo de matéria orgânica na camada superficial do solo (Reeves, 1995; Stone & Silveira 1999; Stone & Moreira, 2000; Stone & Moreira, 2001; Stone & Silveira 2001). A ausência de preparo e a adição de matéria orgânica fazem com que os agregados se mantenham mais estáveis (Corrêa, 2002), diminuindo a suscetibilidade do solo à compactação, a qual também pode ser referenciado pelo índice de cone.

Utilizando-se o índice de cone para determinar a compactação, os valores encontrados foram contraditórios aos obtidos pela densidade. Sendo o índice de cone um dos atributos físicos do solo que influencia o crescimento de raízes e serve como base à avaliação dos efeitos dos sistemas de manejo do solo sobre o desenvolvimento radicular (Tormena & Roloff, 1996), este caracteriza melhor a resistência do solo à penetração das raízes quando comparado com a densidade.

Os maiores valores de índices de cone foram encontrados no plantio convencional (Tabela 3), discordando de Silva et al. (2005) que afirmaram que o solo no plantio direto apresenta maiores valores de resistência mecânica em profundidade. No plantio convencional, devido ao revolvimento contínuo e intenso do solo durante as operações de preparo, as camadas de 5 a 10 e 10 a 20cm apresentaram os maiores valores de índices de cone, 2846kPa e 3073kPa, respectivamente. Esses valores estão relacionados ao efeito das ferramentas utilizadas para o preparo do solo, que descarregam todo seu peso abaixo da profundidade de preparo do solo, formando uma camada impermeável chamada “pé de grade ou pé de arado” (Freitas, 1992; Fornasieri Filho & Fornasieri, 1993). Como os valores foram próximos, fica evidente a alteração na profundidade do “pé de grade ou pé de arado”, que pode ter sido causado por problemas na regulação da profundidade efetiva de trabalho dos implementos agrícolas.

Tabela 3. Valores de índice de cone (kPa) para as condições de plantio na palha (PP) e plantio convencional (PC) nas diferentes camadas de solo avaliadas.

Manejo do solo	0-5cm	5-10cm	10-20cm	20-40cm
PP	756	1522	1675	1697
PC	986	2846	3073	1966

Mesmo este tipo de manejo apresentando índice de cone superiores a 2000kPa, associados a condições impeditivas para o crescimento das raízes das culturas de uma maneira geral (Tormena et al., 1998; Silva et al., 2002), estes não restringiram o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular da soja. Pois, entre as principais culturas, a soja é a espécie mais adaptada as possíveis restrições devido à compactação (Kluthcouski et al., 2000), sendo que valores de 2650 e 3260kPa de resistência à penetração não causaram decréscimos em sua produtividade (Secco, 2003), possivelmente porque não foram limitantes ao crescimento das raízes.

Já no plantio na palha, devido à ausência de revolvimento do solo, evitou-se a formação de “pé de grade ou pé de arado” e o de índice de cone manteve-se inferior, portanto, ainda menos restritivos ao crescimento radicular. Os valores foram muito próximos entre as camadas 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 40cm e apresentaram tendência de aumento até a profundidade de 40cm, com o valor máximo de 1697kPa, na camada mais profunda.

Como o conteúdo de água no solo afeta a relação entre a resistência do solo à penetração e o alongamento radicular, uma vez que, um solo seco pode ter o mesmo efeito sobre as raízes que um solo compactado (Rosolem, 1999). A não restrição hídrica favoreceu o crescimento das raízes nas camadas mais compactadas, fazendo com que os dois sistemas de manejos praticamente apresentaram a mesma distribuição do comprimento radicular em profundidade (Tabela 4).

Tabela 4. Distribuição do comprimento radicular da soja no perfil do solo, nas condições de plantio na palha e convencional, para as camadas avaliadas.

Camada (cm)	Plantio na palha	Plantio convencional
0-5	39%	33%
5-10	38%	37%
10-20	18%	20%
20-40	5%	10%

Embora a presença de camadas mais adensadas de solo não tenha impedido o desenvolvimento das raízes em profundidade, houve uma tendência do sistema radicular se concentrar superficialmente. No plantio na palha 77% das raízes distribuíram-se nos primeiros 10cm do solo, e no plantio convencional, na mesma profundidade foram encontrados 70% das raízes. Corroborando com os dados de Gregory (1992), que encontrou, em condições normais de cultivo, aproximadamente 70 a 80% da massa das raízes de soja distribuindo-se nos primeiros 15cm do solo. Possivelmente, o sistema radicular mais superficial está relacionado à irrigação e a precipitação, que mantiveram estas camadas com elevado conteúdo hídrico, fazendo com que as raízes não precisassem explorar camadas mais profundas de solo. É difícil generalizar conclusões sobre a influência da compactação do solo no crescimento radicular, pois além da umidade, o crescimento do sistema radicular também é influenciado pela temperatura, pela aeração, pela disponibilidade de nutrientes, por fatores biológicos, entre outros (Rosolem, 1996; Camargo & Alleoni, 1997; Fageria & Stone, 1999).

Portanto, devido a tantas variáveis envolvidas no processo, somente a camada de 0 a 5cm apresentou diferença significativa no peso seco de raízes (Tabela 5), de 1836,02g m⁻³ no plantio na palha e 767,10g m⁻³ no plantio convencional. Para as outras variáveis de desenvolvimento radicular, não houve diferença significativa a 5% de probabilidade entre os tratamentos.

Tabela 5: Comprimento (km m⁻³), superfície (m² m⁻³), peso seco (g m⁻³) e diâmetro (cm) radicular da soja no plantio na palha (PP) e plantio convencional (PC) nas diferentes camadas avaliadas.

Camada (cm)	Comprimento (Km m ⁻³)		Superfície (m ² m ⁻³)		Peso Seco (g m ⁻³)		Diâmetro (cm)	
	PP	PC	PP	PC	PP	PC	PP	PC
0-5	14,18a	10,98a	24,50a	15,09a	1836,02a	767,10b	0,055a	0,044a
5-10	13,95a	12,35a	23,53a	20,56a	1659,96a	1144,37a	0,055a	0,050a
10-20	6,58a	6,48a	11,37a	10,26a	729,38a	509,31a	0,053a	0,049a
20-40	1,72a	3,21a	3,23a	5,22a	157,19a	201,20a	0,056a	0,048a

Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente, a 5% de probabilidade, pelo teste t de Student.

Como os componentes avaliados de desenvolvimento radicular praticamente não diferiram, não houve diferença significativa entre a produtividade e os demais componentes da produção da soja para o plantio na palha e o plantio convencional (Tabela 6).

Tabela 6. Número de grãos por planta, número de grãos por vagem, massa de 1000 grãos e produtividade da soja em razão de diferentes manejos de solo, plantio convencional e plantio na palha.

Manejo de solo	Número de grãos por planta	Número de vagens por planta	Número de grãos por vagem	Massa de 1000 grãos (g)	Produtividade (Kg ha ⁻¹)
Plantio na palha	94,38a	39,18a	2,40a	180,73a	5973a
Plantio convencional	92,15a	39,39a	2,33a	190,02a	5736a

Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente, a 5% de probabilidade, pelo teste t de Student.

A presença de camadas compactas no perfil do solo não afetou a produtividade da soja, uma vez que, não houve restrição hídrica, corroborando com Cardoso et al. (2006).

Alguns trabalhos comparando vários sistemas de manejo mostram que a produtividade da soja não foi influenciada pelos sistemas de preparo do solo (Secco et al., 1996; Carvalho Filho, 2004; Camara et al., 2005). Por depender de vários fatores, principalmente a umidade do solo no período de crescimento das raízes, o efeito da compactação na produção das culturas é difícil de ser quantificado (Freitas, 1994).

De acordo com Yusuf et al (1999), mesmo que a soja apresente plantas menos vigorosas no plantio direto devido a um crescimento inicial reduzido, quando comparado ao preparo convencional, há um crescimento compensador e a produtividade se equipara em ambos os manejos.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que:

- O tratamento plantio na palha apresentou maior densidade do solo e menor retenção de água nas camadas de 0 a 5 e de 5 a 10cm de profundidade ;
- O índice de cone não restringiu o crescimento radicular da soja;

- c) Até a profundidade de 40cm, os dois manejos do solo apresentaram praticamente a mesma distribuição do comprimento radicular;
- d) Nos primeiro 10cm do solo concentraram-se 77% das raízes no plantio na palha e 70% no plantio convencional;
- e) Não houve diferença de produtividade da soja sob os manejos plantio na palha e convencional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, S.L.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Escarificação mecânica e biológica para redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, 2004. p. 519-531.

ASAE Standard ASAE S313.2, *Soil Cone Penetrometer*, Agricultural Engineers Yearbook of Standards, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, EUA, 1991. 591 p.

CARDOSO, E.G.; ZOTARELLI, L.; PICCININ, J.L.; TORRES, E.; SARAIVA, O.F.; GUIMARÃES, M.F. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.3, 2006. p. 493-501.

CARVALHO FILHO, A. **Alterações em Latossolo Vermelho e na Cultura da Soja em Função de Sistemas de Preparo**. 2004. 77f. Tese (Doutorado) Faculdade de Ciências Agrônômicas e Veterinária, UNESP, Jaboticabal, 2004.

CASTRO, O. M.; VIEIRA, S. R.; MARIA, I.C. Sistema de preparo do solo e disponibilidade de água. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, 1987, Campinas. **Anais**. Campinas: Fundação Cargil, 1987. p. 27-51.

CHAN, K.Y.; ROBERTS, W.P.; HEEMAN, O.F. Organic carbon and associated soil properties of a red earth after 10 years of rotation under different stubble and tillage practices. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.30, 1992. p. 71-83.

CORSINI, P.C; FERRAUDO A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em latossolo roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.2, 1999. p. 289-298.

COSTA, E.A.; GOEDERT, W. J.; SOUSA, D.M.G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.7, 2006. p. 1185-1191.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.27, 2003. p. 527-535.

DOURADO NETO, D., LIER, Q.J.V.; BOTREL, T.A., LIBARDI, P.L. Programa para confecção da curva característica de retenção de água no solo utilizando o modelo de Genuchten. **Engenharia Rural**, v.1, n.2, 1990. p. 94-101.

FOLONI, J.S.S.; LIMA, S.L.; BULL, L.T. Crescimento Aéreo e Radicular da Soja e de Plantas de Cobertura em Camadas Compactadas de Solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, 2006. p. 49-57.

FREDDI, O. S., CARVALHO, M. P., JÚNIOR, V. V., CARVALHO, G.J. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, 2006. p. 113-121.

GONÇALVES, W.G.; GIMENEZ, R.L.; ARAÚJO FULHO, J.V.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; PIREZ, F.R. Sistema radicular de plantas de cobertura sob compactação do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1. 2006. p. 67-75.

