

ELTON FIALHO DOS REIS

**AMBIENTE SOLO-SEMENTE EM UM LATOSSOLO
VERMELHO-AMARELO COM DIFERENTES MECANISMOS
ROMPEDORES E COMPACTADORES DE UMA SEMEADORA
DE PLANTIO DIRETO NA CULTURA DO MILHO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2003

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

R375a
2003

Reis, Elton Fialho dos, 1971-

Ambiente solo-semente em um latossolo vermelho-amarelo com diferentes mecanismos rompedores e compactadores de uma semeadora de plantio direto na cultura do milho / Elton Fialho dos Reis. – Viçosa : UFV, 2003.
66p. : il.

Orientador: Haroldo Carlos Fernandes

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Viçosa

1. Semeadoras-adubadoras para plantio direto. 2. Sulcadores. 3. Relação solo-semente. 4. Mecanização agrícola. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD. 19 ed. 631.3

CDD. 20 ed. 631.3

ELTON FIALHO DOS REIS

**AMBIENTE SOLO-SEMENTE EM UM LATOSSOLO
VERMELHO-AMARELO COM DIFERENTES MECANISMOS
ROMPEDORES E COMPACTADORES DE UMA SEMEADORA
DE PLANTIO DIRETO NA CULTURA DO MILHO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA EM: 29 de setembro de 2003.

Prof. Carlos Ernesto G. R. Schaefer
(Conselheiro)

Prof. Eduardo Fontes Araújo
(Conselheiro)

Prof. Luciano Baião Vieira

Dr. João de Mendonça Naime

Prof. Haroldo Carlos Fernandes
(Orientador)

A Deus.

À minha esposa Vilma.

Aos meus pais e aos meus irmãos.

Aos meus filhos Pedro Henrique e Eduardo.

AGRADECIMENTO

A Deus, por tudo.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realizar o Curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro durante a realização do trabalho.

Ao Professor Haroldo Carlos Fernandes, pela amizade, pelas sugestões e pelo incentivo durante a realização do trabalho.

Ao Professor Carlos Ernesto Schaefer, a quem devo a realização deste trabalho, pela contribuição e sugestões durante o Curso.

Ao Professor Eduardo Fontes Araújo, pelas sugestões.

Ao Professor Luciano Baião Vieira, pela amizade e contribuição em atividades durante a realização do Doutorado.

Ao pesquisador da EMBRAPA–CNPq Dr. João de Mendonça Naime, pela contribuição, pela coleta de dados e pelas sugestões.

Ao Professor Paulo Roberto Cecon, pela contribuição nas análises estatísticas.

À indústria de máquinas Seed-Max, pelo empréstimo da semeadora–adubadora.

À minha família, pela compreensão durante o Curso, pelo amor e pelo carinho.

À minha esposa Vilma, pelo companheirismo

Aos meus filhos Pedro Henrique e Eduardo, pelo amor e carinho durante o Curso.

Aos estudantes de pós-graduação João Herbert e Manoel Ricardo, do Departamento de Solos, pela colaboração.

Aos estudantes de pós-graduação Denílson, Cristiano, Kalil, Varella, João Paulo e Sebastião, pela contribuição.

Aos meus colegas do Departamento de Engenharia Agrícola, pela convivência.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, pelos ensinamentos.

BIOGRAFIA

ELTON FIALHO DOS REIS, filho de Antônio dos Reis Sobrinho e Maria Aparecida Fialho dos Reis, é natural de Viçosa, MG.

Em julho de 1995, graduou-se Engenheiro Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG.

Em agosto de 1995, foi contratado pela Companhia de Desenvolvimento do Araguaia no Estado do Mato Grosso, onde trabalhou na área de Mecanização Agrícola até dezembro de 1996.

Em agosto de 2003, concluiu o Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Federal de Juiz de Fora, em Juiz de Fora, MG.

Em julho de 1997, iniciou o Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola na UFV, área de concentração em Mecanização Agrícola, concluindo-o em agosto de 1999.

Em agosto de 1999, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Doutorado, em Engenharia Agrícola da UFV, área de concentração em Mecanização Agrícola, submetendo-se à defesa de tese em setembro de 2003.

ÍNDICE

	Pág.
RESUMO	VIII
ABSTRACT	X
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Aspectos gerais.....	3
2.2. Mecanismos rompedores do solo	6
2.3. Compactação do solo próximo à semente	9
2.4. Micromorfologia do contato solo–semente.....	14
2.5. Tomografia computadorizada	15
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1. Caracterização do solo antes do plantio	17
3.1.1. Análise granulométrica.....	18
3.1.2. Densidade do solo.....	18
3.1.3. Densidade de partículas	18
3.1.4. Porosidade total	19
3.1.5. Resistência do solo à penetração	19
3.2. Caracterização da cobertura vegetal.....	20
3.3. Caracterização das máquinas utilizadas	20
3.4. Caracterização das parcelas experimentais	22
3.4.1. Teor de água do solo.....	22
3.5. Plantio.....	23
3.6. Níveis de cargas aplicadas ao solo pelo elemento compactador	24
3.7. Avaliação pós-plantio.....	25
3.7.1. Índice de velocidade de emergência de plântulas.....	25
3.7.2. Profundidade de plantio.....	26
3.7.3 Resistência do solo à penetração após o plantio.....	26
3.7.4. Diâmetro médio ponderado (DMP) e finos < 2,0 mm	27
3.7.5. Porosidade no contato solo–semente.....	28
3.7.6. Densidades mínima, média e máxima determinadas por tomografia computadorizada.....	33
3.7.6.1. Densidade do solo na região da semente	34
3.8. Análise estatística	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39

4.1. Avaliações durante a operação de plantio	40
4.1.1. Níveis de carga aplicada ao solo pelos elementos compactadores....	40
4.1.2. Distribuição de sementes na linha de plantio	41
4.1.3. Profundidade de plantio.....	42
4.2. Avaliação após a operação de plantio	45
4.2.1. Índice de velocidade de emergência.....	45
4.2.2. Percentagem de germinação	46
4.2.3. Resistência à penetração após o plantio	47
4.2.4. Diâmetro Médio Ponderado (DMP)	49
4.2.5. Porcentagem de finos < 2,0 mm	50
4.3. Densidade medida por tomografia	51
4.3.1. Densidade mínima na região da semente	51
4.3.2. Densidade média na região da semente.....	51
4.3.3. Densidade máxima na região da semente.....	53
4.4. Macroporosidade micromorfométrica na região da semente	54
5. RESUMO E CONCLUSÕES	58
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

RESUMO

REIS, Elton Fialho dos, D. S., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2003. **Ambiente solo–semente em um latossolo vermelho-amarelo com diferentes mecanismos rompedores e compactadores de uma semeadora de plantio direto na cultura do milho.** Orientador: Haroldo Carlos Fernandes. Conselheiros: Carlos Ernesto G. R. Schaefer e Eduardo Fontes Araújo.

