



**UNIVERSIDADE REGIONAL  
INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E  
DAS MISSÕES DEPARTAMENTO DE  
CIÊNCIAS AGRÁRIAS CURSO DE  
ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**Marco Antônio Fochi**

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO PARA  
SEMEADURA DA CULTURA DA SOJA**

**Erechim-RS**

**2013**

**Marco Antônio Fochi**

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO PARA  
SEMEADURA DA CULTURA DA SOJA**

Relatório de trabalho de conclusão de curso, apresentado à Disciplina de Trabalho de Graduação, como parte das exigências para conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Agrícola e obtenção do título de Engenheiro Agrícola.

Prof. Marcos Antonio Zambillo Palma

**Erechim-RS**

**2013**

**Marco Antônio Fochi**

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO PARA  
SEMEADURA DA CULTURA DA SOJA**

Relatório de trabalho de conclusão de curso, apresentado à Disciplina de Trabalho de Graduação, como parte das exigências para conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Agrícola e obtenção do título de Engenheiro Agrícola.

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Banca Examinadora:

\_\_\_\_\_  
Prof. Msc Leandro de Melo Pinto

URI-Erechim

\_\_\_\_\_  
Profa. Dr Raquel Paula Lorensi

URI-Erechim

\_\_\_\_\_  
Prof. Msc Marcos Antonio Zambillo Palma

URI-Erechim

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	5
1.1 OBJETIVO GERAL.....	7
1.1.1 Objetivos Específicos.....	7
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	8
2.1 SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO .....	9
2.1.1 Preparo Convencional .....	9
2.1.2 Cultivo Mínimo .....	9
2.1.3 Sistema de Semeadura Direta.....	10
2.2 PARÂMETROS FÍSICOS DO SOLO .....	12
2.2.1 Densidade do solo .....	12
2.2.2 Porosidade do Solo.....	12
2.2.3 Resistência do solo à penetração.....	13
2.2.4 Condutividade hidráulica saturada.....	14
2.3 ALTERAÇÕES NA ESTRUTURA DO SOLO .....	15
2.3.1 Água no solo .....	16
2.3.2 Determinação da água no solo .....	17
2.3.3 Geometria porosa do solo.....	17
2.3.4 Rugosidade Superficial .....	18
2.3.5 Cobertura da superfície do solo.....	18
2.3.6 Influencia do manejo do solo na infiltração.....	19
<b>3 MATERIAL E METODOS</b> .....	21
<b>4 RESULTADOS E DISCUSÃO</b> .....	25
<b>5 CRONOGRAMA</b> .....	28
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	29
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	30

## 1 INTRODUÇÃO

O plantio convencional, é usado na abertura de novas áreas e em outras que estavam estabelecidas com pastagens. Entre os pequenos produtores, ainda utiliza-se o sistema convencional, embora, seja crescente a adoção da semeadura direta.

Segundo dados da CONAB (2013), estimasse que o Brasil destinou, no ano agrícola 2011/2012, 50,86 milhões de hectares a implantação de culturas, sendo a semeadura direta o sistema mais empregado, principalmente nas grandes áreas. Segundo Mazurana et al., (2011), a introdução e intensificação no uso do sistema de semeadura direta no Brasil nas últimas décadas desenharam um novo cenário na agricultura brasileira, aumentando a preocupação com as características físicas dos solos. Dentre as principais Klein et al. (2010), afirma que a estrutura é um dos mais importantes fatores já que exerce influência direta na retenção de água no solo.

Com o avanço do Sistema de Semeadura Direta (SSD) deixou-se de realizar-se o preparo convencional do solo que visa o preparo da terra para semeadura, a incorporação de calcário e a eliminação das plantas infestantes, porem quando mal executado, provoca uma desestruturação da camada superficial do solo, deixando-o suscetível a ação erosiva, além de ser uma das principais causas da degradação física dos solos, pois ocorre a oxidação da matéria orgânica, importante na estruturação e fertilidade dos solos tropicais.

No SSD o solo é revolvido somente na linha de semeadura, utilizando equipamentos adequados para tal processo. A manutenção da palha na superfície do solo e a utilização de rotação de culturas somam-se ao mínimo revolvimento do solo constituindo as premissas básicas do sistema. Quando essas não são atendidas, o desenvolvimento da lavoura pode ser comprometido, pois são essenciais para uma longevidade do sistema.

Com o uso do SSD tem-se um aumento da compactação principalmente na camada superficial, porem efeitos mais severos tem sido constatado quando o solo é cultivado sob sucessão de culturas. Em sistemas onde ocorre a rotação de culturas com o uso de plantas de cobertura como o nabo-forrageiro que tem grande poder de descompactação de solo, devido ao seu sistema radicular, tem-se notado uma melhora nas propriedades físicas do solo.

Define-se como compactação de um solo, a perda de sua porosidade através do adensamento de suas partículas. Na construção civil a compactação do solo é

fator importante nas construções de estradas e edificações para dar sustentabilidade às obras, porém na agricultura é fator limitante de produtividade, pois influencia negativamente no crescimento de raízes, fazendo com que a planta tenha sérios problemas em seu desenvolvimento.

A compactação do solo se dá pela influência do trânsito de máquinas agrícolas, que com a evolução da mecanização, cada vez ficam mais robustas exercendo maior pressão sobre o solo ou também pelo pisoteio de animais, como o gado quando se utiliza em alguma época do ano o solo para a formação de pastagens. A compactação diminui a movimentação de água pelo solo, pois cria uma camada muito densa de solo, onde a água não se infiltra, ocasionando excesso de água no solo nas camadas superficiais, podendo provocar erosão.

Em solos compactados também diminui a capacidade de armazenamento de água, causando sérios problemas em épocas que ocorrem estiagem. A infiltração de água no solo é definida pela passagem da água através da superfície do solo, ela é importante para o crescimento da vegetação, para o abastecimento dos aquíferos, para armazenar a água que mantém o fluxo dos rios, para reduzir o escoamento superficial, reduzir as cheias e diminuir a erosão.

Outro problema em estiagens, é que devido a compactação o desenvolvimento radicular da cultura fica deficiente, pois o crescimento radicular ocorre nos pontos de menor resistência provocando restrição no seu crescimento, aumento do diâmetro e diminuição do seu comprimento, deixando-as tortuosas, as quais não terão capacidade de buscar água em camadas mais profundas em épocas de estiagem.

Consequentemente, tem crescido o interesse em avaliar a qualidade do solo submetido a diferentes manejos e mais recentemente, a qualidade do solo nos diferentes manejos dentro do SSD, bem como sua evolução. Porém, quantificar a qualidade do solo não é tarefa fácil, pois ela depende de suas propriedades intrínsecas de suas interações com o ecossistema e, ainda, de prioridades de uso, influenciadas inclusive, por aspectos socioeconômicos e políticos.

Devido a todos os problemas enfrentados o agricultor se vê obrigado a interromper o ciclo de plantio sem mobilização do solo, sendo então recomendado o rompimento das camadas compactadas que passam a influir significativamente no crescimento das raízes, infiltração e capilaridade da água, absorção de nutrientes e troca catiônica e, finalmente, na produtividade das culturas.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho teve por objetivo avaliar os diferentes sistemas de cultivo com a cultura da soja.