GREGORY, P.J. Crecimiento y funcionamiento de las raíces. In: WILD, A. (Coord.). **Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russel**. Madrid: Mundi-Prensa, 1992. p.121-175.

KLEIN, V.A., LIBARDI, P.L. Armazenagem de água no solo e resistência à penetração. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12. 1998. Fortaleza/Ceará. **Resumos expandidos**. Sociedade Brasileira Ciências do Solo. Universidade Federal do Ceará. 1998. p.163-164.

KLUTHCOUSKI, J. et al. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.1, 2000. p. 97-104.

LAL, R. Conservation tillage for sustainable agriculture: tropics versus temperate environments. **Advances in Agronomy**, v.42, 1989. p. 85-97.

LANÇAS, K. P., SANTOS FILHO, C.A. **Penetrômetro hidráulico-eletrônico equipado com DGPS para avaliação da compactação do solo**. La Plata, Editorial de la U.N.L.P. 1998. p. 570-576.

LANÇAS, K.P., BENEZ, S.H., FURLANI Jr, J.A., GAMERO, C.A., ANTUNIASSI, U.R. Subsolador: desgaste em função da sua dureza superficial. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 19., Piracicaba, SP. 1990. **Anais...** Piracicaba, SP. 1990. p. 801-809.

LOPES, A. S.; PAVANI, L.C.; CORÁ, J. E.; ZANINI,J.R.; MIRANDA, H.A. Manejo da irrigação (tensiometria e balanço hídrico climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistemas

de cultivo direto e convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.1, 2004. p.89-100.

MANFRON, P.A.; BACCHI, O.O.S.; DOURADO NETO, D.; PEREIRA, A.R.; MEDEIROS, S.L.P.; PILAU, F.G. Modelo da profundidade efetiva do sistema radicular na cultura de milho em função de graus-dia acumulados. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 2, 2003. p. 327-332.

PASSIOURA, J.B. Soil structure and plant growth. *Austr. J. Soil Res.*, v.29, 1991. p. 717-728.
REEVES, D.W. Soil management under no-tillage: soil physical aspects. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1., 1995, Passo Fundo. **Resumos**. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1995. p. 127-130.

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

RUSSEL, R.S. & GOSS, M.J. Physical aspects of soil fertility: the response of roots the mechanical impedance. *Nether. J.Agric. Sci.*, v.22, 1974. p. 305-318.

SAAD, A.M.; LIBARDI, P.L. **Uso prático do tensiômetro para o irrigante**. São Paulo: IPT, 1992. 27 p. (IPT. Comunicação Técnica).

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho Escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, 1995. p. 313-319.

SECCO, D. **Estados de compactação de dois Latossolos sob plantio direto e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas**. 2003. 108f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria, 2003.

SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; ROS, C.O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, 2004. p. 797-804.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. Intervalo hídrico ótimo. In: MORAES, M. H.; MÜLLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. **Qualidade física do solo**: métodos de estudo-sistemas de preparo e manejo do solo. Jaboticabal: Funep, 2002. p. 1-18.

SILVA, A.P., LIBARDI, P.L., CAMARGO, O.A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, 1986. p. 91-95.

SILVA, M.A.S.; MAFRA, A.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER C., MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, 2005. p.544-552.

SILVA, M.A.S.; MAFRA, A.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER C., MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, 2005. p. 544-552.

SILVA, M.A.S.; MAFRA, A.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER C., MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, 2005. p. 544-552.

SILVEIRA NETO, A. N., SILVEIRA, P. M., STONE, L. F., OLIVEIRA, L. F. C. Efeito de manejo e rotação de culturas em atributos físicos do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.36, n.1, 2006. p. 29-35.

SILVEIRA NETO, A. N., SILVEIRA, P. M., STONE, L. F., OLIVEIRA, L. F. C. Efeito de manejo e rotação de culturas em atributos físicos do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.36, n.1, 2006. p. 29-35.

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

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

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.3, 2001. p. 473-481.

TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, v.63, 1975. p. 995-1001.

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, 1998. p. 573-581.

URCHEI, M.A. **Efeitos do plantio direto e do preparo convencional sobre alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso e no crescimento e produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob irrigação**. 1996. 150f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Botucatu, 1996.

VIEIRA, M.J. O preparo do solo e o comportamento da planta. **Plantio Direto**, Ponta Grossa, v.1, n.5, 1984. p. 4-5.

YUSUF, R.I.; SIEMENS, J.C.; BULLOCK, D.G. Growth analysis of soybean under no-tillage and conventional tillage systems. **Agronomy Journal**, Madison, v.91, n.6, 1999. p. 928-933.

CAPÍTULO IV

COMPACTAÇÃO DO SOLO, DESENVOLVIMENTO RADICULAR E PRODUTIVIDADE DO MILHO (*Zea mays* L.) IRRIGADO SOB DIFERENTES MANEJOS DO SOLO

Redigido conforme as normas da revista: **REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA
AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

**COMPACTAÇÃO DO SOLO, DESENVOLVIMENTO RADICULAR E
PRODUTIVIDADE DO MILHO (*Zea mays* L.) IRRIGADO SOB DIFERENTES
MANEJOS DO SOLO**

RESUMO: A cultura do milho faz parte da rotação de culturas praticadas pelos irrigantes do sudoeste paulista, os quais utilizam o plantio na palha como forma de uso sustentável do solo. O efeito dessa prática conservacionista sobre as propriedades físico-hídricas do solo, sobre sua compactação, sobre o desenvolvimento radicular e sobre a produtividade da cultura do milho, comparativamente como o manejo convencional, foi o objetivo desse trabalho. O experimento foi conduzido na Fazenda Buriti-Mirim, situada na Rodovia Raposo Tavares Km 223,5, município de Angatuba, SP (23°30'13" S, 48°35'37" W; 640m), durante o segundo semestre de 2003, utilizando uma área de Argissolo Acinzentado irrigada por pivô central, dividida em dois tipos de manejo do solo: plantio convencional e plantio na palha. Embora no plantio na palha tenha-se encontrado maior densidade do solo e menor quantidade de água disponível, os dois manejos apresentaram valores de índice de cone muito semelhantes e não diferiram quanto ao desenvolvimento radicular e a produtividade do milho. Nos dois sistemas de manejo, 90% das raízes se concentraram nos primeiros 20cm de profundidade. A prática de plantio na palha gerou benefícios indiretos, porém o tempo não foi suficiente para promover mudanças estruturais no solo e, conseqüentemente, alterações significativas nas propriedades físico-hídricas que resultem em maior desenvolvimento radicular e em maior produtividade.

PALAVRAS-CHAVE: plantio na palha, raiz, água disponível, índice de cone.

**SOIL COMPACTION, ROOT DEVELOPMENT AND IRRIGATED CORN YIELD,
UNDER DIFFERENT SOIL MANAGEMENTS.**

ABSTRACT: The corn culture is part of crop rotation used by irrigators from the southwestern region of the state of São Paulo, Brazil, who perform no-tillage soil management as a form of sustainable soil use. The effect of this conservationist practice on soil compaction, root development and corn culture production components in relation to the conventional

management was the objective of this work. The experiment was conducted at the Buriti-Mirim Farm, Angatuba, SP, Brazil, using an area irrigated through center pivot system divided into two types of soil managements: conventional and no-tillage. Although the no-tillage management had presented higher soil density and lower water available, both managements showed soil cone index similar and no difference in relation to crop productivity. Root length concentrated 90% of its value in the 0-20cm soil layer, for both soil managements. The no-tillage management practice generated indirect benefits, however, time was not enough to promote structural changes in the soil and hence significant alterations in the physical-hydric properties that would lead to higher root development and culture productivity.

Keywords: root, soil cone index, water available, no-tillage management.

INTRODUÇÃO

Com a crescente preocupação dos pesquisadores e agricultores na busca por elevada produtividade aliada a preservação dos recursos naturais, principalmente água e solo, fazem-se necessários estudos que avaliem diferentes sistemas de manejo do solo. A rápida degradação do solo sob exploração agrícola no mundo, especialmente nos países tropicais em desenvolvimento, despertou, nas últimas décadas, a preocupação com a qualidade do solo e a sustentabilidade da exploração agrícola (Lal & Pirce, 1991).

A compactação tem se destacado mundialmente como um dos principais responsáveis pela degradação da qualidade físico-hídrica de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo e pela redução da produtividade das culturas (Lima et al., 2006). A camada compactada superficial formada pelo tráfego de máquinas nas operações de manejo (Correchel et al., 1999) e subsuperficial formada pelo efeito das ferramentas utilizadas no preparo do solo (Freitas, 1992; Fornasieri Filho & Fornasieri, 1993), alteram a permeabilidade de ar e de água no solo dificultando a penetração das raízes (Lanças et al., 1990), ocasionando a concentração de raízes próxima à superfície (Gonçalves et al., 2006), podendo causar redução no seu comprimento, aumento no seu diâmetro e alterações na sua distribuição (Shierlaw & Alston, 1984; Vepraskas, 1994).

A magnitude dos efeitos do manejo sobre as propriedades físico-hídricas do solo depende, além da classe de solo, das condições climáticas, do sistema de cultivo utilizado e do tempo de uso dos diferentes sistemas de manejo (Costa et al., 2003). Uma alternativa para evitar os efeitos indesejáveis do preparo convencional é o plantio direto, onde o não revolvimento do solo leva a uma decomposição mais lenta e gradual do material orgânico, contribuindo para a conservação do solo e da água, promovendo, principalmente a melhoria da estrutura que favorece a aeração e a infiltração de água no solo, possibilitando maior penetração do sistema radicular (Igue, 1984; Lal, 1986). Entretanto, Corsini e Ferraudó (1999) alertam que não se pode esperar que o efeito do cultivo intensivo durante anos seja resolvido de imediato com a adoção de tal prática, uma vez que fatores como adequação à cultura, ao solo, às condições climáticas e aos fatores naturais devem ser levados em conta.

No plantio direto, onde a semeadura é realizada sob os restos da cultura anterior, as camadas superficiais do perfil do solo, quando comparadas ao preparo convencional, geralmente apresentam, maior estabilidade estrutural, maiores valores de densidade e de microporosidade e menores valores de macroporosidade e de porosidade total (Vieira, 1981; Vieira & Muzilli, 1984; Corrêa, 1985; Stone & Silveira, 1999). Isto se deve, principalmente, ao não revolvimento do solo e a pressão exercida pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas, sobretudo quando realizado em solos argilosos e com elevados teores de água (Vieira & Muzilli, 1984; Stone & Silveira, 1999). Com o decorrer dos anos, o aumento do conteúdo de matéria orgânica na camada superficial do solo, pode vir a diminuir sua densidade, favorecendo a melhoria de sua estrutura (Reeves, 1995; Stone & Moreira 2000; 2001). A ausência de preparo e a adição de matéria orgânica fazem com que os agregados se mantenham mais estáveis (Corrêa, 2002).