O sucesso do desenvolvimento geral de uma cultura, bem como a sua produção, depende, em parte, do ambiente do solo inicialmente em torno da semente e, posteriormente, no estabelecimento da cultura. O microambiente próximo à semente é influenciado diretamente pelo tipo de mecanismo de abertura do sulco no solo. Nesse sentido, este trabalho objetivou estudar a relação solo–semente na região da semente em semeadura direta, com diferentes teores de água do solo, tipos de mecanismos de abertura do sulco e elementos compactadores, em um Latossolo Vermelho Argiloso com a cultura do milho. O experimento foi montado em esquema de parcelas subsubdivididas, onde as parcelas foram constituídas de três teores de água do solo (0,22; 0,28; e 0,34 kg kg⁻¹); as subparcelas, de dois mecanismos de abertura do sulco (haste sulcadora tipo facão e disco duplo); e as subsubparcelas, de dois tipos de elementos compactadores (borracha e liso) com três repetições, no delineamento em blocos casualizados. As avaliações de densidade e contato solo–semente foram feitas no dia do plantio. Foram retiradas duas amostras indeformadas em caixas metálicas de 0,18 x 0,08 x 0,08 m, uma para o estudo micromorfológico do contato solo–semente e outra para a realização de tomografias com resolução milimétrica, a fim de determinar sua densidade. Para o estudo micromorfológico foi feita a impregnação do solo com resina, e, depois de impregnado, foram feitos cortes

sucessivos de 1 cm até localizar a semente, quantificando a porosidade na região desta pelo programa Quantiporo (DPS-UFV). A amostra para tomografia foi subdividida em seis amostras de 4 cm de diâmetro, devido às limitações do tomógrafo. Nessas amostras foram realizadas as determinações de densidades máxima, mínima e média do solo, na posição onde se encontrava a semente. Foram retiradas amostras deformadas de solo na linha de semeadura, para determinação do diâmetro médio ponderado (DMP). A resistência do solo à penetração foi determinada três dias após a semeadura, com um penetrômetro de impacto. De acordo com os resultados, pode-se concluir que: os tratamentos estudados não interferiram significativamente nos valores de índice de velocidade de emergência, densidade mínima medida pelo tomógrafo; o teor de água do solo interferiu significativamente na resistência à penetração após a semeadura, apresentando maiores valores para o menor teor de água, bem como maior diâmetro médio ponderado para o menor teor de água; o mecanismo de abertura do sulco tipo disco duplo proporcionou maiores valores de densidades média e máxima medidas com o tomógrafo, bem como maior profundidade de plantio e menor percentagem de emergência; e o uso do elemento compactador de borracha proporcionou maior profundidade de plantio, maior resistência à penetração e, mesmo apresentando maior peso aplicado sobre o solo, causou menor pressão aplicada sobre a semente, em virtude de possuir maior área de contato com o solo. A interação entre o teor de água do solo e o sulcador foi significativa para a macroporosidade na região da semente, apresentando menores valores para os maiores teores de água no mecanismo de abertura tipo disco duplo. O método da tomografia computadorizada se mostrou adequado e eficiente na determinação da densidade do solo na região da semente.

ABSTRACT

REIS, Elton Fialho dos, D. S., Universidade Federal de Viçosa, September 2003. **Soil-seed environment in a Red-Yellow Latosol with different breaking mechanism and compacting elements of a direct-sowing machine in Maize crop.** Adviser: Haroldo Carlos Fernandes. Committee Members: Carlos Ernesto G. R. Schaefer and Eduardo Fontes Araújo.

The success of plant growing and plant production largely depends, the soil environment around the seed, and further, around the growing plant. The types of furrow opening influence directly in the soil near the seed. This research aimed to study the soil density and the relationship between seed and soil at the soil-seed interface in direct sowing, with different soil water contents soil, types of furrow opening and compactor elements in a Red-Yellow Latosol cultivated with maize. The experiment was made as split-plot design, where units had three soil water contents (0,22; 0,28 e 0,34 kg kg⁻¹), subunits were 2 types of furrow openings (furrow plough and double wheel) and other subunits were two kinds of compactor elements (rubber and smooth) with three replicate, in randomly block design. Tests of soil density and contact soil-seed were carried out in the day of the planting. Two non-deformed samples were taken in metallic boxes measuring 0,18 x 0,08 x 0,08 m, one for the micro morphological study of the soil-seed contact, and the other one to determine the millimetric-scale tomography for density evaluation. Micro morphology was made following soil impregnation with resin and, successive 1 cm cuttings were made until the seed was observed, measuring the porosity around the seed by the Quantiporo program (DPS-UFV). The sample for the tomography was split into six samples of 4 cm diameter, due to size limitation of the tomography scanner. In these

samples the minimum, medium and maximum soil density were determined, around which the seed was located. Deformed samples of soil were taken in the line of planting in order to determine the medium diameter pondered (MDP). The soil penetration resistance was determined three days after the sowing with an adapted impact penetrometer. According to the results we conclude that: The studied parameters were not significant in the indicative values of emergency velocity and the minimum density measured by the tomography; the higher soil water content resulted less penetration resistance after sowing, as well as greater medium diameter pondered for the lower water content; the double wheel type of opening furrow had higher values of medium density and the greater density determined by the tomography, as well as deeper level of seed location and as well as a greater emergence; the rubber compactor element had deeper level seed location, higher penetration resistance and soil density. It caused a lower pressure to the seed due to a greater had a contact area with the soil. The relationship between soil water content and the furrow mechanism was significant for the macroporosity around the seed.