### 1.1.1 Objetivos Específicos

1.1.1.1 Avaliar a resistência do solo a penetração;

1.1.1.2 Comparar o sistema radicular das plantas submetidas a diferentes sistemas de cultivo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os solos agrícolas das regiões subtropicais e tropicais, por estarem expostos a condições climáticas intensas, precisam de proteção contínua. A movimentação do solo e sua exposição direta à ação do clima resultam em erosão, redução dos teores de matéria orgânica e perda de nutrientes, o que leva à degradação do solo e conseqüente queda na produtividade agrícola (CALEGARI et al., 1993).

Um dos maiores avanços no processo produtivo da agricultura brasileira foi a introdução do sistema de semeadura direta (SSD) no sul do Brasil, a partir do início da década de 1970. Seu objetivo básico inicial foi controlar a erosão hídrica. O desenvolvimento desse sistema só se tornou possível graças a um trabalho conjugado de agricultores, pesquisadores, fabricantes de semeadoras, e técnicos interessados em reverter o processo acelerado de degradação do solo e da água verificado em nosso país (LOPES et al., 2004).

Com o passar dos anos da utilização do SSD em solos brasileiros, que muitas vezes é realizado de forma incorreta, cresce a preocupação com a compactação que é um dos principais processos de degradação dos solos agrícolas e se expressa pelo aumento da densidade do solo e pela redução do seu espaço poroso em resposta a um histórico de cargas ou pressões exercidas na sua superfície especialmente em elevada umidade. O principal problema resultante da compactação é redução da taxa de infiltração de água no solo o que aumenta o escoamento superficial limitando a disponibilidade de água para as plantas.

Para entender as mudanças nas lavouras sob plantio direto, é necessário compreender as relações entre o solo, a água, a planta, a fauna e a flora, de tal maneira que o homem possa obter vantagem econômica dessas interações, causando o menor impacto possível sobre os recursos naturais (OLIVEIRA, 2004). A partir do exposto, torna-se necessário agrupar informações sobre os benefícios proporcionados pelo sistema de plantio direto comparado com os demais sistemas de cultivo.



## 2.1 SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO

### 2.1.1 Preparo Convencional

O preparo convencional do solo pode ser definido como o revolvimento de camadas superficiais para reduzir a compactação, incorporar corretivos e fertilizantes, aumentar os espaços porosos e, com isso, elevar a permeabilidade e o armazenamento de ar e água (SANTIAGO; ROSSETTO, 2007b). O revolvimento do solo promove o corte e o enterrio das plantas daninhas e auxilia no controle de pragas e patógenos do solo e, além disso, esse processo facilita o crescimento das raízes das plantas.

Dessa forma o preparo convencional do solo, é realizado, basicamente, com aração e gradagens, cujo arado efetua o corte, elevação, inversão e queda, com um efeito de esboroamento de fatias de solo denominadas de leivas. A grade complementa esse trabalho, diminuindo o tamanho dos torrões na superfície, além de nivelar o terreno. Entretanto, tal prática pode acarretar sérios problemas com o passar dos anos (GABRIEL FILHO et al., 2000).

Ao se revolver o solo, ocorre alteração da agregação, dispersando as argilas, que retém a maior parte dos nutrientes necessários às plantas, facilitando o seu arraste pela ação da chuva e do vento, causando erosão (WÜRSCHÉ; DENARDIN, 1980).

### 2.1.2 Cultivo Mínimo

Segundo Embrapa Centro de Pesquisa de Arroz e Feijão (2005) o cultivo mínimo consiste no revolvimento mínimo do solo e na manutenção dos resíduos vegetais, realizando-se escarificações e gradagens leves. Dentre as vantagens de se implantar o cultivo mínimo, Amaral, Sobrinho e Mazur, (2005), citam redução da erosão, evita a degradação do solo e melhora a produtividade das culturas. Além dessas vantagens, Santiago e Rossetto (2007a) relatam a redução do uso de máquinas em relação ao sistema de preparo do solo convencional, o controle de plantas daninhas, como a tiririca (*Cyperus rotundus*) e a grama-seda (*Cynodon dactylon*). Porém esses autores afirmam que algumas plantas daninhas são favorecidas pelo novo sistema de cultivo, a exemplo das cordas-de-viola (*Ipomoea grandifolia*).

### 2.1.3 Sistema de Semeadura Direta

O Sistema de semeadura direto (SSD) pode ser definido como um sistema conservacionista do solo, em que a colocação da semente é realizada em sulco ou cova em solo não revolvido, o qual deve ter largura e profundidade suficientes para a adequada cobertura e contato das sementes com a terra. Essa técnica elimina, portanto, as operações de aração, gradagens, escarificações e outros métodos convencionais de preparo do solo (MUZILLI, 1981). Convém lembrar que existem diversos sinônimos ou termos equivalentes para plantio direto, dentre eles citamos: plantio direto na palha, sistema de semeadura direta, cultivo zero, sem preparo ou "no-tillage", cultivo reduzido e cultivo sem revolvimento (EMBRAPA CENTRO DE PESQUISA DE MILHO E SORGO, 2006).

Segundo Embrapa Centro de Pesquisa de Milho e Sorgo (2006) a semeadura direta é uma interação entre diferentes fundamentos.

O primeiro é a ausência do revolvimento do solo, que evita o selamento superficial, decorrente do impacto das gotas de chuva; conseqüentemente reduz-se o escoamento superficial e aumentasse a infiltração, reduzindo drasticamente a erosão. Há maior manutenção da estabilidade de agregados, melhorando a estrutura do solo, evitando compactação subsuperficial. Reduz-se as perdas de água por evaporação, aumentando a disponibilidade de água para as plantas, a atividade biológica e a manutenção da matéria orgânica do solo.

O segundo fundamento refere-se à formação e manutenção da cobertura morta. Como vantagem dessa cobertura tem-se a proteção contra o impacto das gotas de chuva, reduzindo o escoamento superficial, o transporte de sedimentos e, conseqüentemente, a erosão. Atua ainda na proteção do solo contra o efeito dos raios solares, reduzindo a evaporação, a temperatura e a amplitude térmica do solo, e contra a ação de ventos. Com a sua decomposição, incorpora matéria orgânica ao solo, necessária a uma maior e mais rica atividade microbiana, o que permite maior reciclagem de nutrientes. Além disso, auxilia no controle de plantas daninhas, pela supressão ou efeito alelopático.

Em terceiro lugar, a rotação de culturas consiste em uma combinação de espécies em diferentes anos agrícolas com diferentes exigências nutricionais, velocidade de decomposição, produção de fitomassa e sistema radicular tornam o

sistema mais eficiente, além de facilitar o controle integrado de pragas, doenças e plantas daninhas. Para o sucesso da semeadura direta, um fator muito importante é o aporte de material orgânico e cobertura vegetal.

Em solo compactado, o sistema radicular das plantas se concentra próximo da superfície, tornando as plantas mais susceptíveis a déficits hídricos e com menor eficiência em absorver os nutrientes (Rosolem et al., 1994). Na região do planalto, no Rio Grande do Sul, onde predominam Latossolos de textura muito argilosa, Michelon (2005) observou, em estudo exploratório das condições físicas em sistema de semeadura direta (SD) sob pivô central, que 66,5 % das áreas avaliadas apresentavam compactação. Um mau controle de manejo de vegetação e do solo leva a modificações em sua estrutura levando a compactação, modificando a densidade, afetando a porosidade, o armazenamento e a disponibilidade de água às plantas, interferindo na capacidade de infiltração e no desenvolvimento radicular da vegetação.