Corsini e Ferraudó (1999) concluem que um Latossolo Roxo mantido por um longo período sob plantio direto de milho, somente apresentou benefícios da manutenção desse sistema conservacionista nos valores de macroporosidade e densidade do solo no quarto ano agrícola, sendo que esses benefícios aumentaram e atingiram um valor máximo no oitavo ano agrícola consecutivo, obtendo-se valores semelhantes aos encontrados imediatamente após as operações mecânicas realizadas para a instalação do experimento.

O manejo do solo sob plantio direto, embora aumente sua densidade, bem como a resistência à penetração das raízes, aumenta o volume de água armazenada e disponível as plantas (Klein & Libardi, 1998). Vários trabalhos mostram que, sob o sistema de plantio direto ou em sistemas de preparo mínimo, ocorre maior retenção de água pelo solo (Vieira, 1984; Castro et al., 1987; Salton & Mielniczuk, 1995; Urchei 1996; Klein & Libardi 1998; Stone & Silveira 1999, Stone & Moreira 2000; Stone & Moreira 2001). A maior disponibilidade hídrica está relacionada ao não revolvimento do solo, a sua menor temperatura e a maior cobertura morta superficial (Vieira, 1984). Entretanto, Lopes et al. (2004), no primeiro ano de cultivo nos sistemas de plantio direto e convencional, não encontraram diferenças importantes de armazenamento de água no solo. Do mesmo modo, Silva et al. (2005) trabalhando por 17 anos em um Argissolo Vermelho com sistema de preparo convencional, cultivo mínimo e plantio direto, concluíram que o volume de água disponível não foram influenciadas pelos sistemas de preparo. O autor lembra que nesse caso, o aumento da taxa de infiltração e a diminuição da evaporação da água decorrente da manutenção dos resíduos vegetais sobre o solo nos sistemas de cultivo mínimo e plantio direto, podem contribuir para uma maior disponibilidade hídrica na fase inicial do estabelecimento das culturas nesses sistemas conservacionistas de manejo em comparação ao preparo convencional. Também trabalhando com preparo convencional e plantio direto, em um Latossolo Vermelho, em duas áreas, com oito e dez anos de cultivo, Costa et al. (2006), verificaram que a qualidade do solo em ambos os sistemas foi similares, em relação à densidade do solo, porosidade total, capacidade de água disponível e resistência do solo a penetração.

Com relação aos fatores do solo que afetam o desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, sua produtividade, estes podem ser divididos em fatores químicos e físicos (Rosolem, 1995), sendo talvez a compactação do solo o principal fator físico. De maneira geral, o alongamento radicular só é possível quando a pressão de crescimento das raízes for maior que a resistência mecânica do solo à penetração (Passioura, 1991). De acordo com Freddi et al. (2006), a resistência mecânica do solo à penetração exerce grande influência sobre o desenvolvimento vegetal, uma vez que o crescimento das raízes e a produtividade das culturas variam de forma inversamente proporcional ao seu valor.

Além da compactação, o crescimento do sistema radicular também é influenciado pela temperatura, pela umidade, pela aeração, pela disponibilidade de nutrientes, pelo estresse hídrico e pelas práticas culturais (Rosolem, 1996; Camargo & Alleoni, 1997; Fageria & Stone, 1999). Sendo que o principal fator que afeta a taxa de crescimento da raiz de milho é o nível de água no solo (Barber et al., 1988), uma vez que, o conteúdo de água no solo afeta a relação entre resistência do solo à penetração e o alongamento da raiz (Rosolem et al., 1999).

Para Rhoads & Bennett, (1990) a profundidade do sistema radicular do milho é variável em função do ambiente de crescimento, mas normalmente 60 a 80% do sistema radicular encontram-se nos primeiros 30cm do solo. Já Resende et al., (1990) trabalhando com Latosso encontrou valores de profundidade efetiva do sistema radicular do milho de 20cm, até os 30 dias após a germinação, e de 40cm após esse período. Moreira (1993) e Albuquerque & Resende (2002) concordam que, de uma maneira geral, a profundidade efetiva do sistema radicular do milho varia de 40 a 50cm.

Um dos atributos físicos do solo que influencia o crescimento de raízes e serve como base à avaliação dos efeitos dos sistemas de manejo do solo sobre o desenvolvimento radicular é o índice de cone (Tormena & Roloff, 1996).

Os valores de índice de cone que podem restringir ou mesmo impedir o desenvolvimento das raízes do milho são bastante amplos e contraditórios. É difícil generalizar conclusões sobre a influência da compactação do solo no crescimento radicular, pois esta é decorrente de vários fatores que dependem das características genéticas das plantas, das condições ambientais e do estágio de desenvolvimento do vegetal (Bennie, 1996).

Pauletto et al. (1989) avaliando o desenvolvimento do sistema radicular das plantas de milho constataram que valores de índice de cone de 2320kPa impediriam o seu crescimento. Entretanto, Tavares Filho et al. (2001) mostraram que valores de índice de cone superiores a 3500kPa, não restringiram o desenvolvimento radicular do milho, influenciando apenas sua morfologia. Para Foloni et al. (2003) o sistema radicular do milho não é capaz de romper uma camada compactada de solo com resistência mecânica de 1400kPa, porém, não há diminuição da produção total de raízes. Por outro lado, Freddi et al. (2006) constatou que valores de índice de cone variando entre 900 e 2000 MPa não restringiram a produtividade da cultura do milho.

Para a cultura do milho os resultados referentes aos diferentes manejos de solo influenciando a produtividade também são bastante contraditórios. Comparando-se sistema plantio direto e preparo convencional, foi observado aumento do rendimento de grãos de milho sob plantio direto por Hernani & Salton (1997) e Possamai et al. (2001), enquanto outros autores encontraram rendimentos inferiores desta cultura quando conduzidos sob sistema plantio direto (Fancelli & Favarin, 1989; Hill, 1990; Sonae & Ball, 1998).

Em estudo de 20 anos, Ismail et al. (1994) encontraram maior rendimento de grãos de milho sob preparo convencional nos primeiros 12 anos, o que se inverteu nos anos seguintes, o que foi atribuído por estes autores à elevação da matéria orgânica no solo sob sistema plantio direto. De acordo com Silva & Silva (2001), trabalhando durante dois anos com três sistemas de manejo: plantio direto com guandu, plantio direto e cultivo convencional, concluíram que dois anos de experimentações foram insuficientes para promover modificações na produção e a produtividade de grãos de milho, não apresentou diferença significativa entre os sistemas de manejo utilizados.

Para Carvalho et al. (2004), avaliando a produtividade do milho nos sistema de plantio direto e convencional em Latossolo Vermelho distrófico e para Berolini et al. (2006) trabalhando com dois sistemas de manejo do solo: preparo reduzido através de escarificação e plantio direto em Nitossolo Vermelho distroférico, os sistemas de manejo do solo não influenciaram os componentes de produção da cultura de milho.

No sudoeste do Estado de São Paulo, na bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema, há uma significativa área de culturas anuais, basicamente cereais, irrigados por pivô central, na qual o plantio na palha é adotado como forma de uso sustentável do solo e a água. As vantagens desse sistema de manejo conservacionista comparativamente ao plantio convencional são muitas. Dentre as principais, os irrigantes desta região destacam: maior agilidade de plantio, pois a dessecação pode ser realizada após o plantio; menor custo de implantação da cultura; maior facilidade de manejo de plantas daninhas; produção e manutenção da palhada, evitando assim, escoamento superficial de água, conseqüentemente, erosão; a palhada diminui a compactação, amortecendo o impacto dos implementos. Entretanto, as mudanças estruturais no solo e, conseqüentemente, as alterações promovidos

por este manejo nas propriedades físico-hídricas do solo, na sua compactação e no desenvolvimento radicular das culturas ainda não foram quantificadas.

Desta forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar como dois diferentes sistemas de manejo, utilizados pelos agricultores irrigantes do sudoeste paulista, interferem na quantidade de água disponível, na compactação do solo, no desenvolvimento radicular e na produtividade do milho, irrigado via pivô central.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado e conduzido numa área de Argissolo Acinzentado de 35ha irrigada via pivô central na Fazenda Buriti-Mirim, município de Angatuba, SP (23°30'13" S, 48°35'37" W; 640m), durante o segundo semestre de 2003. A cultura utilizada foi o milho (*Zea mays* L.), híbrido DKB 215, cuja semeadura ocorreu em 15 de agosto de 2003 e a colheita dia 15 de janeiro de 2004, totalizando 154 dias de ciclo da cultura.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com dois tratamentos: plantio na palha e plantio convencional, com 13 parcelas cada. As médias dos resultados obtidos foram comparadas pelo teste t de Student a 5% de probabilidade.

O plantio convencional foi realizado mediante o uso de arado e grade, enquanto o plantio na palha se caracterizou pela semeadura realizada sob os restos da cultura anterior, sem revolvimento do solo. Utilizou-se a denominação “plantio na palha”, porque a parcela sem revolvimento não caracteriza um sistema de plantio direto contínuo, uma vez que, periodicamente são realizadas operações de preparo do solo para eliminação da soqueira do algodão e subsolagem para eliminação das camadas compactadas e redistribuição dos nutrientes no perfil do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Rotação de culturas segundo a programação de plantio.

2001		2002		2003	
1º semestre	2º semestre	1º semestre	2º semestre	1º semestre	2º semestre
Feijão/ aveia	Milho	Feijão	Algodão	Trigo	Milho

Antes da instalação do experimento foram coletadas amostras indeformadas de solo com o auxílio de anéis volumétricos, nas profundidades de 0-5cm, 5-10cm, 10-20cm e 20-40cm, nas duas condições de manejo do solo, para obtenção de sua curva característica de retenção de água e a realização da análise física do solo. As amostras foram encaminhadas para os Laboratórios de Física dos Solos do Departamento de Recursos Naturais, da Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Botucatu.

O fornecimento de água para a cultura foi realizado por um sistema de irrigação pivô-central. Para o monitoramento da irrigação foram instaladas três baterias de tensiômetros em cada tratamento de manejo do solo: convencional e plantio na palha (Silveira & Stone, 2001). Cada bateria era composta por dois tensiômetros instalados nas profundidades de 15 e 30cm, sendo que o primeiro definia o momento de irrigar e o segundo era utilizado para controle da lâmina aplicada (Saad & Libardi, 1992). As irrigações foram realizadas sempre que a média entre as leituras dos tensiômetros a 15cm de profundidade atingisse 40kPa (Resende et al., 1992; Guerra et al., 1997).