1. INTRODUÇÃO

Para a prática de uma agricultura sustentável, são essenciais as técnicas de conservação do solo e da água, pois a substituição de ecossistemas naturais por agroecossistemas provoca alterações nas características químicas, físicas e biológicas do solo. Dessa forma, faz-se necessário desenvolver sistemas de preparo conservacionistas no sentido de minimizar os problemas ambientais decorrentes do uso agrícola e manejo do solo. Em regiões com problemas de perdas de solo, uma alternativa encontrada para minimizá-las tem sido o emprego do plantio direto, com grande aceitação pelos produtores.

Sobre plantio direto, pode-se afirmar que uma das vantagens é o controle da erosão. Entretanto, além da caracterização como prática conservacionista, é considerado um sistema alternativo de produção, que visa minimizar custos e mobilizar o solo apenas no sulco de semeadura, para que a semente tenha contato adequado e homogêneo com o solo. Com a utilização de diferentes mecanismos de abertura do sulco, como discos duplos e haste sulcadora, é esperado que ocorram diferenças na relação solo-semente. No entanto, pelas condições variáveis do solo, é difícil que uma determinada máquina atenda a todas as condições. Assim, os tipos de mecanismos de abertura do sulco apresentam diferentes rendimentos e qualidade de trabalho em função do tipo, da quantidade, da idade da cobertura morta, da granulometria, da densidade, da porosidade e do teor de água do solo, entre outros fatores, ilustrando a complexidade do sistema solo-tipo de preparo.

É consensual que o sucesso no estabelecimento de uma cultura depende do ambiente do solo que deve ser adequado à germinação da semente, emergência e desenvolvimento da planta. A operação de semeadura reveste-se de grande

importância, pois possíveis erros durante essa etapa só poderão ser percebidos após a emergência da planta.

Na ação de abertura e fechamento do sulco, obtêm-se condições diferenciadas de microclima na região próxima à semente, que resultarão em uma velocidade maior ou menor de emergência das plântulas. Para uma relação solo-semente adequada, os ambientes térmico e hídrico e o condicionamento físico do solo ao redor das sementes e do sistema radicular são de grande importância, assegurando uma população adequada de plantas e um bom desenvolvimento inicial da cultura.

O aspecto mais crítico para semear com sucesso sobre uma camada de restos culturais deixados na superfície do solo consiste em cortar essa camada heterogênea e colocar a semente em contato íntimo com o solo. Embora as máquinas apresentem várias opções de mecanismos de abertura do sulco e roda compactadora, não há consenso entre pesquisadores e produtores sobre qual desses mecanismos apresenta melhor relação solo-semente.

A superfície do solo próximo à semente é modificada, dependendo do tipo de mecanismo de abertura do sulco, podendo causar impedimento na movimentação de água da superfície do solo até a semente. Com base no exposto, estudos que interpretem melhor os efeitos dos mecanismos de abertura do sulco e compactação do solo sobre a relação solo-semente contribuirão para o aprimoramento das semeadoras-adubadoras de plantio direto.

Neste trabalho, objetivou-se estudar a relação solo-semente logo após o plantio da cultura do milho, com diferentes mecanismos rompedores do solo e tipos de rodas compactadoras, em três teores de água do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos gerais

A perda de solo agrícola é um fenômeno que pode e deve ser controlado, por colocar em risco a produtividade dos ecossistemas. Normalmente, perdas severas de solo ocorrem em razão do emprego de métodos inadequados de cultivo. Entre essas alterações, citam-se reduções no teor de matéria orgânica, do tamanho de agregados, da macroporosidade, da taxa de infiltração de água no solo e do desenvolvimento do sistema radicular das plantas e do aumento da densidade do solo e degradação estrutural. A extensão dessas alterações nos solos agrícolas está intimamente relacionada ao teor de água do solo durante as operações de preparo e plantio.

O preparo do solo é uma das primeiras tarefas a serem executadas na implantação das culturas. É uma operação que consome energia e tempo e, na maioria das vezes, é realizada de forma indiscriminada e sem critérios racionais (SALVADOR et al., 1993). Um dos problemas advindos do preparo intensivo do solo é o aumento de sua densidade, caracterizado genericamente por compactação do solo. DERPSCH et al. (1991), comparando o tempo gasto nas operações agrícolas, entre quatro sistemas de cultivo, encontraram menor gasto de tempo em plantio direto com aproximadamente um quarto do sistema convencional. ATARES (1989), ao comparar quatro sistemas de cultivo empregados na Espanha, verificou redução de 4 h ha⁻¹ no tempo gasto pela semeadura direta para realizar as operações agrícolas, em relação ao sistema de cultivo tradicional.

O plantio direto pode ser definido como o processo de semeadura em solo não-revolvido, no qual a semente é colocada em sulcos ou covas, com

largura e profundidade suficientes para a adequada abertura e o contato da semente com a terra. Na verdade, trata-se de um processo de semeadura com revolvimento do solo somente ao longo da linha de plantio ou na cova. Atualmente, esse conceito assume visão integrada de um sistema, envolvendo a combinação de práticas culturais e biológicas para manter a cobertura vegetal sobre o solo com o revolvimento deste somente nos sulcos de semeadura, o que traria benefícios ao controle da erosão, de plantas invasoras, com menos variação térmica e hídrica do solo (MUZILLI, 1991; RIBEIRO, 1998).

Nos últimos anos tem ocorrido mudança significativa na visão da sociedade de manter e recuperar os recursos naturais e surgido questionamentos sobre perdas de solo por erosão e a conseqüente poluição hídrica. Diante desse processo de evolução, que tem como aliadas a escassez de mão-de-obra no setor rural e a competição de produtos importados, os agricultores têm sido obrigados a reduzir custos, abandonando progressivamente a agricultura tradicional (GASSEN e GASSEN, 1996).

Inicialmente, o plantio direto foi utilizado como uma tecnologia eficiente para conservar o solo, já que o crescimento das áreas cultivadas trouxe um aumento generalizado de danos causados pela erosão, especialmente nos estados da Região Sul do Brasil. Com o tempo, a tecnologia evoluiu para um sistema de produção mais sustentável, com conseqüências econômicas, sociais e ambientais positivas.