A escarificação mecânica tem sido sugerida para aliviar a compactação do solo em áreas de Plantio Direto consolidado, pois reduz a densidade do solo e melhora a condutividade hidráulica e a taxa de infiltração de água. No entanto, o seu efeito é temporário e o solo escarificado tende a se reconsolidar, retornando em pouco tempo à sua condição original (BUSSCHER, BAUER, E FREDERICK, 2002), exigindo a repetição da operação regularmente. Segundo Secco & Reinert (1997) em estudos, observaram que o efeito residual da escarificação em um Latossolo de textura muito argilosa do Rio Grande do Sul (RS) não foi superior a 10 meses.

É de grande interesse avaliar a qualidade do solo submetido a diferentes manejos e recentemente a qualidade do solo submetido a diferentes manejos dentro do SPD, bem como sua evolução. Porém, é um trabalho muito difícil, pois ela depende de suas propriedades intrínsecas, de suas interações com o ecossistema e, ainda, de propriedades de uso, influenciadas, por aspectos socioeconômicos e políticos. O cuidado do solo, especialmente em relação à erosão, é um pré-requisito à sobrevivência das espécies vivas da terra. Dai a importância de se estudar e monitorar a qualidade do solo para mantê-lo permanentemente produtivo e sem degradação (BRADY e WEIL, 2002; COGO e LEVIEN, 2002).

Para avaliar o grau de compactação, necessita-se conhecer a densidade do solo, a resistência à penetração, a macroporosidade, a infiltração de água e a, mais recentemente, a pressão de préconsolidação (PACHECO E CANTALICE, 2011). Os

valores de densidade crítica são variáveis em função das características do solo (TORMENA, SILVA e LIBARDI, et al., 1998). Assim, especificamente para Latossolos, os valores de densidade crítica podem variar de  $1,21 \text{ Mg m}^{-3}$  para um teor de argila de  $750 \text{ g kg}^{-1}$  (DE MARIA, CASTRO, e SOUZA DIAS et al., 1999) a  $1,68 \text{ Mg m}^{-3}$  para um teor de  $271 \text{ g kg}^{-1}$  (BEUTLER & CENTURION, 2004).

## 2.2 PARÂMETROS FÍSICOS DO SOLO

### 2.2.1 Densidade do solo

A densidade do solo possibilita a avaliação de sua estrutura, pois é a relação entre a massa de uma amostra de terra seca e o seu volume na condição natural (sem destruir sua estrutura). Assim, quanto menor a densidade, maior a estruturação do solo. Possui uma grande amplitude de variação, principalmente devido à granulometria do solo, à profundidade e ao manejo adotado.

As pressões exercidas pelas máquinas e implementos podem causar um rearranjo dos componentes sólidos do solo, desestruturando e compactando-o, diminuindo sua porosidade. Deste modo, verifica-se, com o tempo, maior densidade do solo sob manejos agrícolas em relação ao encontrado em condições naturais (ARAUJO, TORMENA e SILVA, 2004). Nessa modificação estrutural, a macroporosidade do solo é a mais facilmente afetada pelo manejo, pois os agregados grandes, que compõem poros maiores, são destruídos mais facilmente que agregados menores (BARBER et al., 1996) .

### 2.2.2 Porosidade do Solo

A porosidade total diz respeito ao volume de espaços ocupados por fluídos (gases e líquidos) no solo. A distribuição desses espaços em classes de tamanho influencia diretamente o armazenamento de água, a disponibilidade de nutrientes e o transporte da solução e do ar no solo. A quantidade de macroporos ou porosidade de aeração destaca-se como uma das propriedades mais importantes em relação ao desempenho dos sistemas de manejo sobre a produtividade das culturas. (VOMOCIL e FLOCKER, 1961) consideram que valores de macroporos inferiores a  $0,10 \text{ m}^3$  constituem limitação ao crescimento radicular.

A porosidade do solo é a fração volumétrica ocupada com ar e água, representando o local onde circulam a solução (água e nutrientes) e o ar. Portanto, é o espaço onde ocorrem os processos dinâmicos do ar e solução do solo (Hillel, 1970). A distribuição do diâmetro dos poros condiciona o comportamento físico-hídrico. O estudo da porosidade é uma das metodologias indicadas para caracterizar e quantificar essas propriedades do solo.

A porosidade do solo é originária do arranjo aleatório das partículas sólidas. Considerando-se que todas as partículas do solo sejam esféricas, pode-se provar que, independente do tamanho das esferas e do seu arranjo, o volume do espaço poroso será sempre em torno de 50%.

### **2.2.3 Resistência do solo à penetração**

A resistência do solo à penetração (RP) é a relação entre a força exercida para a penetração no solo, de uma haste provida de um cone metálico numa extremidade, do qual sua área basal é constante e conhecida (BRADFORD, 1980). Esta medida tem sido freqüentemente utilizada para avaliar a qualidade física do solo por ser sensível ao manejo e ter relações diretas com o crescimento radicular (FREDDI et al., 2007) e com a produtividade das plantas (BENGOUGH et al., 2001; BEUTLER et al., 2006).

O aumento da resistência do solo à penetração pode causar efeitos prejudiciais ao sistema radicular das culturas, devido à estreita relação entre porosidade do solo e o crescimento radicular, com maior crescimento de raízes onde há maior número e continuidade de macroporos. Como exemplo, pode-se citar o aumento do diâmetro das raízes na camada compactada (FREDDI et al., 2007) e a diminuição do diâmetro das raízes para penetrar pequenos poros, pois a resistência mecânica do solo estimula a proliferação de raízes laterais, que são mais finas (MATERECHERA et al., 1992).

A resistência mecânica do solo a penetração é uma das propriedades físicas do solo que influenciam diretamente no crescimento das raízes e da parte aérea das plantas (LETEY, 1985; WEAICH; BRISTOW e CASS, 1992). Vários autores utilizam a resistência do solo a penetração para a avaliação dos efeitos dos sistemas de manejo do solo sobre o ambiente radicular, destacando que essa propriedade do

solo é muito mais sensível que a densidade (BENGHOUGH e MULLINS, 1990; TORMENA e ROLOFF, 1996).

A penetrômetria é considerada um método apropriado para avaliar a resistência a penetração de raízes no solo (BENGHOUGH e MULLINS, 1990). Idealmente, a quantificação da resistência real encontrada pelas raízes deveria ser feita por métodos diretos (STOLZY e BARLEY, 1968), mas as dificuldades práticas têm levado pesquisadores a utilizar o penetrometro. A facilidade e a rapidez na obtenção dos resultados, além da possibilidade de um maior número de repetições, são as principais vantagens do uso do penetrometro. No entanto, a dependência ao conteúdo de água e a densidade do solo dificulta a interpretação dos resultados (CASSEL; BOWEN e NELSON, 1978). Além disso, os penetrômetros utilizados no campo apresentam problemas operacionais relacionados com a dificuldade em manter a velocidade de penetração constante (CAMARGO, 1983; BALASTREIRE, 1987) e com a variação do conteúdo de água no solo nas diversas camadas (CHANCELLOR, 1997). Outra limitação refere-se ao fato de que esses equipamentos não permitem obtenção da resistência em condições de baixos conteúdos de água no solo, em razão da dificuldade para a penetração, ocasionando em algumas ocasiões danos ao equipamento.