Visando caracterizar a retenção de água do solo, com valores correspondentes em potencial de água no solo, efetuou-se a determinação da curva característica de retenção de água. Utilizou-se o programa computacional Soil Water Retention Curve – SWRC (Dourado Neto et al., 1990) para ajustar matematicamente os dados ao modelo não linear proposto por Van Genuchten (1980), representado pela equação:

$$\theta = \theta_{\gamma} + \frac{\theta_s - \theta_{\gamma}}{\left[1 + (\alpha \times |\psi|)^n\right]^m} \quad (1)$$

em que:

θ = teor volumétrico de água no solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

θ_{γ} = teor de água residual ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

θ_s = teor de água para solo saturado ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

α , m , n = parâmetros de ajuste do modelo;

ψ = potencial matricial da água no solo (kPa).

As curvas características de retenção de água no solo foram determinadas nas profundidades de 0-5cm, 5-10cm, 10-20cm e 20-40cm, nas duas condições de manejo do solo.

Para a determinação do índice de cone (resistência mecânica do solo à penetração), foi utilizado um penetrômetro hidráulico-eletrônico, de acordo com Lanças e Santos (1998). O penetrômetro hidráulico-eletrônico, montado sobre uma carreta para transporte rodoviário e aplicação em tratores com sistema hidráulico, apresenta um cone com área da base de 320 mm², ângulo sólido de 30° e velocidade constante de penetração no solo de 30 mm s⁻¹ conforme ASAE S313.2 (1991). O sistema eletrônico possui um sistema de aquisição de dados (Microllogger 23X, Campbell), sensor de força (célula de carga de 10000 N) e sensor de profundidade (potenciômetro rotativo). As profundidades para determinação do índice de cone foram de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40cm, na condição de plantio convencional e na palha.

O desenvolvimento radicular foi avaliado quando 50% das plantas encontravam-se em pleno florescimento, e sua amostragem foi realizada utilizando-se um trado de aço galvanizado com diâmetro de 4,5cm. A coleta de solo para a análise de raízes ocorreu nos dias 18, 19 e 20 de novembro, em cinco camadas (0-5; 5-10; 10-20; 20-40 e 40-60cm). As amostras foram retiradas na linha de plantio, entre uma planta e outra, com quatro repetições por parcela, totalizando 60 amostras de cada camada por tratamento. Posteriormente, as raízes foram separadas do solo por lavagem em água corrente, com auxílio de uma peneira de 0,5mm. As amostras de raízes depois de lavadas e separadas, foram acondicionadas em coletores universais com uma solução de álcool 70% e levadas à geladeira a uma temperatura de 4°C.

As variáveis que caracterizam o desenvolvimento radicular foram determinadas em um Scanner acoplado a um computador dotado do Software WinRhizo, que utiliza como princípio o método proposto por Tennant (1975). Nesse equipamento determinou-se o comprimento (Km m⁻³), a superfície (m² m⁻³) e o diâmetro radicular (cm). Após essas avaliações as amostras foram secas em estufa a 65°C, até atingirem peso constante, para a determinação da produção de matéria seca radicular (g m⁻³).

Por ocasião da colheita da cultura do milho, foram coletadas 10 plantas sequenciais em local pré-determinado na área útil de cada parcela, totalizando 130 amostras por tratamento. Essas plantas foram levadas para laboratório para determinação de: número de espigas por planta, número de grãos por espiga e massa de 1000 grãos (g) por parcela.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 1 estão apresentadas as precipitações e irrigações que ocorreram durante o ciclo da cultura do milho, que totalizaram, respectivamente, 690,4mm e 155,4mm. De acordo com Fancelli & Dourado Neto (2004), a necessidade hídrica da cultura do milho varia de 350 a 500mm para obtenção de alta produtividade, o que foi plenamente atendido.

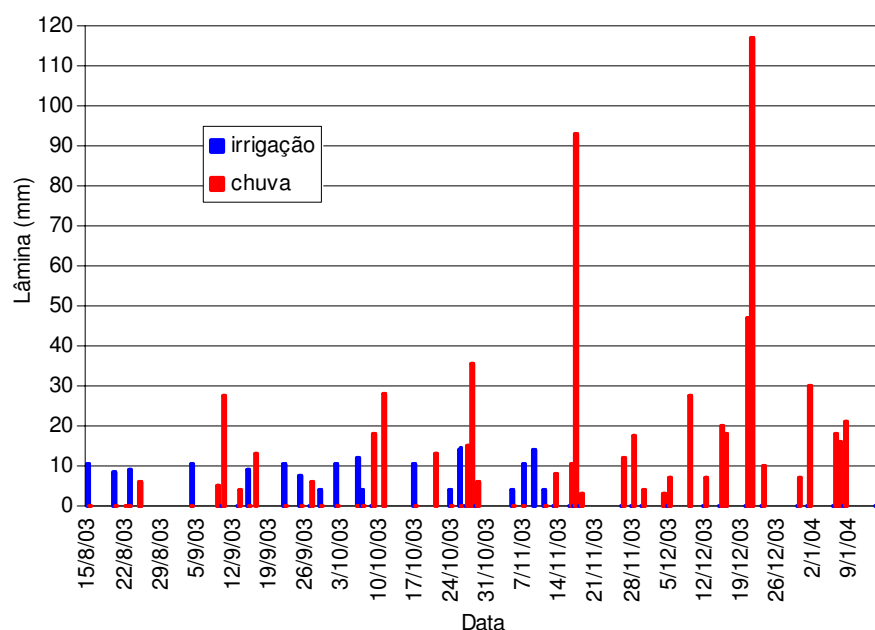


Figura 1. Ocorrência de precipitação e irrigação durante o ciclo da cultura do milho.

Devido aos altos índices pluviométricos a irrigação fez-se necessária somente até o dia 11/11/03. Como as precipitações atenderam plenamente as necessidades hídricas da cultura, a irrigação pode ser suspensa sem comprometimento da produtividade.

Verifica-se que, em pelo menos dois dias 15/09 e 26/10/03, logo após a realização da irrigação ocorreu precipitação pluvial que excedeu a lâmina aplicada pela irrigação. Evidenciando a importância de serviços de monitoramento climático que forneçam informações sobre a probabilidade de ocorrência de chuvas. Um pequeno adiantamento da irrigação prevista ou mesmo sua suspensão pode representar economia de água e de energia, bem como evitar condições propícias para desenvolvimento de doenças que se propagam em ambiente úmido.

Não houve restrições hídricas durante todo o ciclo da cultura, portanto, a água não foi fator limitante para o desenvolvimento das plantas. Os valores de água disponível foram elevados, tanto no solo do plantio na palha como no plantio convencional (Tabela 2), e não restringiram o crescimento e o desenvolvimento do sistema radicular, conseqüentemente, não comprometeram o desenvolvimento da parte aérea.

Tabela 2. Umidades correspondentes à capacidade de campo (CC) em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, ponto de murcha permanente (PMP) em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, água disponível (AD) em mm cm^{-1} , densidade (Ds) em g cm^{-3} e textura em diferentes camadas de solo para os manejos, plantio convencional (PC) e plantio na palha (PP).

Manejo de solo	Camada (cm)	CC ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	PMP ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	AD (mm cm^{-1})	Ds (g cm^{-3})	Textura
PC	0-5	0,1756	0,0436	1,32	1,64	Média
	5-10	0,1625	0,0470	1,16	1,65	Média
	10-20	0,1517	0,0337	1,18	1,59	Média
	20-40	0,1294	0,0216	1,08	1,53	Média
PP	0-5	0,1807	0,0824	0,98	1,65	Arenosa
	5-10	0,1891	0,0934	0,96	1,67	média
	10-20	0,1849	0,0839	1,01	1,69	arenosa
	20-40	0,1948	0,1068	0,88	1,55	arenosa

O solo do plantio na palha apresentou, para todas as camadas avaliadas, menor quantidade de água disponível, contrariando Vieira, 1984; Castro et al., 1987; Salton & Mielniczuk, 1995; Urchei 1996; Klein & Libardi 1998; Stone & Silveira 1999, Stone & Moreira 2000; Stone & Moreira 2001. Como o efeito dos sistemas de manejos alterando as características físico-hídricas do solo depende, entre outros fatores, do tempo de uso (Costa et al., 2003), este talvez não tenha sido suficiente para promover no plantio na palha mudanças estruturais no solo, e conseqüentemente, aumentar a quantidade de água armazenada e disponível às plantas. Os ciclos de manejo conservacionistas são curtos, de no máximo 4 anos, portanto, o plantio na palha não foi contínuo. Periodicamente ocorreram operações de preparo do solo para eliminação da soqueira do algodão e subsolagem para destruição das camadas compactadas.

Não se pode esperar que o efeito do plantio convencional realizado durante anos seja alterado de imediato com a adoção de tal prática conservacionista (Corsini & Ferraud, 1999). De acordo com Lopes et al. (2004), no primeiro ano de cultivo nos sistemas de plantio direto e convencional, não foram encontradas diferenças importantes de armazenamento de água no

solo. Por depender de outros fatores além do tempo de uso do sistema, alguns autores mesmo trabalhando por longo período com plantio direto contínuo, não encontraram diferenças significativas no armazenamento de água entre os manejos. Trabalhando por 17 anos com sistema de preparo convencional, cultivo mínimo e plantio direto, Silva et al. (2005) concluíram que, o volume de água disponível não foi influenciado pelos sistemas de preparo. Costa et al. (2006), verificaram também que o preparo convencional e o plantio direto, em duas áreas, com oito e dez anos de cultivo, apresentaram similar capacidade de água disponível.

No plantio na palha, onde a semeadura foi realizada sob os restos da cultura anterior, a densidade do solo apresentou valores superiores aos encontrados no plantio convencional para as camadas avaliadas, corroborando com Vieira (1981), Vieira & Muzilli (1984), Corrêa (1985) e Stone & Silveira (1999). Isto se deve ao não revolvimento do solo e a movimentação de máquinas e implementos agrícolas, que possivelmente fizeram com que o solo apresentasse menores valores de macroporosidade aumentando assim sua densidade (Vieira & Muzilli, 1984; Stone & Silveira, 1999). Entretanto, os valores de densidade entre os tratamentos foram tão próximos, principalmente nas camadas mais superficiais, de 0 a 5 e de 5-10cm, que não caracteriza o efeito do manejo do solo sobre essa variável.

Caso seja adotado ciclos conservacionistas de maior duração ou um sistema de plantio na palha contínuo, o aumento do conteúdo de matéria orgânica na camada superficial do solo, poderá vir a diminuir sua densidade, favorecendo a melhoria de sua estrutura, o que também proporcionaria aumento na quantidade da água disponível (Reeves, 1995; Stone & Moreira 2000; 2001). A ausência de preparo e a adição de matéria orgânica fazem com que os agregados se mantenham mais estáveis (Corrêa, 2002), diminuindo a suscetibilidade do solo à compactação, a qual pode ser referenciado também pelo índice de cone.