Uma das diferenças notáveis, que existem no desenvolvimento das culturas em plantio direto, é a melhor germinação e emergência, das quais têm papel preponderante a umidade, a temperatura do solo e o estreito contato da semente com o solo (VIEIRA, 1981). O plantio direto é uma prática que pode minimizar os efeitos indesejáveis de um estande deficiente. Tendo a propriedade de evitar a degradação da estrutura do solo, esse sistema normalmente permite um contato mais estreito entre o solo e a semente, favorecendo a absorção de água, o que propicia rápida e uniforme germinação. Aliado a isso, pela cobertura do solo com restos de cultura, há melhor proteção contra o aquecimento, além de evitar grandes oscilações de temperaturas diurna e noturna diárias do solo,

estabelecendo, assim, condições mais favoráveis para a emergência das plântulas (SIDIRAS e PAVAN, 1986).

O estabelecimento de uma cultura inicia-se com a semeadura e a subsequente germinação das sementes e emergência das plântulas. Nessa oportunidade, o comportamento físico do solo ao redor das sementes assume grande importância para o bom desenvolvimento inicial da cultura, assegurando uma população adequada de plantas, capacitando-a a alcançar a produtividade desejada.

Somente o contato solo-semente e o umedecimento não são suficientes para garantir uma boa germinação, pois a temperatura também tem grande influência nesse processo. Segundo SILVA et al. (1993), a temperatura, a aeração e o teor de água do solo são os principais fatores físicos do microambiente do solo em torno da semente e são diretamente influenciados pelo tipo e profundidade de semeadura. Uma germinação satisfatória pode ocorrer em um largo intervalo de temperatura em torno do ótimo, mas cada espécie tem sua faixa ótima de temperatura. Além disso, a temperatura afeta o desenvolvimento das raízes e a difusão de solutos e gases, além de outros fatores; no entanto, é afetada pela textura, umidade, estrutura, densidade do solo, cobertura vegetal e profundidade de semeadura (HAUSER, 1986).

A maioria dos mecanismos dosadores de sementes e fertilizantes é acionada pelo rodado, que também é responsável pelo deslocamento do conjunto. A eficiência desses mecanismos tem relação direta com as condições de contato rodado-solo e com a velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora. A velocidade ideal de semeadura é aquela em que o sulco abre e fecha sem remover exageradamente o solo e que permite a distribuição das sementes com espaçamento e profundidade constantes.

KURACHI et al. (1989) mostraram que a uniformidade de distribuição longitudinal de sementes é uma das características que mais contribui para a obtenção de um estande adequado de plantas e, conseqüentemente, de boa produtividade da cultura.

REIS et al. (2003), trabalhando com mecanismos de abertura do sulco tipo haste sulcadora e disco duplo em diferentes velocidades, observaram que a velocidade de avanço não interferiu na profundidade de semeadura e na distribuição longitudinal de sementes.

Devido ao grande número de variáveis envolvidas, a pesquisa de campo com máquinas agrícolas encontra grandes dificuldades quando se pretende relacionar a interação máquina–solo–planta. LEPORE NETO e STEFFEN JR. (1986) comentaram que não é tarefa fácil correlacionar os resultados obtidos em canais de solo com aqueles obtidos em condições de campo.

2.2. Mecanismos rompedores do solo

O sistema de plantio direto requer semeadoras–adubadoras que cortem a palhada e distribuam uniformemente as sementes, tendo como meta principal perturbar o mínimo possível a estrutura e a biota do solo. Esse particular requer da semeadora algumas características próprias quanto à eficiência dos mecanismos rompedores do solo, visando ao corte e fluxo da palhada, à abertura do sulco e à adequada colocação da semente, fatores que garantiriam o sucesso da exploração. Por isso, semeadoras–adubadoras de plantio direto são mais pesadas que as convencionais (LANDERS, 1995; GASSEN e GASSEN, 1996; REIS, 2000; VIEIRA e REIS, 2001).

Normalmente, as semeadoras–adubadoras são projetadas para operar em solos com baixa rugosidade superficial, onde os mecanismos sulcadores e cobridores de sulcos apresentam melhores desempenhos. Segundo SILVA (1993), o sucesso do desenvolvimento de uma cultura, bem como sua produção, depende, em parte, do ambiente do solo em torno da semente por ocasião do plantio. Os principais fatores físicos desse ambiente, como temperatura, umidade e aeração, são diretamente influenciados pelo tipo de mecanismo de abertura do sulco.

VIEIRA (2002), fazendo um diagnóstico do plantio direto na região de Primavera do Leste, MT, verificou que as semeadoras–adubadoras de plantio

direto, equipadas com sulcador tipo disco, eram utilizadas em 86,6% das propriedades entrevistadas; 46,3% usavam sulcador tipo facão; 22,4% empregavam sistema facão/guilhotina; e 92,5% eram equipadas com dosador de sementes tipo disco perfurado. As semeadoras–adubadoras com maior número de linhas podem utilizar o sistema de discos e facão em uma mesma máquina, possibilitando ao produtor a escolha do sistema de abertura do sulco.

Para IQBAL et al. (1998), a compactação das paredes laterais do sulco de semeadura proporcionado pelos discos duplos em solos argilosos, úmidos e compactados representa uma limitação, observando que, à medida que aumenta o teor de água do solo, aumenta também a compactação lateral dos sulcos. Já RIGHES et al. (1984) encontrou maior compactação no fundo sulco nos discos duplos comparados com haste sulcadora.

A necessidade de utilizar hastes sulcadoras ou facões para romper a camada superficial e penetrar no solo aumenta a exigência de tração das semeadoras de plantio direto. As hastes promovem maior mobilização do solo nos sulcos de semeadura em relação aos discos duplos, elevando a incidência de ervas e a ocorrência de erosão, porém são mais baratas e exigem menos pressão para penetração no solo. Segundo ARAÚJO et al. (1999), o uso de sulcadores do tipo haste nas semeadoras de plantio direto tem se generalizado nas regiões de solos argilosos como alternativa para romper a camada superficial mais compactada e penetrar até a profundidade desejada. Vários autores relataram que o sulcador e o dispositivo de cobertura da semente podem maximizar o contato solo–semente, diminuindo o tempo e aumentando a porcentagem de germinação (CHAUDHRY e BAKER, 1982; IQBAL et al., 1998)

SILVA (2000), estudando semeadoras–adubadoras de plantio direto, observou que o requerimento de energia nos mecanismos de abertura de sulco do tipo haste foi maior que os do tipo guilhotina e discos duplos, sendo exigida uma demanda de potência na barra de tração 62,5% a mais que os discos duplos. REIS et al. (2003), avaliando mecanismos de abertura do sulco tipo haste sulcadora e discos duplos, encontraram maior gasto energético no mecanismo tipo haste

sulcadora e maior profundidade de plantio nos mecanismos do tipo discos duplos.