#### **2.2.4 Condutividade hidráulica saturada**

A quantificação da infiltração de água no solo é considerada de grande utilidade na diferenciação dos efeitos de sistemas de preparo na movimentação de água no perfil. Segundo Freire (1979) as variações na velocidade de infiltração estão relacionadas com atributos tais como densidade do solo, macro e microporosidade, portanto, trata-se de um processo físico de extrema complexidade, dado que o solo é um meio heterogêneo, com ampla variabilidade espacial, apresentando características que sofrem alterações diferenciadas no tempo e no espaço.

O sistema plantio direto, por revolver menos o solo e apresentar um sistema permanente de bioporos e canais formado pela meso e macrofauna e por raízes que apodrecem, permite uma melhor drenagem (BOONE, 1988). Arzeno (1990) obteve valores de condutividade hidráulica do solo saturado nos sistemas plantio direto e escarificador, cerca de duas vezes maior que no sistema de plantio convencional em Latossolo Vermelho distroférico. Wu et al. (1992), comparando diferentes sistemas

de manejo do solo, avaliando a infiltração de água no solo através de um Permeâmetro de Guelph, observaram que no sistema plantio direto os poros conduzem água mais eficientemente do que no preparo convencional. Assim, mesmo apresentando menor porosidade total, o sistema plantio direto pode apresentar condutividade hidráulica igual ou superior à do preparo convencional.

### 2.3 ALTERAÇÕES NA ESTRUTURA DO SOLO

A compactação do solo acarreta na redução do espaço poroso, principalmente dos macroporos, o que afeta as propriedades físico-hídricas. Grohmann e Queiroz Neto (1966) observaram, em laboratório, a redução pela metade do volume de macroporos em microporos por causa da compactação. Hullel(1970) afirma que para o seu bom desenvolvimento as plantas necessitam, no mínimo, entre 6 a 20% de macroporos, dependendo do tipo de solo.

Raghavan et al. (1977) afirmam que 50% da compactação do solo pode ser atribuída a tensões geradas pela patinagem das rodas de tração das máquinas agrícolas e destacam o máximo efeito de compactação ocorre com patinagens entre 15 e 25%. A taxa usual de patinagem é de 20%, portanto é a condição em que ocorre a máxima compactação.

A camada do solo onde veículos leves ocasionam a máxima compactação do solo é a superficial (0,0-0,3 m), ao passo que equipamentos pesados tendem a compactar o solo em camadas mais profundas, de 0,3 a 0,6m (RAGHAVAN; ALVO e MCKYES, 1990). No ultimo caso o problema é bem mais serio, pois para elimina-lo será necessário uma subsolagem mais profunda, com custos mais elevados em razão da maior necessidade de potência de que em preparos convencionais a profundidades menores.

Como solução para o problema da compactação realiza-se o preparo do solo buscando otimizar as condições ate uma profundidade conveniente para a boa germinação das sementes e o desenvolvimento das culturas. Segundo Gupta e Larson (1982) e Baryeh (1986) e Castro (1989), o preparo do solo pode ser definido como uma manipulação física, química ou biológica do solo com o objetivo de proporcionar temperatura, aeração e umidade adequadas, incorporação de restos culturais e fertilizantes, controle de plantas daninhas, minimização da erosão do solo, aumento da capacidade de infiltração e armazenamento de água, aquecimento

e secagem do ambiente das sementes e minimização de prejuízos decorrentes de ataques de pragas e moléstias.

A condução das operações de preparo de forma inadequada ocasiona sérios problemas de conservação do solo. Wunsche e Denardin (1982) afirmam que solos preparados comumente apresentam menor estabilidade dos agregados, aumento de densidade, alterações no espaço poroso e redução na condutividade hidráulica e gasosa.

As práticas culturais afetam a estrutura do solo, alterando a densidade e, em consequência, a porosidade, a distribuição do tamanho dos poros e a resistência a penetração. Inúmeros trabalhos avaliando a densidade do solo, em diferentes manejos, concluem que, de modo geral, o plantio direto apresenta densidade do solo mais elevada (WOORHEES, LINDSTROM, 1983; SIDIRAS; VIEIRA; ROTH, 1984; VIEIRA, 1985; KLEIN; BOLLER, 1995). Kertzmann (1996) ainda ressalta que o plantio direto em áreas irrigadas, situação em que a umidade do solo é mais elevada, os problemas de compactação são acentuados.

Por outro lado, a ação de insetos e a decomposição das raízes das plantas originam uma estrutura do solo benéfica para o desenvolvimento das plantas, mesmo com densidades mais elevadas, em razão da formação de canais ou macroporos por onde as raízes podem se desenvolver (STIEZAKER; PASSIOURA; WILMS, 1996).

### **2.3.1 Água no solo**

A presença de vida em qualquer lugar no universo esta condicionada a presença de água, que para o consumo, quer para manter condições ambientais de sobrevivência. A ação do homem, nas mais diversas formas, resulta na utilização da água para os mais diferentes fins, entre eles, o consumo, a higiene, irrigação de culturas, transporte, nas indústrias, como lazer, etc., afetando a qualidade da mesma.

Branco (1983) discute a prioridade ou importância do uso da água, destacando que é fácil definir claramente qual uso é mais importante. Entretanto, sugere como sendo prioridades básicas abastecimento público de água potável, proteção a fauna e ao meio ambiente, uso agropastoril e o uso industrial.



### 2.3.2 Determinação da água no solo

Umidade do solo a base de massa – Umidade Gravimétrica

Segundo Salassier; Soares e Mantovani (2006) a umidade do solo influencia diretamente o volume de água nele armazenado, bem como sua resistência a compactação. De maneira prática, uma amostra de solo é pesada úmida e secada em estufa (105°C) durante 24hs, pesando-a novamente, obtém-se a massa de sólidos secos.

A umidade gravimétrica é expressa pela seguinte equação:

$$U_p = \frac{(M1 - M2)}{(M2 - M3)} * 100$$

M1= Solo Úmido + Tara do Recipiente

M2= Solo Seco + Tara do Recipiente

M3= Tara do recipiente

### 2.3.3 Geometria porosa do solo

São conhecidos a ação e os efeitos da meso e da macrofauna do solo na alteração da geometria porosa do solo. É importante destacar, no entanto, que é necessária a quantificação da área que tais bioporos representam.

Edwards (1982) atribui maior infiltração de água em solo sob plantio direto pela ação da mesofauna sobre o solo abrindo os megaporos biológicos, os quais propiciam um rápido fluxo de água, bem como a função da palha (restos culturais) sobre a superfície, que evita o impacto direto da gota da água da chuva ou da irrigação sobre a superfície do solo e o encrostamento desta, reduzindo, assim, a infiltração.

Kladivko et al. (1986) estudaram o efeito da ação das minhocas sobre a capacidade de infiltração de água no solo, concluindo que a ação delas tem uma influência importante sobre a redução do encrostamento superficial e que em áreas com plantio direto a presença das minhocas é bem mais acentuada, pois os canais por elas criados interferem positivamente na infiltração da água. Por outro lado, Ehlers (1975) ressalta que a maioria dos canais não contribui significativamente para infiltração de água, por não estarem conectados com a superfície, concordando com

Ela et al. (1992), os quais ainda destacam que mesmo os canais conectados com a superfície apresentam a sua volta microrrelevo, originado pelas minhocas, o que dificulta a entrada de água neles.