Utilizando-se o índice de cone para determinar a compactação do solo, os valores encontrados foram contraditórios aos obtidos pela densidade. Sendo o índice de cone um dos atributos físicos do solo que influencia o crescimento de raízes e serve como base à avaliação dos efeitos dos sistemas de manejo do solo sobre o desenvolvimento radicular (Tormena & Roloff, 1996), este caracteriza melhor a resistência do solo à penetração das raízes do que a

densidade, uma vez que, a compactação não tem ocorrência contínua numa determinada camada (Reichardt, 1990).

A Tabela 3 contendo o índice de cone registra grande semelhança entre os tratamentos, com exceção da camada 10 a 20cm, porém não se verifica indicação de restrição ao desenvolvimento radicular em nenhuma situação, pois, conforme Pauletto et al. (1989), o crescimento de raízes de plantas de milho só seria afetado por índice de cone superior a 2320kPa.

Tabela 3. Valores de índice de cone (kPa) para as condições de plantio na palha (PP) e plantio convencional (PC) nas diferentes camadas de solo avaliadas.

Manejo do solo	0-5cm	5-10cm	10-20cm	20-40cm
PP	902	2062	1859	1581
PC	930	2142	2238	1697

Os maiores valores de índice de cone foram encontrados nas camadas de 5-10 e de 10 a 20cm, nos dois manejos, sendo de 2062 e 1859kPa, no plantio na palha e de 2142 e 2238kPa, no plantio convencional, respectivamente. Estes valores relacionam-se ao efeito das ferramentas utilizadas para o preparo do solo, que descarregam todo seu peso abaixo da profundidade de preparo, formando uma camada impermeável chamada “pé de grade ou pé de arado” (Freitas, 1992; Fornasieri Filho & Fornasieri, 1993). Como os valores de índice de cone foram muito próximos entre as duas camadas, fica evidente a alteração na profundidade do “pé de grade ou pé de arado” que pode ter sido causado por problemas na regulação da profundidade efetiva de trabalho dos implementos agrícolas. Esse efeito também foi observado no plantio na palha, pois, periodicamente, ocorreram operações de preparo do solo neste manejo.

O desenvolvimento radicular para os manejos de solo avaliados, caracterizado pelo comprimento de raízes em cada camada de solo, está registrado na Tabela 4. Não houve diferença significativa entre o plantio na palha e o plantio convencional para todas as camadas avaliadas.

Tabela 4. Distribuição do comprimento radicular do milho no perfil do solo, nas condições de plantio na palha e convencional, para as camadas avaliadas.

Camada (cm)	Plantio na palha	Plantio convencional
0-5	24%	41%
5-10	40%	34%
10-20	26%	15%
20-40	7%	7%
40-60	3%	3%

Verifica-se que, em ambos os tratamentos, 90% do comprimento radicular se concentraram nos primeiros 20cm de profundidade, discordando dos valores obtidos por Resende et al., (1990), Moreira (1993) e Albuquerque & Resende (2002), que concluíram que, de uma maneira geral, a profundidade efetiva do sistema radicular do milho varia de 40 a 50cm. Porém, na camada de 0 a 5cm, o plantio na palha concentrou 24% do comprimento total de raízes, enquanto o plantio convencional, 41%. Isto se deve, basicamente, ao maior valor de água disponível apresentado pelo plantio convencional nesta camada ($1,32 \text{ mm.cm}^{-1}$), uma vez que a densidade e o índice de cone foram semelhantes aos registrados no plantio na palha.

A camada de 0 a 5cm também apresentou diferença significativa no peso seco de raízes (Tabela 5), de $3028,80 \text{ g m}^{-3}$ no plantio na palha e $8116,45 \text{ g m}^{-3}$ no plantio convencional. Para as outras variáveis de desenvolvimento radicular, não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Tabela 5: Comprimento (km m^{-3}), superfície ($\text{m}^2 \text{ m}^{-3}$), peso seco (g m^{-3}) e diâmetro (cm) radicular do milho no plantio na palha (PP) e plantio convencional (PC) nas diferentes camadas avaliadas.

Camada (cm)	Comprimento (Km m^{-3})		Superfície ($\text{m}^2 \text{ m}^{-3}$)		Peso Seco (g m^{-3})		Diâmetro (cm)	
	PP	PC	PP	PC	PP	PC	PP	PC
0-5	22,28a	40,98a	48,32a	116,53a	3028,80a	8116,45b	0,067a	0,089a
5-10	38,08a	33,91 ^a	88,49a	97,76a	5419,64a	10161,59a	0,076a	0,090a
10-20	24,92a	14,60 ^a	67,30a	45,00a	4147,07a	3336,14a	0,089a	0,096a
20-40	6,93a	6,49 ^a	16,52a	16,35a	694,14a	631,27a	0,076a	0,079a
40-60	2,70a	2,53 ^a	5,01a	5,25a	168,29a	189,13a	0,053a	0,050a

Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente, a 5% de probabilidade, pelo teste t de Student.

Nota-se que mesmo com números médios tão díspares, como é o caso da superfície radicular na camada de 0-5cm ou peso seco radicular nas camadas de 5-10cm, devido a um alto coeficiente de variação esses valores não diferiram estatisticamente a 5% de probabilidade. É difícil generalizar conclusões sobre a influência do manejo do solo no crescimento radicular, uma vez que este é decorrente de diversos fatores. Além da compactação e da quantidade de água disponível, o crescimento do sistema radicular também é influenciado pela temperatura, pela aeração, pela disponibilidade de nutrientes, por fatores biológicos, entre outros (Rosolem, 1996; Camargo & Alleoni, 1997; Fageria & Stone, 1999). Talvez o tempo de adoção do plantio na palha contínuo não tenha sido suficiente pra que ocorresse mudanças estruturais significativas entre os manejos que promovessem diminuição da densidade, aumento da água disponível e, conseqüentemente, alterações no desenvolvimento radicular do milho.

Como os componentes avaliados de desenvolvimento radicular praticamente não diferiram, não houve diferença significativa entre a produtividade e os demais componentes da produção do milho para o plantio na palha e o plantio convencional (Tabela 6).

Tabela 6. Número de espigas por planta, número de grãos por espiga, massa de 1000 grãos e produtividade do milho em razão de diferentes preparos de solo, plantio convencional e plantio direto.

Manejo de solo	Número de espigas por planta	Número de grãos por espiga	Massa de 1000 grãos (g)	Produtividade (Kg ha ⁻¹)
PP	0,94a	528,1a	290,02a	10920a
PC	0,98a	476,7a	320,95a	10800a

Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente, a 5% de probabilidade, pelo teste t de Student.

Estes resultados assemelham-se aos obtidos por Silva & Silva (2001), Carvalho et al. (2004) e Berolini et al. (2006) que também não encontraram diferenças na produtividade do milho cultivado em plantio direto e convencional.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que:

- f) O curto período de adoção do sistema de plantio na palha contínuo não promoveu mudanças estruturais no solo;
- g) O plantio na palha apresentou menor retenção de água e maior densidade do solo;
- h) Os dois sistemas de manejo apresentaram valores de índice de cone muito semelhantes;
- i) Nos dois sistemas de manejo, 90% das raízes se concentraram nos primeiros 20cm de profundidade.
- j) Não houve diferença de produtividade do milho entre os manejos

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, P.E.P.; RESENDE, M. **Cultivo do milho. Manejo da irrigação**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 47).

ASAE, Standard ASAE S313.2, **Soil Cone Penetrometer**, Agricultural Engineers Yearbook of Standards, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, EUA 1991. 591 p.

BARBER, S.A.; MACKEY, A.D.; KUCHENBUCH, R.O.; BARRACLOUGH, S. Effect of soil temperature and water on maize root growth. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.111, 1988. p. 267-269.

BENNIE, A.T.P. Growth and mechanical impedance. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A. & KAFKAFI, U., eds. *Plant roots*. 2.ed. New York, M. Dekker, 1996. p. 453-470.

BEROLINI, E.V.; GAMERO, C.A.; BENEZ, S.H. Desempenho da cultura do milho em diferentes manejos do solo sobre cobertura vegetal de nabiça (*Raphanus raphanistrum* L.). **Engenharia agrícola**, v.21, n.1, 2006. p. 34-49.

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

CARVALHO, M.A.C.; SORATTO, R.P.; ATHAYDE, M.L.F.; ARF, O.; EUSTÁQUIO DE SÁ, M. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.1, 2004. p. 47-53.

CASTRO, O. M.; VIEIRA, S. R.; MARIA, I.C. Sistema de preparo do solo e disponibilidade de água. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, 1987, Campinas. **Anais**. Campinas: Fundação Cargil, 1987. p. 27-51.

CORRÊA, J.C. Efeito de métodos de cultivo em algumas propriedades físicas em um Latossolo Amarelo muito argiloso do Estado do Amazonas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.11, 1985. p. 1317-1322.

CORRÊA, J.C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência - MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.2, 2002. p. 203-9.

CORRECHEL, V.; SILVA A.P.; TORMENA, C.A. Influência da posição relativa à linha de cultivo sobre a densidade do solo em dois sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa (MG), v.23, n.1, 1999. p. 165-173.

CORSINI, P.C; FERRAUDO A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em latossolo roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.2, 1999. p. 289-298.

COSTA, E.A.; GOEDERT, W. J.; SOUSA, D.M.G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.7, 2006. p. 1185-1191.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.27, 2003. p. 527-535.

DOURADO NETO, D., LIER, Q.J.V.; BOTREL, T.A., LIBARDI, P.L. Programa para confecção da curva característica de retenção de água no solo utilizando o modelo de Genuchten. **Engenharia Rural**, v.1, n.2, 1990. p. 94-101.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. **Manejo da acidez dos solos de cerrado e de várzea do Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 42p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 92).

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção do milho**. 2.ed. Guaíba: Agropecuária, 2004. 360 p.

FANCELLI, A.L.; FAVARIN, J.L. Desempenho da cultura do milho em plantio direto e convencional. In: FANCELLI, A.L. (Coord.). **Plantio direto no Estado de São Paulo**. Piracicaba: Esalq, 1989. p.174-175.

FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C. & LIMA, S.L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, 2003. p. 947-953.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J.L. **Manual da cultura de arroz**. Jaboticabal: Funep, 1993. 221 p.

FREDDI, O. S., CARVALHO, M. P., JÚNIOR, V. V., CARVALHO, G.J. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, 2006. p. 113-121.

FREDDI, O. S., CARVALHO, M. P., JÚNIOR, V. V., CARVALHO, G.J. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, 2006. p. 113-121.

FREITAS, P.L. Manejo físico do solo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, 1., 1990, Goiânia. **Anais**. Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 117-139.

GONÇALVES, W.G.; GIMENEZ, R.L.; ARAÚJO FULHO, J.V.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; PIREZ, F.R. Sistema radicular de plantas de cobertura sob compactação do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1. 2006. p. 67-75.