TESSIER et al. (1991) destacaram a capacidade da haste com ponteira larga de trazer solo úmido do fundo do sulco para a proximidade das sementes, melhorando a disponibilidade de água no solo, naquela profundidade, por um curto período de tempo após a semeadura. Entretanto, a haste proporcionou maior mobilização do solo, maior profundidade de semeadura e desagregação do solo perto das sementes, diminuindo o número de plântulas de trigo que emergiram e a velocidade de emergência em relação ao disco duplo. PORTELLA et al. (1997b) concluíram que, em condições de déficit hídrico, as semeadoras dotadas de elementos sulcadores que trabalharam em camadas mais profundas tenderam a criar um microclima favorável à emergência de plântulas, tanto de soja quanto de milho, no sistema de plantio direto.

Os dispositivos sulcadores do tipo disco duplo aplicam ao solo forças laterais que tendem a formar um sulco uniforme em forma de “V”, assegurando uma profundidade uniforme de semeadura e um bom contato solo-semente (IQBAL et al., 1998; BALASTREIRE, 1990). SILVA et al. (1985) verificaram que o sulcador tipo cinzel permitiu a maior profundidade de adubação e que os discos duplos garantiram menor porcentagem de sementes descobertas, melhor uniformidade de distribuição de sementes dentro dos sulcos e melhor profundidade de semeadura de feijão.

Em qualquer sistema, a semeadura deve possibilitar o estabelecimento rápido e uniforme da população de plantas desejada. Para isso, tem de formar um ambiente que possibilite a absorção de água pelas sementes, com condições de temperatura e disponibilidade de oxigênio adequadas ao processo de germinação. Esta deverá ocorrer o mais rápido possível para reduzir o risco de ataque de pragas do solo e, para isso, as sementes necessitam de um contato total com o solo, de modo a acelerar a absorção de água. Para SIQUEIRA (1995), o estande final na cultura do milho foi superior no sistema de plantio direto, em relação aos sistemas que utilizaram arados e grades no preparo do solo, atribuindo-se esse resultado ao contato mais íntimo da semente com o solo.

WILKINS et al. (1983) testaram diferentes tipos de sulcadores para plantio de sementes, incluindo disco simples, discos duplos, facão e enxada. Obtiveram melhor contato solo–semente com o sulcador tipo facão, o qual teve influência significativa na retenção de água e na densidade das paredes do sulco, bem como na profundidade e distribuição longitudinal da semente, afetando diretamente a eficiência de emergência das plantas. PORTELLA et al. (1997a), avaliando a influência de elementos rompedores de solo, tipo disco e tipo facão, sobre o índice de velocidade de emergência do milho em plantio direto no Sul do Brasil, não encontraram diferença significativa entre os dois mecanismos.

Segundo CASÃO JÚNIOR (1998), as semeadoras–adubadoras para plantio direto têm apresentado problemas de desempenho em solos com altos teores de argila. A resistência à penetração dos componentes rompedores, associada à retenção de água, tem exigido constante adaptação das máquinas às realidades regionais. Como consequência, têm sido freqüentes os problemas com o corte irregular da vegetação, embuchamentos, abertura inapropriada do sulco, aderência do solo aos componentes, profundidade de semeadura desuniforme, cobertura irregular e contato inadequado do solo sobre as sementes, afetando a uniformidade de emergência das plantas.

2.3. Compactação do solo próximo à semente

O sucesso no estabelecimento de uma cultura depende do ambiente do solo que deve ser adequado à germinação da semente, à emergência e ao desenvolvimento da planta. As máquinas agrícolas são agentes modificadores desse meio; por exemplo, as semeadoras–adubadoras devem colocar a semente em contato íntimo com o solo úmido, aplicando certa compactação a este, por meio das rodas compactadoras. Têm, entretanto, de deixar o solo diretamente sobre as sementes, solto o suficiente para minimizar a formação de crostas e promover a saída mais fácil da plântula, podendo ainda influenciar o desenvolvimento das plantas (BALASTREIRE, 1990; SILVA et al., 1991). Alguns autores comentaram que uma compactação acima da capacidade de

suporte do solo (KONDO e DIAS JÚNIOR, 1999) ao redor da semente pode impedir a germinação (TAYLOR, 1971; BALASTREIRE, 1990).

A semeadura deve ser feita no estágio de friabilidade do solo (GASSEN e GASSEN, 1996), desde que a carga aplicada sobre a semente não ultrapasse sua capacidade de suporte (KONDO e DIAS JÚNIOR, 1999). Essa carga pode ou não ser benéfica ao ambiente geral da semente, o que dependerá do nível de pressão, do tipo e do teor de água do solo e das condições climáticas entre o período de semeadura e o de emergência.

Segundo BALASTREIRE (1990), o controle da pressão sobre a semente nas semeadoras-adubadoras é feito pela roda compactadora ou roda limitadora de profundidade. A maioria dessas rodas possui um alívio central ou apresenta rodas duplas em “V”, para evitar pressão excessiva sobre as sementes. Esse tipo de roda têm a função de aumentar o contato das sementes com o solo, para melhorar a absorção de água, garantindo melhor germinação (PACHECO, 1994).

HUMMEL et al. (1981), trabalhando com diferentes tipos de rodas compactadoras para semeadura de soja, afirmaram que o desenho e a operação da roda compactadora tiveram considerável influência sobre o ambiente do solo em torno da semente. Relataram ainda que a compactação aplicada sobre o solo pelas rodas pode ou não ser benéfica ao ambiente geral da semente, o que dependerá do nível de pressão e desenho da roda, do tipo e umidade do solo e das condições climáticas entre o período de semeadura e a emergência.

FURLANI et al. (2001), combinando três profundidades de semeadura da cultura do milho com quatro níveis de compactação do solo sobre as sementes, não encontraram influência desses fatores sobre o número médio de dias para a emergência das plântulas. Entretanto, a resistência à penetração aumentou com a utilização das maiores cargas e profundidades de semeadura.

O efeito da compactação do solo na emergência das plântulas varia com o teor de água do solo e com o local de aplicação da pressão. STOUT et al. (1961) concluíram que as pressões aplicadas ao nível e não acima da semente melhoram a emergência das plantas.