Nesse sentido, Edwards (1982) afirma que, em se tratando do manejo da infiltração da água no solo, as operações de preparo do solo podem ser omitidas por destruírem a conexão dos macroporos com a superfície.

#### **2.3.4 Rugosidade Superficial**

A rugosidade da superfície do solo é um importante componente que aumenta a infiltração da água no solo, por se constituir em barreira física ao escoamento superficial da água, diminuindo o comprimento de rampa.

A criação de um microrrelevo na superfície do solo em função das operações de preparo do solo afeta o escoamento superficial da água. O índice de rugosidade superficial do solo é parâmetro mais utilizado para a quantificação dessa microtopografia e, por consequência, do armazenamento temporal de água nessas microdepressões (VAZQUEZ e MARIA, 2003).

Bertolani et al. (2000) destacam a variabilidade espacial da rugosidade superficial do solo, apontando grande dependência espacial deste parâmetro tanto em superfície simulada como em condições de campo. Por outro lado, uma rugosidade maior provocada por implementos de preparo do solo pode constituir uma desvantagem por tornar mais difíceis as operações subsequentes (Cooper, 1971).

#### **2.3.5 Cobertura da superfície do solo**

A presença de restos culturais na superfície do solo, independentemente do manejo adotado, proporciona significativa redução de perda de solo, ao passo que a perda de água é mais afetada pela forma de manejo dos resíduos do que pela porcentagem de cobertura morta sobre o solo (CARVALHO; COGO; LEVIEN., 1990). Bertol et al. (1997) relatam que um solo com 60% de cobertura promove uma redução de 80% nas perdas de solo em relação ao solo com ausência de cobertura.

De acordo com Foster (upud levien et al., 1990), a cobertura do solo é fator isolado que mais exerce influência sobre a erosão, porque resíduos culturais ou

plantas vivas impedem ou diminuem o impacto direto das gotas de chuva sobre o solo, reduzindo também a velocidade e o volume da enxurrada e causando deposição e ou filtragem dos sedimentos. Além disso, o efeito residual das culturas, subsuperficial de raízes de plantas e da incorporação de plantas e ou resíduos culturais é fator importante que pode afetar a erosão.

Segundo Chaves; Orłowski e Roloff. (1993), os repetidos impactos das gotas de chuva contribuem para a redução da taxa de infiltração de duas maneiras: diminuição da rugosidade superficial, reduzindo as chances de empoçamento, e formação, e formação de uma fina camada adensada na superfície, com uma condutividade reduzida, denominada de “selamento superficial”, responsável por reduções de até 90% da permeabilidade original.

### **2.3.6 Influencia do manejo do solo na infiltração**

Em trabalho inédito no Brasil, Machado, Souza e Brum (1981) demonstraram o grande efeito do manejo do solo sobre a taxa de infiltração da água no solo em comparação com a condição natural do solo da mata e campo virgem; ainda, que o tempo de uso do solo diminuía a infiltração da água no solo e, conseqüentemente, os riscos de erosão.

Avaliando algumas combinações desses fatores, o autor observou que em alguns casos houve maior infiltração no plantio direto do que em sistema convencional de preparo. Isso pode ocorrer por causa da grande variação da quantidade e qualidade dos restos culturais sobre a superfície do solo e da variação do volume de macroporos que ocorre nos diferentes sistemas de exploração agrícola dentro do plantio direto.

Em trabalho conduzido por Kertzmann (1996) utilizando os cilindros duplos de Muntz, a taxa constante de infiltração em mata foi de 1396 mm h<sup>-1</sup> e, na área cultivada com sistema plantio direto por 15 anos, de 63 mm h<sup>-1</sup>. Esses resultados demonstram que houve uma drástica redução na velocidade de infiltração, em mais de vinte vezes, conforme o manejo e cultivo adotados. Lal (1955) e Larson (1964) também constataram redução significativa na infiltração de água no solo em decorrência da intensificação de operações mecanizadas, em relação à condição natural.

A utilização de implementos de preparo do solo, como subsoladores ou escarificadores, segundo Cassel (1979), aumenta significativamente a capacidade de infiltração de água no solo, ao passo que Mukhtar (1985) destacam o incremento na capacidade de infiltração que uma escarificação pode ocasionar em áreas com plantio direto.

Por outro lado, Azooz e Arshad (1996) afirmam que solos com muito tempo sob plantio direto geralmente tem incrementada a taxa de infiltração de água no solo próximo e na capacidade de campo, mas não durante a fase próxima a saturação, o que ocorre em razão do maior numero de macroporos ou canais biológicos.

Barcellos et al. (1996), avaliando a taxa de infiltração de água no solo em três épocas e sob diferentes manejos (preparo convencional, cultivo mínimo e plantio direto), com mini simulador de chuvas, constataram que em todas as épocas testadas a maior taxa de infiltração ocorreu no solo sob cultivo mínimo. Destacam ainda que esse efeito se deve a ação do escarificador, o qual deixa boa parte da superfície do solo coberta com restos culturais, os quais interceptam o impacto das gotas, além de certa rugosidade superficial.

O sistema de semeadura direta apresenta-se como um sistema conservacionista de máximo controle nas perdas de solo e água por escoamento superficial, sendo discutida, inclusive, atualmente a necessidade ou não de terraços nestas áreas. Nesse sentido, Bertol (1995) afirma que o escoamento superficial de água é independente, entre outros fatores, da capacidade de infiltração de água no solo; assim, é menos influenciado pelo tipo de preparo do que as perdas de solo, isto é, continuará havendo escoamento superficial de água, no entanto não estará carregando consigo partículas de solo. Portanto, tipos de preparo de solo muito diferentes entre si e que acarretam perdas de solo muito distintas podem apresentar perdas de água muito semelhantes, determinadas principalmente pelo grau de alagamento do solo nos diversos preparos.

### 3 MATERIAL E METODOS

O trabalho foi realizado na área experimental do Campus II da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões Campus de Erechim. A área possui 2.203,5 m<sup>2</sup>, que foi dividida em quatro sistemas de cultivos (tratamentos) com três repetições cada, com área de 110,5 m<sup>2</sup>. Os sistemas de cultivos avaliados foram:

1°Semeadura Direta;

2°Cultivo Mínimo (Subsolador + Grade Arradora + Semeadora);

3°Cultivo Mínimo (Subsolador + Semeadora);

4°Cultivo Mínimo (Grade Arradora + Semeadora).

A distribuição das áreas em campo pode ser observada na Figura 1.

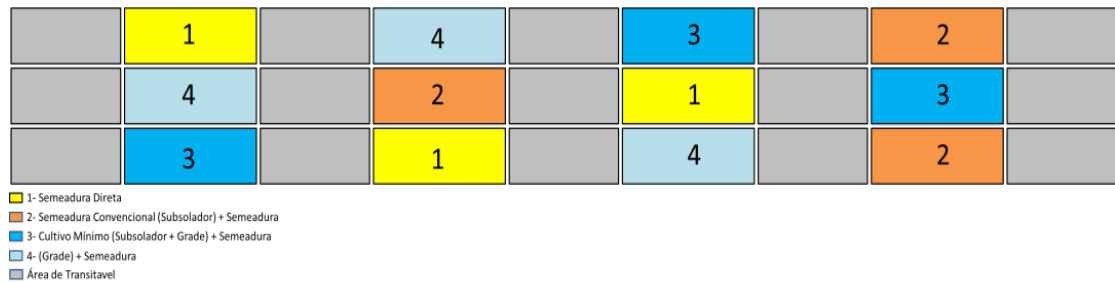


Figura 1 – Distribuição das Parcelas na Área Experimental

Para caracterização do solo, antes da instalação dos sistemas de cultivo, foram coletadas amostras de solo para determinar a Umidade Gravimétrica e a mensuração da resistência a penetração.