GUERRA, A.F.; ANTONINI, J.C.; SILVA, D.B.; RODRIGUES, G.C. Manejo de irrigação e fertilização nitrogenada para a cultura do milho. **Relatório Técnico Anual do Centro de Pesquisa Agropecuário dos Cerrados 1991/1995**. Planaltina, 1997. p.97-98.

HERNANI, L.C.; SALTON, J.C. Milho: informações técnicas. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste. **Manejo e conservação de solos**. Dourados: EMBRAPA/CPAO, 1997. p.39-67. (Circular técnica, 05).

HILL, R.L. Long term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.54, 1990. p. 161-166.

IGUE, K. **Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos nas propriedades do solo**. In: ADUBAÇÃO VERDE NO BRASIL. Campinas: Fundação Cargill, 1984. p.232-267.

ISMAIL, I.; BLEVINS, R.L.; FRYE, W.W. Long-term no-tillage effects on soil properties and continuous corn yields. **Soil Science American Journal**, Madison, v.58, n.1, 1994. p. 193-198.

KLEIN, V.A., LIBARDI, P.L. Armazenagem de água no solo e resistência à penetração. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12. 1998. Fortaleza/Ceará. **Resumos expandidos**. Sociedade Brasileira Ciências do Solo. Universidade Federal do Ceará. 1998. p.163-164.

LAL, R. Soil surface management in the tropics for intensive land use and high and sustained production. **Advances in Soil Sciences**, v.5, 1986. p. 100-109.

LAL, R.; PIRCE, F. J. The vanishing resource. In: LAL, R.; PIRCE, F. J. (Ed.). **Soil managment for sustainability**. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 1991. p. 1-5.

LANÇAS, K. P., SANTOS FILHO, C.A. **Penetrômetro hidráulico-eletrônico equipado com DGPS para avaliação da compactação do solo**. La Plata, Editorial de la U.N.L.P. 1998. p. 570-576.

LANÇAS, K.P., BENEZ, S.H., FURLANI Jr, J.A., GAMERO, C.A., ANTUNIASSI, U.R. Subsolador: desgaste em função da sua dureza superficial. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 19., Piracicaba, SP. 1990. **Anais**. Piracicaba, SP. 1990. p. 801-809.

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

LOPES, A. S.; PAVANI, L.C.; CORÁ, J. E.; ZANINI, J.R.; MIRANDA, H.A. Manejo da irrigação (tensiometria e balanço hídrico climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistemas de cultivo direto e convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.1, 2004, p. 89-100.

MOREIRA, H.J.C. **SAACI – Sistema agroclimatológico para o acompanhamento das culturas irrigadas**: manual prático para o manejo da irrigação. Brasília: Secretária Nacional de Irrigação, 1993. p.86.

PASSIOURA, J.B. Soil structure and plant growth. *Austr. J. Soil Res.*, v.29, 1991. p. 717-728.

PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S.; NACHTIGALL, G.R. Produtividade do arroz irrigado em sistemas de cultivo contínuo e em rotação com soja e milho. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 18., Porto Alegre, 1989. **Anais...** Porto Alegre, IRGA, 1989. p. 150-160.

POSSAMAI, J.M.; SOUZA, C.M.; GALVÃO, J.C.C. Sistemas de preparo do solo para o cultivo do milho safrinha. **Bragantia**, v.60, 2001. p. 79-82.

REEVES, D.W. Soil management under no-tillage: soil physical aspects. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1., 1995, Passo Fundo. **Resumos**. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1995. p. 127-130.

REICHARDT, K. **A Água em Sistemas Agrícolas**. Barueri: Manole, 1990. 188 p.

RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P.E.P.; FRANÇA, G.E.; ALVEZ, V. M.C.; COELHO, A.M.; SANTOS, N.C.; LEITE, C.E.P. Momento de irrigar a cultura do milho de inverno no Norte do Estado de Minas Gerais. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 19.; REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 37; REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO

SORGO, 21.,1992., Porto Alegre. **Resumos...** Porto Alegre: SSA/SCT/ABMS/Emater-RS/Embrapa-CNPMS/CIENTEC, 1992. 143 p.

RESENDE, M.; FRANÇA, G.E.; ALBUQUERQUE, P.E.P.; ALVES, V.M.C. Estimativa do desenvolvimento radicular do milho irrigado em dois tipos de solo. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO18., 1990, Vitória. **Resumos...** Vitoria: Emcapa, 1990. 133 p.

RHOADS, F.M.; BENNETT. Corn. In: STEWART, B.A. & NIELSEN, D.R., co-ed, Irrigation of Agricultural Crops. **American Society of Agronomy**, Madison. 1990. p. 569-596.

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

ROSOLEM, C.A. Calagem e adubação mineral. In: ARAUJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J.O. (Coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p. 353-385.

ROSOLEM, C.A.; FERNANDEZ, E.M.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C.A.C. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.34, n.5, 1999. p.821-828.

SAAD, A.M.; LIBARDI, P.L. **Uso prático do tensiômetro para o irrigante**. São Paulo: IPT, 1992. 27 p. (IPT. Comunicação Técnica).

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho Escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, 1995. p. 313-319.

SHIERLAW, J.; ALSTON, A.M. Effect of soil compaction on root growth and uptake of phosphorus. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.77, 1984. p. 15-28.

SILVA, A.S. & SILVA, I.F. Produtividade do milho influenciada pela eficiência do uso da água em sistemas de manejo. In: 3º Simpósio Brasileiro de Captação de Água de Chuva no Semi-Árido. III, 2001, Campina Grande. **CD ROM...** Campina Grande: 2001. p. 14-20.

SILVA, M.A.S.; MAFRA, A.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER C., MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, 2005. p. 544-552.

SOANE, B.D.; BALL, B.C. Review of management and conduct of long-term tillage studies with special reference to a 25 years experiment on barley in Scotland. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.45, n.1, 1998. p. 17-37.

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

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

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.3, 2001. p. 473-481.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; GUIMARÃES, M.F.; FONSECA, I.C.B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*-L.) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.25, 2001. p. 725-730.

TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, v.63, 1975. p. 995-1001.

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, 1996. p. 333-339.

URCHEI, M.A. **Efeitos do plantio direto e do preparo convencional sobre alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso e no crescimento e produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob irrigação.** 1996. 150f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Botucatu, 1996.

VEPRASKAS, M.J. Plant response mechanisms to soil compaction. In: WILKINSON, R.E. **Plant environment interactions**. New York: M. Dekker, 1994. p. 263-287.

VIEIRA, M.J. O preparo do solo e o comportamento da planta. **Plantio Direto**, Ponta Grossa, v.1, n.5, 1984. p. 4-5.

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

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

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos para os manejos de solo convencional e plantio na palha, nas culturas de feijão, soja e milho, pode-se concluir que:

- a) Os manejos de solo não diferiram quanto à produtividade das culturas de feijão, soja e milho;
- b) Na cultura do feijão, o plantio na palha apresentou maior capacidade de retenção de água nas camadas mais superficiais do solo, menor compactação e distribuição radicular mais uniforme no perfil;
- c) O sistema radicular do feijoeiro concentrou 84% das raízes nos primeiros 10cm do perfil do solo no plantio na palha e 93% no plantio convencional; o plantio na palha apresentou, na camada de 5 a 10cm de profundidade, maior peso seco de raiz que o plantio convencional;
- d) O plantio na palha apresentou maior densidade do solo e menor quantidade de água disponível na cultura do milho e da soja; para estas duas culturas os manejos não diferiram quanto à distribuição radicular em profundidade;
- e) Na cultura do milho, os manejos apresentaram valores de índice de cone muito semelhantes e, em ambos, 90% das raízes se concentraram nos primeiros 20cm de profundidade; o plantio na palha apresentou maior peso seco de raiz que o plantio convencional, na camada de 0 a 5cm de profundidade;

- f) Na cultura da soja, o plantio na palha apresentou menor índice de cone e o sistema radicular neste manejo concentrou 77% das raízes nos primeiro 10cm do solo, sendo que no plantio convencional 70% das raízes se concentraram até a mesma profundidade; o plantio na palha apresentou maior peso seco de raiz que o plantio convencional, na camada de 0 a 5cm de profundidade.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, S.L.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Escarificação mecânica e biológica para redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, 2004. p. 519-531.

ALBUQUERQUE, P.E.P.; RESENDE, M. **Cultivo do milho. Manejo da irrigação**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 47).

ALVARENGA, R.C.; CRUZ, J.C. Manejo de solos e agricultura irrigada. In: RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P.E.P.; COUTO, L. **A cultura do milho irrigado**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. p. 70-106.

ARF, O., RODRIGUES, R. A. F., SÁ, M. E., BUZETTI, S., NASCIMENTO, V. Manejo do solo, água e nitrogênio no cultivo de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.2, 2004. p. 131-138.

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B. & GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J., eds. Methods for assessing soil quality. **Madison, Soil Science Society of America**, 1996. p.123-141 (SSSA Special publication, 49).

BARBER, S.A. Effect of tillage practice on corn (*Zea mays* L.) root distribution and morphology. **Agronomy Journal**, Madison, v.63, n.5, 1971. p. 724-726.

BARBER, S.A. **Soil nutrient biavailability**: a mechanistic approach. New York: J. Wiley & Sons, 1995. 414p.

BARBER, S.A.; MACKEY, A.D.; KUCHENBUCH, R.O.; BARRACLOUGH, S. Effect of soil temperature and water on maize root growth. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.111, 1988. p. 267-269.

BENGOUGH, A.G.; MULLINS, C.E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal of Soil Science**, v.41, 1990. p. 341-358.

BENNIE, A.T.P. Growth and mechanical impedance. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A. & KAFKAFI, U., eds. *Plant roots*. 2.ed. New York, M. Dekker, 1996. p.453-470.

BEROLINI, E.V.; GAMERO, C.A.; BENEZ, S.H. Desempenho da cultura do milho em diferentes manejos do solo sobre cobertura vegetal de nabiça (*Raphanus raphanistrum* L.). **Engenharia agrícola**, v.21, n.1, 2006. p. 34-49.

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

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

BORGES, E.N.; NOVAIS, R.F.; REGAZZI, A.J.; FERNANDES, B.; BARROS, N.F. Respostas de variedades de soja à compactação de camadas de solo. **Revista Ceres**, v.35, 1988. p. 553-568.

CAMARA, R.K.; KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v35, n.4, 2005. p. 813-819.

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, 1990. p. 51-70.

CARDOSO, E.G.; ZOTARELLI, L.; PICCININ, J.L.; TORRES, E.; SARAIVA, O.F.; GUIMARÃES, M.F. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.3, 2006. p. 493-501.

CARVALHO FILHO, A. Alterações em Latossolo Vermelho e na Cultura da Soja em Função de Sistemas de Preparo. Jaboticabal: UNESP, 2004. 77p. Tese de Doutorado.