Uma condição de grande importância para a germinação é o teor de água do solo. Nessa fase, a semente necessita de água suficiente para germinar e iniciar o crescimento radicular. Para isso, é necessário que não apenas o teor de água do solo seja adequado, mas que a relação solo-água-semente seja favorável. O fluxo de água até a semente é influenciado pela estrutura do solo. A textura deste influencia o grau de contato semente-água e a condutividade hidráulica. Assim, as respostas de germinação para um mesmo teor de água no solo diferem, marcadamente, quando o solo é argiloso ou arenoso (BEWLEY e BLACK, 1978).

No processo de semeadura, os ambientes térmico e hídrico e o condicionamento físico do solo ao redor das sementes são de grande importância para o bom desenvolvimento inicial da cultura, assegurando uma população adequada de plantas. PHILIPS e KIRKHAN (1962) afirmaram que um condicionamento inadequado nessa fase pode limitar o desenvolvimento das plantas em estádios posteriores de crescimento. O preparo do solo, juntamente com a profundidade de semeadura, permite adequar esses fatores para a obtenção desse desempenho posterior. Segundo ORTOLANI et al. (1986), a profundidade de semeadura representa um fator fundamental no processo de emergência. Se a semente for colocada muito profunda e coberta com muita terra, a planta ao nascer terá uma camada espessa de solo para atravessar. Além disso, a profundidade de semeadura determina a situação em que as raízes primárias irão se desenvolver. As raízes que surgem das sementes de milho são temporárias, enquanto as permanentes saem do colmo logo abaixo da superfície, estabelecendo praticamente a mesma profundidade, não importando a profundidade de semeadura (VIÉGAS e PEETEN, 1987).

O estado de compactação do solo ao redor da semente causa mudança nas propriedades físicas, como aumento da densidade e redução dos espaços porosos. STOUT et al. (1961) mostraram que a compactação da superfície do solo na região da semente altera a umidade, o comportamento térmico, a resistência mecânica e o desempenho das plantas, afirmando também que o aumento dos espaços porosos vazios é o fator dominante para difusão do

oxigênio e dióxido de carbono, necessários ao desenvolvimento da planta. A difusão de um gás depende mais da porosidade total que do tamanho do poro, porém a difusão da água depende mais do tamanho dos poros e dos canais. BARLEY e GREACEN (1967), estudando o efeito da compactação no crescimento das radículas de milho, verificaram que este foi reduzido à metade pelo efeito simultâneo da compactação e da redução de oxigênio.

De acordo com GRABLE (1971), a taxa de difusão de oxigênio do solo para as raízes ocorre em níveis adequados quando o volume de poros com ar é superior ou igual a 10%. Abaixo disso, a difusão relativa de oxigênio no solo é próxima de zero, ou seja, propicia condições de anaerobiose às raízes.

BOLLER et al. (1993), trabalhando com plantio convencional, encontraram que o diâmetro médio geométrico dos agregados foi menor nas linhas, indicando que na faixa em torno da semente a semeadora-adubadora produziu condições de solo mais favoráveis à germinação de sementes. O leito de semeadura deve ser firme e constituído de agregados tão pequenos que possibilitem o íntimo contato entre o solo e as sementes, favorecendo a embebição destas. À medida que aumenta o tamanho das partículas do solo, diminui a área de contato semente-água do solo, o que limita severamente a quantidade de água que chega até a superfície da semente, reduzindo a germinação e a emergência (MOLDENHAUER e AMEMIYA, 1967; SCHENEIDER e GUPTA, 1985; PERDOK e KOUWENHOVEN, 1994). ANTUNIASSI e FERRETTI (1995) encontraram influência significativa dos tamanhos de agregados sobre a germinação de sementes, que foi menor e mais lenta em agregados menores, creditando tal fato à retenção maior da água pelos agregados menores. BRAUNACK e DEXTER (1989) afirmaram que o solo estará em condição ideal para semeadura quando apresentar agregados com tamanho médio de 0,5 a 1,0 mm, de modo que haja um ótimo contato solo-semente, enquanto HADAS et al. (1978) relataram que o tamanho ideal dos agregados deve se situar entre 1/5 e 1/10 do tamanho da semente.

De acordo com NARS e SELLES (1995), a emergência de plântulas e a velocidade de emergência foram influenciadas pela densidade do solo e tamanho

de agregados do leito de semeadura. Aumentos na densidade do solo e no tamanho de agregados diminuíram e atrasaram a emergência. Em geral, a mais completa e adiantada germinação foi encontrada em leitos com densidade do solo de $1,2 \text{ Mg/m}^3$ ou menor, com agregados de DMG inferiores ou iguais a 4,00 mm, ou com resistência à penetração menor que 1,4 MPa. A densidade afetou a emergência devido às mudanças no volume e continuidade de poros no leito, enquanto o efeito do tamanho de agregados foi por causa das mudanças no comprimento do caminho da semente para a superfície do solo.

A estrutura do solo é importante para o crescimento das plantas, e a conservação do solo e da água age diretamente sobre elas, afetando a penetração das raízes. A degradação dessa estrutura provoca a diminuição da porosidade, essencial para o desenvolvimento das raízes, favorecendo também o aumento da erosão hídrica (FARIA et al., 1998). No solo, além de afetar o desenvolvimento do sistema radicular, afeta o volume de água disponível para as raízes e a aeração do sistema radicular. A adoção de culturas e sistemas conservacionistas ameniza esses problemas e atua no sentido de restaurar a estrutura do solo.

O comportamento dos atributos físicos do solo, submetido a plantio direto na camada superficial, tem evidenciado mudanças, principalmente, nos valores de densidade do solo. Em sistema de plantio direto, maiores valores de densidade são observados na camada de 0 a 0,2 m, ao passo que em plantio convencional isso ocorre na camada de 0,2 a 0,3 m (DERPSCH et al., 1991). Esses mesmos autores verificaram que, em solos com densidade menor que $1,20 \text{ Mg m}^{-3}$, problemas de enraizamento ou aeração não são prováveis. DE MARIA et al. (1999), avaliando o crescimento radicular e atributos físicos, constataram maior densidade do solo na camada de 0 a 0,1 m em plantio direto, embora tal fator não tenha sido determinante na densidade radicular da cultura da soja.