Para avaliação da umidade gravimétrica (Figura 5) coletaram-se cinco amostras da área total a fim de caracterizar a área total. Em cada ponto foram coletadas amostras a cada 5 cm de profundidade até a profundidade de 40 cm. As amostras foram pesadas e levadas a uma estufa, onde permaneceu durante 24 horas a temperatura constante de 105°C conforme metodologia proposta por (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2009).

Resistência a penetração do solo: o teste foi realizado em todas as unidades experimentais com a utilização do Penetrometro digital marca Falker conforme observado na (Figura 3).



Figura 2 Coleta de solo para análise de Umidade Gravimétrica



Figura 3 Teste de Resistência a Penetração.

O preparo do solo foi realizado no dia 20 de janeiro de 2013, sendo que para a realização do mesmo foi utilizado um trator marca New Holland, modelo TL 100 com potencia de 100cv, um Subsolador de cinco hastes que trabalhou na profundidade de 200 mm (Figura 2) e uma Grade Niveladora de 14 discos que trabalhou na profundidade de 140 mm (Figura 3). No dia subsequente ao do preparo do solo foi realizado a semeadura das parcelas com uma semeadora marca Tatu, modelo Pneumática com sete linhas, espaçadas de 45 cm (Figura 4). A semente utilizada foi da variedade Turbo com adubação de 340 Kg/Ha da formulação 2-20-20 para todos os sistemas de cultivos.



Figura 4 Cultivo Mínimo com o uso do subsolador.



Figura 5 Cultivo Mínimo com o uso da grade aradora.



Figura 6 Semeadura Direta.

Após decorridos 128 dias da semeadura (Figura 7) repetiu-se as análises de umidade gravimétrica e de resistência à penetração do solo. Além disso, realizou-se a avaliação do sistema radicular, de acordo com o Método da Trincheira proposto por Jorge (1996), porém foram realizadas algumas modificações, que se fundamenta na abertura de trincheiras ao redor da planta, para melhor acesso ao sistema radicular, que depois de identificado sua profundidade é retirada com o auxílio de

uma pá de corte, formando uma espécie de bloco que após é levado ao laboratório e lavado em água corrente visando a mobilização do solo que há em torno do sistema radicular. Após a lavagem (Figura 8) deixou-se o sistema radicular em repouso para que ocorresse a secagem (Figura 9). Posteriormente, digitalizou-se, em um scanner, o sistema radicular das plantas (Figura 10).



Figura 7 Desenvolvimento da cultura da soja (128 dias após o plantio).



Figura 8 Lavagem das raízes.



Figura 9 Secagem das raízes.



Figura 10 Imagens obtidas pelo scanner.





#### 4 RESULTADOS E DISCUSÃO

Ao comparar a umidade gravimétrica nos diferentes sistemas de cultivo, não obteve-se diferenças significativas conforme Tabela 1.

Tabela 1 Umidade Gravimétrica nos Diferentes Sistemas de Cultivo

Camadas cm	Sistemas de Cultivo			
	Semeadura Direta	Mínimo (subsolador + grade arradora + semeadora)	Mínimo (subsolador + semeadora)	Mínimo (grade arradora + semeadora)
0-10	297.537	299.626	301.284	290.258
10-20	364.131	325.310	329.539	315.109
20-30	394.580	359.851	366.257	348.665
30-40	416.345	373.089	372.356	428.160
CV(%)	11.67			

Não foi aplicado o teste de comparação de médias por que o F de interação não foi significativo.

Valores significativos foram encontrados ao comparar à resistência do solo a penetração nos diferentes sistemas de cultivo, principalmente quando se comparou o sistema de semeadura direta com os demais tratamentos de cultivo mínimo, com resultados mais relevantes nos que foi utilizado o subsolador (Tabela 2). Nos sistemas cultivo mínimo (subsolador + grade arradora + semeadora) e cultivo mínimo (subsolador + semeadora), onde foi utilizado o subsolador, ocorreu uma redução na resistência à penetração do solo na camada de 0 a 30 cm elevando-se nas camadas posteriores, fator ocasionado pelas hastes do subsolador atingirem camadas mais profundas. Já o sistema de cultivo mínimo (grade arradora + semeadora) não apresentou diferença ao se comparar com o sistema de semeadura direta, devido aos discos da grade arradora não atingirem camadas mais profundas do solo.

Tabela 2 Resistencia do Solo a Penetração nos diferentes sistemas de cultivo

Camadas cm	Sistema de cultivo			
	Semeadura Direta	Mínimo (subsolador + grade arradora + semeadora)	Mínimo (subsolador + semeadora)	Mínimo (grade arradora + semeadora)
0-5	1231.7220 bA	254.0000 cB	125.5555 bB	908.0000 bA
5-10	1933.1330 aA	286.8667 cB	210.6000 bB	2132.2000 aA
10-15	1608.8000 aA	928.6000 bB	348.1333 bC	1706.7330 aA
15-20	1651.0000 aA	908.0667 bB	528.2000 bB	1654.6000 aA
20-25	1746.4000 aA	1171.2000 bB	845.6000 aB	1359.0670 bA
25-30	1449.9330 bA	960.1334 bB	809.0667 aB	1342.6670 bA
30-35	1264.0670 bA	1321.2670 aA	973.9333 aA	1400.4000 bA
35-40	1208.0670 bB	1662.7330 aA	981.9333 aB	1149.8670 bB
CV (%)	28			

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

O comprimento radicular apresentou resultado bastante significativo, podendo ser observado na Figura 11, onde o sistema 2 cultivo mínimo (subsolador + grade arradora + semeadura) apresentou maior comprimento em relação aos demais sistemas de cultivo 232mm, resultado devido as hastes do subsolador terem atingido maior profundidade, descompactando o solo nas camadas mais profundas facilitando o crescimento das raízes, que podem buscar água e nutrientes em camadas mais profundas. O sistema 4 cultivo mínimo (grade arradora + semeadora) apresentou o menor comprimento 116mm, devido aos discos da grade arradora não atingirem camadas mais profundas. Assim o sistema radicular da planta tem a possibilidade de buscar água e nutrientes em épocas de estresse hídrico em camadas mais profundas.



FIGURA 11A Semeadura Direta, 11B Cultivo Mínimo (subsolador + grade arradora + semeadora), 11C Cultivo Mínimo (subsolador + semeadora) e 11D Cultivo Mínimo (grade arradora + semeadora).

## 5 CRONOGRAMA

Tabela 3 Cronograma de atividades desenvolvidas

Atividade Desenvolvida	Data
Coleta das Amostras de Solo (Pré-preparo)	20/12/2012
Preparo do Solo	20/01/2013
Plantio da Cultura	21/03/2013
Coleta das Amostras de Solo e Avaliação do Desenvolvimento Radicular	28/05/2013

## 6 CONCLUSÃO

Nas condições onde foi realizado o trabalho concluiu-se que o cultivo mínimo (subsolador + grade arradora + semeadora) obteve melhor resultado, com maior redução na resistência a penetração do solo, devido as hastes do subsolador atingirem camadas mais profundas do solo.