CARVALHO, G. J., CARVALHO, M. P., FREDDI, O. S., MARTINS M. V. Correlação da produtividade do feijão com a resistência à penetração do solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, 2006. p. 765–771.

CARVALHO, M.A.C.; SORATTO, R.P.; ATHAYDE, M.L.F.; ARF, O.; EUSTÁQUIO DE SÁ, M. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.1, 2004. p. 47-53.

CASTRO, O. M.; VIEIRA, S. R.; MARIA, I.C. Sistema de preparo do solo e disponibilidade de água. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, 1987, Campinas. **Anais**. Campinas: Fundação Cargil, 1987. p. 27-51.

CHAN, K.Y.; ROBERTS, W.P.; HEEMAN, O.F. Organic carbon and associated soil properties of a red earth after 10 years of rotation under different stubble and tillage practices. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.30, 1992. p. 71-83.

CINTRA, F.L.D.; MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies vegetais para recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, 1983. p. 323-327.

CORRÊA, J.C. Efeito de métodos de cultivo em algumas propriedades físicas em um Latossolo Amarelo muito argiloso do Estado do Amazonas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.11, 1985. p. 1317-1322.

CORRÊA, J.C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência - MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.2, 2002. p. 203-9.

CORSINI, P.C; FERRAUDO A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em latossolo roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.2, 1999. p. 289-298.

COSTA, E.A.; GOEDERT, W. J.; SOUSA, D.M.G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.7, 2006. p. 1185-1191.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.27, 2003. p. 527-535.

CUNHA, J.P.A.R.; VIEIRA, L.B.; MAGALHÃES, A.C. Resistência Mecânica do Solo à Penetração Sob Diferentes Densidades e Teores de Água. **Engenharia na Agricultura**, v.10, n.1-4, 2002.

DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil struture. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 11, 1988. p. 199-238.

DÍAZ-ZORITA, M. Effect of deep-tillage and nitrogen fertization interactions on dryland corn (*Zea mays* L.) productivity. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 54, 2000. p. 11-19.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. **Manejo da acidez dos solos de cerrado e de várzea do Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 42p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 92).

FANCELLI, A.L.; FAVARIN, J.L. Desempenho da cultura do milho em plantio direto e convencional. In: FANCELLI, A.L. (Coord.). **Plantio direto no Estado de São Paulo**. Piracicaba: Esalq, 1989. p.174-175.

FERRERAS, L.A. et al. Parâmetros físicos del suelo em condiciones no perturbadas y bajo laboreo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.1, 2001. p. 161-170.

FOLLE, S.M.; SEIXAS, J.M. Mecanização agrícola. In:GOEDERT, W.J. (Ed). **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: NOBEL/EMBRAPA CPAC, 1986, p.385-408.

FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C. & LIMA, S.L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, 2003. p. 947-953.

FOLONI, J.S.S.; LIMA, S.L.; BULL, L.T. Crescimento Aéreo e Radicular da Soja e de Plantas de Cobertura em Camadas Compactadas de Solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, 2006. p. 49-57.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J.L. **Manual da cultura de arroz**. Jaboticabal: Funep, 1993. 221 p.

FORSYTHE, W.M. & HUERTAS, A. Effect of soil penetration resistance on the growth and yield of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) 27-R variety. **Turrialba**, v.29, 1979. p. 293-298.

FREDDI, O. S., CARVALHO, M. P., JÚNIOR, V. V., CARVALHO, G.J. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, 2006. p. 113-121.

FREITAS, P.L. Manejo físico do solo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, 1., 1990, Goiânia. **Anais**. Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 117-139.

FREITAS, P.L., de. Aspectos físicos e biológicos do solo. In: LANDERS, J.N. (Ed). **Experiências de plantio direto no Cerrado**. Goiânia: APDC, 1994. p.199-213.

GONÇALVES, C.N., CERETTA, C.A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa (MG), v.23, n.2, 1999. p. 307-313.

GONÇALVES, W.G.; GIMENEZ, R.L.; ARAÚJO FULHO, J.V.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; PIREZ, F.R. Sistema radicular de plantas de cobertura sob compactação do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1. 2006. p. 67-75.

GREGORY, P.J. Crecimiento y funcionamiento de las raíces. In: WILD, A. (Coord.). **Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russel**. Madrid: Mundi-Prensa, 1992. p.121-175.

HAMBLIN, A.P. The effect of tillage on soil physical properties. In: CORNISIÉ, P.S.; PRATLEY, J.E. (Eds.). **Tillage – New Directions in Australian Agriculture**. Melbourne: Australian Society of Agronomy, 1987. p. 128-170.

HATANO, R.; IWANAGA, K.; OKAJIMA, H.; SAKUMA, T. Relationship between the distribution of soil macropores and root elongation. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 34, n. 4, 1988. p. 535-546.

HERNANI, L.C.; SALTON, J.C. Milho: informações técnicas. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste. **Manejo e conservação de solos**. Dourados: EMBRAPA/CPAO, 1997. p.39-67. (Circular técnica, 05).

HILL, R.L. Long term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.54, 1990. p. 161-166.

HOLLAND, J.M. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.103, 2004. p. 1-25.

IGUE, K. **Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos nas propriedades do solo**. In: ADUBAÇÃO VERDE NO BRASIL. Campinas: Fundação Cargill, 1984. p.232-267.

INFORZATO, R.; MIYASAKA, S. Sistema radicular do feijoeiro em dois tipos de solo do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v.22, 1963. p. 477-481.

ISMAIL, I.; BLEVINS, R.L.; FRYE, W.W. Long-term no-tillage effects on soil properties and continuous corn yields. **Soil Science American Journal**, Madison, v.58, n.1, 1994. p. 193-198.

JOHNSON, J.F.; VOORHEES, W.B.; NELSON, W.W.; RANDALL, G.W. Soybean growth and yield as affected by surface and compaction. **Agronomy Journal**, v.82, 1990. p. 973-979.

KLEIN, V.A., LIBARDI, P.L. Armazenagem de água no solo e resistência à penetração. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12. 1998. Fortaleza/Ceará. **Resumos expandidos**. Sociedade Brasileira Ciências do Solo. Universidade Federal do Ceará. 1998. p.163-164.

KLUTHCOUSKI, J. et al. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.1, 2000. p. 97-104.

KNABEL, D.E.; HERRON, J.W. Response of vegetable crops to nitrogen rates in tillage systems with and without vetch and ryegrass. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, Alexandria, v.111, n.4, 1986. p. 502-507.

KOPPI, A.J.; DOUGLAS, J.T. A rapid inexpensive and quantitative procedure for assessing soil structure with respect to cropping. **Soil Use Management**, v.7, 1991. p. 52-56.

KRZIC, M.; FORTIN, M.C.; BOMKE, A.A. Short-term responses of soil physical proprieties to corn tillage-planting systems in a humid maritime climate. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 54, 2000. p. 171-178.

LAL, R. Conservation tillage for sustainable agriculture: tropics versus temperate environments. **Advances in Agronomy**, v.42, 1989. p. 85-97.

LAL, R. Soil surface management in the tropics for intensive land use and high and sustained production. **Advances in Soil Sciences**, v.5, 1986. p. 100-109.

LAL, R. Tillage effects on soil degradation, soil resilience, soil quality, an sustainability. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 27, 1993. p. 1-8.

LAL, R.; PIRCE, F. J. The vanishing resource. In: LAL, R.; PIRCE, F. J. (Ed.). **Soil managment for sustainability**. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 1991. p. 1-5.

LANÇAS, K.P., BENEZ, S.H., FURLANI Jr, J.A., GAMERO, C.A., ANTUNIASSI, U.R. Subsolador: desgaste em função da sua dureza superficial. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 19., Piracicaba, SP. 1990. **Anais**. Piracicaba, SP. 1990. p. 801-809.

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

LOPES, A. S.; PAVANI, L.C.; CORÁ, J. E.; ZANINI,J.R.; MIRANDA, H.A. Manejo da irrigação (tensiometria e balanço hídrico climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistemas de cultivo direto e convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.89-100, 2004.

MACHADO, A.L.T., TREIN, C.R., BICA, A.V.D., BOENI, M. Desenvolvimento e aplicação de um penetrógrafo eletrônico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28, A Engenharia Agrícola – TENDÊNCIAS E INOVAÇÕES. 1999, Pelotas, RS, **Anais...** Pelotas/RS, (CD ROM). 1999.

MANFRON, P.A.; BACCHI, O.O.S.; DOURADO NETO, D.; PEREIRA, A.R.; MEDEIROS, S.L.P.; PILAU, F.G. Modelo da profundidade efetiva do sistema radicular na cultura de milho em função de graus-dia acumulados. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 2, 2003. p. 327-332.

MANTOVANI, E.C. Compactação do solo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.13(147), 1987. p. 52-55.

MATERECHERA, S.A.; ALSTON, A.M.; KIRBY, J.M.; DEXTER, A.R. Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. **Plant and Soil**, v.144, 1992. p. 297-303.

MEROTTO, A. & MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, 1999. p. 197-202.

MIELNICZUK, J.; CARPENEDO, V.; PEDO, F. Desenvolvimento de raízes em solos compactados. **Lavoura Arrozeira**, v.38, 1985. p. 42-43.

MOREIRA, H.J.C. **SAACI – Sistema agroclimatológico para o acompanhamento das culturas irrigadas**: manual prático para o manejo da irrigação. Brasília: Secretária Nacional de Irrigação, p.86, 1993.

MÜLLER, M.M.L.; CECCON, G. & ROSOLEM, C.A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.25, 2001. p. 531-538.

MULLINS, C.A.; STRAW, R.A. Production of snap beans as affected by soil tillage method and row spacing. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, Alexandria, v.113, n.5, 1988. p. 667-669.

MULLINS, C.A.; TOMPKINS, F.D.; PARKS, W.L. Effects of tillage methods on soil nutrient distribution, plant nutrient absorption, stand, and yield of snap beans and lima beans. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, Alexandria, v.105, 1980. p. 591-593.

NEVES, C.S.V.J.; FELLER, C.; GUIMARÃES, M.F.; MEDINA, C.C.; TAVARES FILHO, J.; FORTIER, M. Soil bulk density and porosity of homogeneous morphological units identified by the cropping profile method in clayey oxisols in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.71, 2003. p. 109-119.

NOVAK, L.R., MANTOVANI, E.C., MARTYN, P.J., FERNANDES, B. Efeito do tráfego de trator e da pressão contato pneu/solo na compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro álico, em dois níveis de umidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, 1992. p. 1587-1595.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, 2004. p. 327-336.

PASSIOURA, J.B. Soil structure and plant growth. *Austr. J. Soil Res.*, v.29, 1991. p. 717-728.