2.4. Micromorfologia do contato solo–semente

Por meio do estudo da micromorfologia, torna-se possível avaliar a estrutura do solo, como distribuição do tamanho de poros, além da forma e posição relativa dos agregados e poros (PAGLIAI, 1987; FARIA et al., 1998; SCHAEFER et al., 1999). Esses métodos possibilitam a quantificação da porosidade e distribuição dos poros no perfil revolvido pelos mecanismos de abertura do sulco da semeadora–adubadora, viabilizando o estudo da relação solo–semente (REIS, 2000). Para tanto, é necessário realizar análise de imagens de seções finas de blocos impregnados, preparados a partir de amostras de solo não deformadas e que contenham a semente. Entre as várias aplicações práticas da micromorfologia, pode-se acrescentar o estudo dos microclimas na região da semente e do sistema radicular da cultura.

A caracterização desses atributos permite também a identificação de diferentes tipos de degradação da estrutura do solo, como a formação de camadas compactadas e de encrostamentos da superfície ou em determinado perfil, ambos decorrentes do manejo intensivo do solo (PAGLIAI, 1994; FARIA et al., 1998; VALENTIN e BRESSON, 1992). Porém, a quantificação da densidade do solo por métodos tradicionais, como torrão parafinado e anel volumétrico, não possui sensibilidade suficiente para trabalhar com camadas muito finas de solo, como os resultados da ação mecânica dos mecanismos de abertura do sulco de semeadoras–adubadoras.

Solos com práticas de manejo intensivas têm, em geral, maior porosidade total que solos com preparo reduzido (MIEDEMA, 1997). Porém, os primeiros indicaram variações periódicas maiores, e as proporções de bioporos e poros de transmissão, úteis para a movimentação de água e crescimento de raízes, são geralmente maiores em preparo reduzido (PAGLIAI, 1994). SIQUEIRA (1995), comparando sistemas utilizados em preparo de solos, não encontrou diferenças significativas nos valores de densidade do solo e porosidade total. SCHAEFER et al. (2001), utilizando diferentes sistemas de preparo do solo, verificaram, com o auxílio de técnicas micromorfométricas, formação de

camadas com menor porosidade nos sistemas que envolveram a grade pesada; observaram, ainda, que o uso dessa grade resultou em mudanças na continuidade dos poros do solo. No sistema de plantio direto, esses autores verificaram boa conexão entre os macroporos, sem revelar descontinuidade entre a superfície e as camadas inferiores.

De acordo com REIS (2000), o contato solo–semente, quantificado pela análise micromorfológica de blocos polidos de solo, evidenciou que o teor de água afeta os valores da macroporosidade, apresentando esta maior nos maiores teores de água do solo.

2.5. Tomografia computadorizada

O estudo da relação solo–semente requer metodologias apropriadas, que possam melhor caracterizar a camada de solo próximo à semente. Os métodos tradicionais para determinação da relação solo–semente e densidade próximo à semente são empíricos e não possuem sensibilidade suficiente como o método da tomografia computadorizada.

Este método fornece imagens contínuas de seções transversais de objetos, por meio do princípio da atenuação da radiação nos meios materiais (MACEDO, 1997). Vários autores, desenvolvendo trabalhos com a tomografia computadorizada aplicada à física do solo, demonstraram sua utilização na determinação da densidade do solo em camadas muito finas e de forma contínua (VAZ et al., 1989; CRESTANA et al., 1992; JOSCHKO et al., 1993; SANTOS, 2000).

VAZ et al. (1989), utilizando um tomógrafo computadorizado de resolução milimétrica no estudo da compactação de solos causada pela ação de máquinas agrícolas, detectaram pequenas variações na densidade em camadas da ordem de milímetros. A aplicação dessa técnica na determinação da umidade e densidade do solo simultaneamente mostrou-se bastante satisfatória (BIASSUSI, 1996).

PEDROTTI (1996) comparou a tomografia computadorizada ao método do anel volumétrico para determinação da densidade do solo, visando avaliar a compactação de um solo cultivado em diferentes sistemas de manejo. Esse método apresentou vantagens, por permitir o detalhamento da variação da densidade ao longo do perfil, enquanto o anel volumétrico expressou um valor médio pouco representativo.

JENSSEN e HEYERDAHL (1988), utilizando a técnica da tomografia computadorizada como ferramenta de diagnóstico da densidade em colunas de solo, observaram boa coincidência entre as curvas dessa tomografia e aquelas da densidade.

SANTOS (2000) empregou essa técnica, com resoluções micrométrica e milimétrica, para o estudo do ciclo de umedecimento e secagem, em diferentes intervalos, sobre a microestrutura, densidade e dinâmica hídrica dos solos. Observou maiores modificações na reposição de água a cada quatro dias e a tendência de incremento da densidade com a profundidade.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido durante a estação de inverno do ano de 2002, numa área experimental da Universidade Federal de Viçosa, no município de Coimbra, MG, em altitude de 716 m, longitude de 42° 48' S e latitude de 20° 51' W(Gr). Essa região apresenta precipitação média anual de 1.300 a 1.400 mm, concentrada principalmente no período de outubro a março, umidade relativa média anual de 80 a 85% e temperatura média anual de 19 °C. Os testes de campo foram realizados em junho de 2002, período em que se observou precipitação inferior à média anual.

A área experimental tem aproximadamente 0,7 ha, com topografia apresentando declividade média de 30%. Essa área encontrava coberta com vegetação densa, predominando o capim-sapé (*Imperata brasiliensis*) e o capim-braquiária (*Brachiária decumbens* Stapf).

3.1. Caracterização do solo antes do plantio

Os plantios foram realizados em um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), classe de solo muito utilizada no Brasil para a cultura do milho.

Antes de iniciar os testes, foi feita a caracterização física do solo, determinando-se fatores como densidade do solo, granulometria, densidade de partículas, porosidade total, teor de água (EMPRESA ... – EMBRAPA, 1997) e resistência do solo à penetração (AMERICAN... – ASAE, 1990). Todas essas análises foram feitas no Laboratório de Física e Água do Solo do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG.