O sistema de cultivo mínimo com a utilização da grade arradora seguido da semeadora apresenta-se menos eficiente quando o objetivo for romper as camadas compactadas de solo.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERTS, E. E.; NEIBLING, W. H. Influence of crop residues on water erosion. In: UNGER, P. U. **Managing agricultural residue**. Texas: Lewis, 1994. Chap. 3, p. 19-40.
- AMARAL Sobrinho, N. M. B.; MAZUR, N. Soil preparation and nutrient losses by erosion in the culture cucumber. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 6, p. 572-577. 2005.
- ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 337-345, 2004.
- ARZENO, J. L. Avaliação física de diferentes manejos de solo em Latossolo Roxo distrófico. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990. 259p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).
- AZZOZ, R. H.; ARSHAD, M. A. Soil infiltration and hydraulic conductivity under long-term no-tillage and conventional tillage systems. **Canadian Journal of Soil Science**, n. 76, p. 143-152, 1996.
- BALASTREIRE, L. A. Máquinas agrícolas. São Paulo: Manole, 1987. 310p.
- BARBER, R. G.; ORELLNAN, M.; NAVARRO, F.; DIAZ, O; SORUCO, M. A. Effects of conservation and conventional tillage systems after land clearing on soil properties and crop yield in Santa Cruz, Bolivia. *Soil and Tillage Research*, Madison, v.38, p. 133-152, 1996.
- BARCELOS, A.; CASSOL, E. A.; DENARDIN, J. E. Infiltração de água em latossolo sob chuva intensa em diferentes sistemas de manejo. In: **CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIENCIA DO SOLO**, XIII. Águas de Lindoia. Anais... 1996. CD-ROM.
- BARYEH, E. A. Tillage effects on growth, yield of maize and some soil properties: an experience at Dschang, Cameroon. **Agricultural Engineer**, v. 41, p. 38-42, 1986.
- BENGHOUGH, A. G.; MULLINS, C. E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal of Soil Science**, n. 41, p. 341-358, 1990.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. **Manual de Irrigação**. 8º Edição, Editora UFV, Viçosa, 2009.

- BERTOL, I. Comprimento crítico de decliva para preparos conservacionistas de solo. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995. 185p.
- BERTOL, O. J. et al. Desempenho de mecanismos sulcadores de semeadura sob condições de preparo reduzido do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 21, p. 257-262, 1997.
- BERTOLANI, T. C. et al. Variabilidade espacial da rugosidade superficial do solo com rugosímetro de agulhas e laser. *Bragantina*, Campinas, 2000. V. 59, p. 227-234.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Resistência à penetração em latossolos: valor limitante à produtividade de arroz de sequeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, nov-dez, 2004.
- BOONE, F.R. Weather and other environmental factors influencing crop responses to tillage and traffic. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 11, p. 283-324, 1988.
- BOUWER, H. Intake rate: cylinder infiltrometer. In: KLUTE, A. (Ed). *Methods of soil analysis: physical, chemical and mineralogical methods*. Madison: **American Society of Agronomy**, 1986. Cap. 19, p. 825-844.
- BRADFORD, J. M. The penetration resistance in a soil with well-defined structural units. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 44, p. 601-606, 1980.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.P. *The nature and properties of soils*. New Jersey. Ed Prentice Hall, 2002. 1000p.
- BRANCO, S. M. *Poluição: a morte de nossos rios*. São Paulo: Ascetesb, 1983. 155p.
- BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J. & FREDERICK, J.R. Recompaction of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. *Soil Till. Res.*, 68:49-57, 2002.
- CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E. A.; WILDNER, L. P.; COSTA, M. B. B.; ALCÂNTARA, P. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. *Adubação verde no sul do Brasil*. 2. ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. 346 p.
- CAMARGO, O. *Compactação do solo e desenvolvimento de plantas*. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 44p.
- CARVALHO, F. L. C.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa de doses e formas de manejo do resíduo cultural de trigo na redução da erosão hídrica do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, 14, p. 227-234, 1990
- CASSEL, D. K.; BOWEN, H. D.; NELSON, L. A. An evaluation of mechanical impedance for three tillage treatments on Norfolk Sandy Loam. **Soil Science Society of America Journal**, n. 42, p. 116-120, 1978.

- CASSEL, D. K. Subsoiling. *Crops and Soils Magazine*, v. 32, p. 7-10, 1979.
- CASTRO, O. M. Preparo do solo para a cultura do milho. Campinas: Fundação Cargill, 1989. 41p.
- COGO, N. P.; LEVIEN, R. Erosion and productivity human life. In: LAL, R. (ed.). **Encyclopedia of Soil Science**. New York: Marcel Dekker, 2002. p. 428-431.
- COOPER, A. W. Effects of tillage on soil compaction. **Compaction of Agricultural Soils**, St Joseph, ASAE, v. 7, p. 315-364, 1971.
- CHANCELLOR, W. J. Compaction of soil by agricultural equipment. Berkeley: University of California, Division of Agricultural Sciences, 1977. 53p (Bulletin, 1881).
- CHAVES, H. M. L.; ORLOWSKI, E.; ROLOFF, G. Previsão da infiltração sob dinâmicas de selamento superficial. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 17, p. 141-147, 1993.
- DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M. & SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:703-709, 1999.
- EDWARDS, W. M. Predicting tillage effects on infiltration. In. **ANNUAL MEETING OF THE AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY AND SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA**, Detroit, 1980. Predicting tillage effects on soil physical properties and processes. Madison: ASA; SSSA, 1983. CAP. 7, P. 105-115. (ASA. Special Publication, 44).
- EHLERS, W. Observations on earthworm channels and infiltration on tilled and untilled loess soil. **Soil Science**, v. 119, p. 242-249, 1975.
- ELA, S. D.; GUPTA, S. C.; RAWLS, W. J. Macropore and surfasse seal interactions affecting water infiltration into soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p. 714-721, 1992.
- EMBRAPA CENTRO DE PESQUISA DE ARROZ E FEIJÃO. Glossário. Goiânia. 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoIrrigadoNoroesteMG/glossario.htm>> Acesso em: 03 de abr. 2013.
- EMBRAPA CENTRO DE PESQUISA DE MILHO E SORGO. Manejo de solos: Sistema plantio direto. Sete Alagoas, 2006. Disponível em:<[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho\\_2ed/mandireto.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_2ed/mandireto.htm)> Acesso em: 03 de nov. 2010.
- FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; ARATANI, R. G.; LEONEL, C. L. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 627-636, 2007.



FREIRE, J. C. Condutividade hidráulica e capacidade de campo em um Latossolo Roxo distrófico não saturado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 3, p. 73- 77, 1979.

GABRIEL FILHO, A.; PESSOA, A. C. S.; STROHHAecker, L.; HELMICH, J. J. Preparo convencional e cultivo mínimo do solo na cultura de mandioca em condições de adubação verde com ervilhaca e aveia preta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 953-957, 2000.

GUPTA, S. C.; LARSON, W. E. Modeling soil mechanical behavior during tillage. In: **ANNUAL MEETING OF THE AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY AND SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA**, Detroit, 1980. Predicting tillage effects on soil physical properties and processes. Madison: ASA; SSSA, 1982. Cap. 10, p. 151-178. (ASA. Special Publication, 44).