PAULETTI, V.; LIMA, M.R.; BARCIK, C.; BITTENCOURT, A. Rendimento de grãos de milho e soja em uma sucessão cultural de oito anos sob diferentes sistemas de manejo de solo e de culturas. **Ciência Rural**, v. 33, n. 3, 2003. p. 491-495.

PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S.; NACHTIGALL, G.R. Produtividade do arroz irrigado em sistemas de cultivo contínuo e em rotação com soja e milho. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 18., Porto Alegre, 1989. Anais. Porto Alegre, IRGA, 1989. p. 150-160.

PEDROSO, P.A.C.; CORSINI, P.C. Manejo físico do solo. In: FERREIRA, M.E., YAMADA, T.; MALAVOLTA, E. **Cultura do arroz de sequeiro**: fatores afetando a produtividade. Piracicaba: Associação Brasileira para a pesquisa da potassa e do fosfato, 1983. p. 225-238.

PEDROTTI, A., VAHL, L.C., PAULETTO, E.A. Níveis de compactação do planossolo e o desenvolvimento radicular de algumas culturas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12. 1998. Fortaleza/Ceará. **Resumos expandidos**. Sociedade Brasileira Ciências do Solo. Universidade Federal do Ceará. 1998. p. 89-90.

PICCININ, J.L.; ESPÍNDOLA, C.R.; TORRES, E. Condições morfoestruturais e estabilidade dos agregados do solo sob sistemas de semeadura direta e preparo convencional. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13., 2000, Ilhéus. **Anais**. Ilhéus: Ceplac, Cepec, v.1, 2000. p. 246-247.

POSSAMAI, J.M.; SOUZA, C.M.; GALVÃO, J.C.C. Sistemas de preparo do solo para o cultivo do milho safrinha. **Bragantia**, v.60, 2001. p. 79-82.

QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; NOGUEIRA, S.S.S.; MIRANDA, M.A.C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, 2000. p. 929-938.

REEVES, D.W. Soil management under no-tillage: soil physical aspects. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1., 1995, Passo Fundo. **Resumos**. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1995. p. 127-130.

REICHARDT, K. **A Água em Sistemas Agrícolas**. Barueri, SP: Manole, 1990.

RESENDE, M.; FRANÇA, G.E.; ALBUQUERQUE, P.E.P.; ALVES, V.M.C. Estimativa do desenvolvimento radicular do milho irrigado em dois tipos de solo. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO 18., 1990, Vitória. **Resumos...** Vitória: Emcapa, 1990. p.133.

RHOADS, F.M.; BENNETT. Corn. In: STEWART, B.A. & NIELSEN, D.R., co-ed, Irrigation of Agricultural Crops. **American Society of Agronomy**, Madison. 1990. p. 569-596.

RICHTER, D.D.; BARBAR, L.I.; HUSTON, M.A.; JAEGER, M. Effects of annual tillage on organic carbon in a fine-textured udalf: the importance of root dynamics to soil carbon storage. **Soil Sci.**, Baltimore, v.48, n.3, 1990, p. 78-83.

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

ROSOLEM, C.A. Calagem e adubação mineral. In: ARAUJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J.O. (Coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p. 353-385.

ROSOLEM, C.A.; ALMEIDA, A.C.S. & SACRAMENTO, L.V.S. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Bragantia**, v.53, 1994. p. 259-266.

ROSOLEM, C.A.; FERNANDEZ, E.M.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C.A.C. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.34, n.5, p.821-828, 1999.

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

RUSSEL, R.S. & GOSS, M.J. Physical aspects of soil fertility: the response of roots the mechanical impedance. *Nether. J.Agric. Sci.*, v.22, 1974. p. 305-318.

SAAD, A.M. **Uso do tensiômetro no controle da irrigação por pivô central**. Piracicaba, ESALQ/USP, 1991. 141 p. (Dissertação de Mestrado em Irrigação e Drenagem), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, 1991.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho Escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, 1995. p. 313-319.

SAMPAIO, G.V.; GALVÃO, J.D.; FONTES, L.A.N.; FIGUEIREDO, M. S.; CARDOSO, A.A. Efeitos de sistemas de preparo do solo sobre o consórcio milho-feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ceres**, Viçosa, v.36, 1989. p. 465-482.

SECCO, D. **Estados de compactação de dois Latossolos sob plantio direto e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2003. 108p. (Tese de Doutorado).

SECCO, D. et al. Efeito de sistemas de manejo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-escuro. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 1., 1996. Lages. **Resumo expandido...** Lages: SBCS, 1996. p.127-128.

SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; ROS, C.O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, 2004. p. 797-804.

SÉGUY, L.; BOUZINAC, S. Direct seeding on plant covers: sustainable cultivation of our planet's soils. In: CONGRESS ON CONSERVATION AGRICULTURE: A WORLDWIDE CHALLENGE, 1., 2001, Madri. **Proceedings...** Madri: FAO/ECAI, v.1, 2001. p. 85-92.

SEGUY, L.; KLUTHCOUSKI, J.; SILVA, J.G.; BLUMENSCHIN, F.N.; DALL'ACQUA, F.M. **Técnicas de preparo do solo**: efeitos na fertilidade e na conservação do solo, nas ervas daninhas e na conservação de água. Goiânia: Embrapa-CNPAF, 1984. 26p.

SEIXAS, J.; ROLOFF, G.; RALISCH, R. Tráfego de máquinas e enraizamento do milho em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.4, 2005. p. 794-798.

SHIERLAW, J.; ALSTON, A.M. Effect of soil compaction on root growth and uptake of phosphorus. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.77, 1984. p. 15-28.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. Intervalo hídrico ótimo. In: MORAES, M. H.; MÜLLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. **Qualidade física do solo**: métodos de estudo-sistemas de preparo e manejo do solo. Jaboticabal: Funep, 2002. p. 1-18.

SILVA, A.P., LIBARDI, P.L., CAMARGO, O.A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, 1986. p. 91-95.

SILVA, A.S. & SILVA, I.F. Produtividade do milho influenciada pela eficiência do uso da água em sistemas de manejo. In: 3º Simpósio Brasileiro de Captação de Água de Chuva no Semi-Árido. III, 2001, Campina Grande. **CD ROM...** Campina Grande: 14-20p. 2001.

SILVA, L.M.; LEMOS, L.B.; CRUSCIOL, C.A.C.; FELTRAN, J.C. Sistema radicular de cultivares de feijão em resposta à calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.7, 2004. p. 701-707.

SILVA, M.A.S.; MAFRA, A.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER C., MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, 2005. p. 544-552.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, v.30, 2000. p. 795-801.

SILVEIRA NETO, A. N., SILVEIRA, P. M., STONE, L. F., OLIVEIRA, L. F. C. Efeito de manejo e rotação de culturas em atributos físicos do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.36, n.1, 2006. p. 29-35.

SILVEIRA, P. M., ZIMMERMANN, F. J. P., AMARAL A. M. Efeito da sucessão de cultura e do preparo do solo sobre o rendimento do arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.6, p. 885-890, 1998.

SILVEIRA, P.M.; SILVA, O.F.; STONE, L.F.; SILVA, J.G. Efeitos do preparo do solo, plantio direto e de rotações de culturas sobre o rendimento e a economicidade do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n. 2, 2001. p. 257-263.

SIQUEIRA, N. de S. **Efeitos de sistemas de preparo do solo sobre a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e sobre algumas propriedades físicas e químicas do solo**. Viçosa: UFV, 1989. 106p. Tese de Mestrado.

SKARPHOL, B.J.; COREY, K.A. Response of snap beans to tillage and cover crop combinations. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, Alexandria, v.112, 1987. p. 936-941.

SOANE, B.D. & OUWERKERK, C. van. Soil compaction problems in world agriculture. In: SOANE, B.D. & OUWERKERK, C. van, eds. *Soil compaction in crop production*. Netherlands, Elsevier, p.01-21. 1994.

SOANE, B.D.; BALL, B.C. Review of management and conduct of long-term tillage studies with special reference to a 25 years experiment on barley in Scotland. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.45, n.1, 1998. p. 17-37.

STONE, L. F. **Efeito de lâminas de irrigação e preparo do solo na resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. 24p.

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

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

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.3, 2001. p. 473-481.

STONE, L.F; MOREIRA, J.A. Resposta de duas cultivares de feijão a diferentes lâminas de irrigação, sob diferentes preparos de solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. **Resumos expandidos**. Viçosa:SBCS/UFV, 1995. p. 1743-1475.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; GUIMARÃES, M.F.; FONSECA, I.C.B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*-L.) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.25, 2001. p. 725-730.

TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M.F.; MEDINA, C.C.; BALBINO, L.C.; NEVES, C.S.V.J. Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, 1999. p. 393-399.

TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M.F.; MEDINA, C.C.; BALBINO, L.C.; NEVES, C.S.V.J. Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, 1999. p. 393-399.

TAYLOR, D.; ARKIN, G.F. Root zone modification fundamentals and alternatives. In: TAYLOR, H.M.; ARKIN, G.F. (Eds.). **Modifying the root environment to reduce crop stress**. St. Joseph : ASAE, 1981. p. 3-16.

TAYLOR, H.M.; BRAR, G.S. Effect of soil compaction on root development. **Soil and Tillage Research**, v.19, 1991. p. 111-119.

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, 1996. p. 333-339.

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, 1998. p. 573-581.

TORRES, E.; SARAIVA, O.F. **Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Embrapa-CNPSO, 1999. 58p. (Embrapa-CNPSO. Circular técnica, 23).

UNGER, P.W.; CASSEL, D.K. Tillage implement disturbance effects on soil properties related to soil and water conservation: a literature review. **Soil Tillage Research**, v.19, 1991. p. 363-382.

URCHEI, M.A. **Efeitos do plantio direto e do preparo convencional sobre alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso e no crescimento e produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob irrigação**. Botucatu: UNESP, 1996. 150p. Tese de Doutorado.

VEPRASKAS, M.J. Plant response mechanisms to soil compaction. In: WILKINSON, R.E. **Plant environment interactions**. New York: M. Dekker, 1994. p. 263-287.

VIEIRA, M.J. O preparo do solo e o comportamento da planta. **Plantio Direto**, Ponta Grossa, v.1, n.5, 1984. p. 4-5.

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

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

WUTKE, E.B.; ARRUDA, F.B.; FANCELLI, A.L.; PEREIRA, J.C.V.N.A.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; AMBROSANO, G.M.B. Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.3, 2000. p. 621-33.

YUSUF, R.I.; SIEMENS, J.C.; BULLOCK, D.G. Growth analysis of soybean under no-tillage and conventional tillage systems. **Agronomy Journal**, Madison, v.91, n.6, 1999. p. 928-933.

ZAFFARONI, E., BARROS, H.H.A., NÓBREGA, J.A.M., LACERDA, J.T., SOUZA Jr., V.E. Efeito de métodos de preparo do solo na produtividade e outras características agronômicas de milho e feijão no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.1, 1991. p.99-104.