GROHMANN, F.; QUEIROZ NETO, J. P. Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argilosos sobre a penetração de raízes de arroz. *Bragantina*, v. 25, p. 421-431, 1966.

HILLEL, D. Solo e água: fenômenos e princípios físicos. Porto Alegre: UFRGS, 1970. 231p.

IRURTIA, C. B.; MON, R. Microsimulador de lluvia para determinar infiltracion a campo. INTA, Instituto de Suelos, Buenos Aires. Publicación 176, 1994. 18p.

KERTZMANN, F. F. Modificações na estrutura e comportamento de um latossolo roxo provocadas pela compactação. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996. 153p.

KLADIVKO, E. J.; MACKAY, A. D.; BRADFORD, J. M. Earthworms as a factor in the reduction of soil crusting. **Soil Science Society of America Journal**, n. 50, p. 191-196, 1986.

KLEIN, V. A.; BOLLER, W. Avaliação de diferentes métodos de manejo de solo e métodos de semeadura em área sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 25, p. 395-398, 1995.

LAL, R. Mechanized tillage system effects on properties of a tropical alfisol in watersheds cropped to maize. **Soil e Tillage Research**, v. 6, p. 149-161, 1955.

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

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

LIBARDI, P. L. Dinâmica da água no solo. São Paulo: Edusp, 2005. 335p.

- LOPES, A. S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. Sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo. 2004. Disponível em: <[http://www.anda.org.br/livrostechnicos/lt\\_spd.pdf](http://www.anda.org.br/livrostechnicos/lt_spd.pdf)> Acesso em: 15 mar. 2013.
- MACHADO, J. A.; SOUZA, D. M.; BRUM, A. C. R. Efeito de anos de cultivo convencional em propriedades físicas do solo. R. Bras. Ci. Solo, v. 5, p. 187-189, 1981.
- 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**, Dordrecht, v. 144, p. 297-303, 1992.
- MAZURANA, M. et al. Sistemas de preparo de solo: alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 35, p. 1197-1206, 2011.
- MICHELON, C.J. Qualidade física de solos irrigados do Rio Grande do Sul e do Brasil Central. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 92p. (Tese de Mestrado).
- MUKHTAR, S. et al. Soil water infiltration as affected by the use of the paraplow. Transactions of the ASAE, v. 28, p. 1811-1816, 1985.
- MUZILLI, O. Princípios e perspectiva de expansão. In: \_\_\_\_\_. Plantio direto no Paraná. Londrina: IAPAR, 1981. p. 11-17. (IAPAR. Circular técnica, 23).
- OLIVEIRA, N. G. Plantio direto de alface e feijão-vagem sobre coberturas vivas perenes de *Paspalum notatum* e *Arachis pintoi* sob manejo orgânico. 2004. 65f. Dissertação (Mestrado em Ciência em Fitotecnia) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2004.
- Pacheco, E.P.; (2) & Cantalice, J.R.B. Análise de trilha no estudo dos efeitos de atributos físicos e matéria orgânica sobre a compressibilidade e resistência à penetração de um argissolo cultivado com cana-de-açúcar. R. Bras. Ci. Solo, 35:417-428, 2011
- RAGHAVAN, G. S. V.; MICKYES, E.; CHASSÉ, M. Effect of wheel slip on soil compaction. **Journal Agricultural Engineering Research**, v. 22, p. 79-83, 1977.
- RAGHAVAN, G. S. V.; ALVO, P.; MCKYES, E. Soil compaction in agriculture: a view toward managing the problem. **Advances in Soil Science**, v. 11, p. 1-35, 1990.
- REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo: Manole, 1987. 188p.
- ROSOLEM, C.A.; VALE, L.S.R.; GRASSI FILHO, H. & MORAES, M.H. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. R. Bras. Ci. Solo, 18:491-497, 1994.

SALASSIER, B.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, C. E.; **Manual de Irrigação**. 8. Ed. – Viçosa: Ed. UFV, 2006.

SANTIAGO, A. D. ;ROSSETTO, R Cultivo mínimo. Brasília, DF, 2007b. Disponível em:

<[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/canadeacucar/arvore/CONTAG01\\_85\\_22122006154841.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/canadeacucar/arvore/CONTAG01_85_22122006154841.html)> Acesso em: 03 de abr. 2013.

SANTIAGO, A. D. ;ROSSETTO, R. Preparo convencional. Brasília, DF, 2007a. Disponível em:

<[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/canadeacucar/arvore/CONTAG01\\_84\\_22122006154841.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/canadeacucar/arvore/CONTAG01_84_22122006154841.html)> Acesso em: 03 de abr. 2013.

SAVABI, M. R.; STOTT, D. E. Plant residue impact on rainfall interception. **Transaction of the ASAE**. St. Joseph, v. 37, p. 1093-1098, 1994.

SECCO, D. & REINERT, D.J. Efeitos imediato e residual de escarificadores em Latossolo Vermelho-escuro sob PD. Eng. Agríc., 16:52-61, 1997.

SIDIRAS, N.; VIEIRA, S. R.; ROTH, C. H. Determinação de algumas características físicas de um latossolo roxo distrófico sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 8, p. 265-268, 1984.

STIEZAKER, R. J.; PASSIOURA, J. B.; WILMS, Y. Soil structure and plant growth: impact of bulk density and biopores. **Plant and Soil**, v. 185, p. 151-162, 1996.

STOLZY, L. H.; BARLEY, K. P. Mechanical resistance encountered by root entering compacted soils. **Soil Science**, v. 105, p. 297-301, 1968.

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

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. & LIBARDI, P.D. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 22:573-581, 1998.

VARQUEZ, E. V.; MARIA, I. C. de. Influencia del laboreo sobre la rugosidad del suelo y la retencion de água em um Ferrasol. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO**, 29, Ribeirão Preto, 2003. Resumo expandido. Ribeirão Preto: SBCS, 2003. CD-ROM.

VOMOCIL, J. A.; FLOCKER, W. J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil air and water. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v.4, p.242-246, 1961.

VIEIRA, M. J. Comportamento físico do solo em plantio direto. In: FANCELLI A. L.; TORRADO, P. V.; MACHADO, J. Atualização em plantio direto. Campinas: Fundação Cargill, 1985. P. 163-179.

WEAICH, K; BRISTOW, K. L; CASS, A. Preemergent shoot growth of maize under different drying conditions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p. 1272-1278, 1992.

WOORHEES, W. B.; LINDSTROM, M. J. Soil compaction on conservation tillage in the northern corn belt. **J. Soil Water Cons.**, v. 38, p. 307-311, 1983.

WU, L.; SWAN, J. B.; PAULSON, W. H.; RANDALL, G. W. Tillage effects on measured soil hydraulic properties. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 25, p. 17- 23, 1992.

WÜRSCHÉ, W.; DENARDIN, L .E. Conservação e manejo dos solos - I. Planalto Rio-grandense. Considerações gerais. **Circular Técnica Nacional de Pesquisa do Trigo**, Passo Fundo, n. 2, p. 1-20. 1980.

WUNSCHE, W. A.; DENARDIN, J. E. O preparo do solo para a soja. *Lavoura Arrozeira*. Porto Alegre: 35, 46-46, 1982.