3.1.1. Análise granulométrica

Esta análise foi feita, seguindo-se o procedimento de rotina (EMBRAPA, 1997), em que as amostras deformadas foram secadas inicialmente à sombra, destorroadas e peneiradas em peneiras de 2 mm, obtendo, assim, a TFSA (terra fina secada ao ar). Tomou-se uma amostra de 20 g de TFSA, à qual foram adicionados 100 ml de água destilada e 10 ml de NAOH 0,1 N; a amostra foi agitada, ficou em repouso durante 12 horas e, posteriormente, foi transferida para um agitador mecânico, fazendo-se uma agitação rápida de 15 minutos. Depois do período de repouso indicado, fez-se a separação da areia das demais partículas por peneiramento, utilizando uma peneira de 20 cm de diâmetro e malha de 0,053 mm. A fração de argila foi obtida pelo método da pipeta e a porcentagem de silte, pela diferença entre a massa total e as frações de areia e argila. O solo estudado foi um solo argiloso, constituído por 430 g kg⁻¹ de argila, 190 g kg⁻¹ de silte e 390 g kg⁻¹ de areia.

3.1.2. Densidade do solo

Utilizando-se um trado Uhland com um anel volumétrico, foram coletadas amostras na faixa de 0 a 100 mm, com três repetições por parcela experimental. O valor da densidade do solo foi estabelecido pela relação entre a massa de solo secado em estufa a 105 °C e o seu volume (EMBRAPA, 1997). O solo apresentou densidade média de 1,14 kg dm⁻³.

3.1.3. Densidade de partículas

Os valores da densidade de partículas foram obtidos pela divisão da massa de sólidos correspondentes a 20 g de TFSE (terra fina secada em estufa) pelo respectivo volume, com três repetições para cada bloco. Foram usados balão volumétrico e álcool etílico para determinar o volume dos sólidos (EMBRAPA,

1997). O solo estudado apresentou densidade de partículas média de $2,44 \text{ kg dm}^{-3}$ para os teores de água.

3.1.4. Porosidade total

A porosidade total foi calculada, com base nas densidades das partículas e do solo, pela Equação 1 (EMBRAPA, 1997).

$$pt = \left(1 - \frac{ds}{dp} \right) \quad (1)$$

em que:

pt - porosidade total, em $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$;

ds - densidade do solo, em $\text{kg}.\text{dm}^{-3}$; e

dp - densidade das partículas, em $\text{kg}.\text{dm}^{-3}$.

O valor de porosidade média do solo estudado foi de $0,54 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

3.1.5. Resistência do solo à penetração

Por ocasião do teste, foi determinada a resistência do solo à penetração, de acordo com a norma ASAE S313.2 (ASAE, 1990), com três repetições por parcela experimental, obtendo-se o índice de cone de 0 a 100 mm de profundidade (Equação 2). Utilizou-se um penetrógrafo de registro contínuo, equipado com um cone possuindo ângulo de vértice de 30° e área da base de 200 mm^2 , haste de 700 mm de comprimento e 10 mm de diâmetro. Ao mesmo tempo, foi feito o monitoramento do teor de água do solo.

$$IC_{100} = \frac{\sum \text{das leituras de 0 a 100 mm}}{\text{número de leituras}} \quad (2)$$

Tabela 1 - Valor médio e coeficiente de variação da resistência à penetração (MPa) nos diferentes teores de água

Teor de Água do Solo	Média	CV (%)
U1	2,47	14,5
U2	1,43	6,9
U3	0,85	11,2

3.2. Caracterização da cobertura vegetal

As máquinas foram testadas em um único tipo de cobertura vegetal: vegetação espontânea ou mato, predominando o sapé (*Imperata brasiliensis*) e o capim-braquiária (*Brachiaria decumbens Stapf*) que foi implantado para o ensaio. O nível de cobertura foi determinado antes da realização do plantio, fazendo-se a coleta da palha em uma área de 1 m², escolhida em locais mais representativos dentro das parcelas experimentais (5 t ha⁻¹ de massa seca). Estas parcelas foram dessecadas com a aplicação de herbicidas, de ingrediente ativo Glyphosato, na dosagem de 5 L/ha, diluído em água, correspondendo a um volume de aplicação de 300 L/ha. O plantio foi feito depois do período de carência do herbicida.

3.3. Caracterização das máquinas utilizadas

Utilizou-se como fonte de potência nos testes experimentais um trator Massey Ferguson, modelo 265 4 × 2 TDA, com potência máxima de 48 kw (61 c.v.) no motor a 2.000 rpm, com rodado de pneus.

A semeadora-adubadora avaliada foi uma Seed-Max, modelo PC 2123, com configuração para semear duas linhas na cultura do milho, com espaçamento de 1 m entre linhas (Figura 1). A máquina apresentava 640 kg de massa total durante os testes, mecanismos de simples funcionamento, constituídos por um conjunto rompedor e distribuidor de fertilizantes do tipo disco de corte mais facão e disco de corte mais disco duplo defasado para o adubo, distribuidor de

sementes tipo disco duplo defasado e com dosador de sementes tipo discos alveolados, com a dosagem feita através da troca de engrenagens, e acionados por pneus de tração. O mecanismo de compactação da semeadora–adubadora foi do tipo roda de borracha e o outro, tipo roda lisa. Por ser de pequeno porte e acoplada ao engate de três pontos, essa máquina é adequada para atender às necessidades de pequenas propriedades.

Na Figura 2, mostram-se os mecanismos de abertura do sulco (facão e disco duplo) e elementos compactadores (roda de borracha e roda lisa) utilizados nos tratamentos.

A semeadora–adubadora foi testada em uma única velocidade ($V = 4,7$ km/h), obtida nas unidades experimentais, correspondendo à 5ª marcha a 1.600 rpm. Essa velocidade está dentro de uma faixa indicada para operação de semeadura (BALASTREIRE, 1990; OLIVEIRA, 2000).



Figura 1 – Semeadora–adubadora.



Figura 2 - Mecanismos de abertura do sulco e elementos compactadores.

3.4. Caracterização das parcelas experimentais

3.4.1. Teor de água do solo

Trabalhou-se com teores de água, em condições de campo, que estavam dentro da faixa friável do solo (limite de plasticidade de $0,41 \text{ kg kg}^{-1}$), que é a recomendada para operações de semeadura. No campo foi aplicada a lâmina de água correspondente ao teor de água desejado, e depois, no laboratório, determinaram-se os valores pelo método gravimétrico (método-padrão de estufa) (Tabela 2), em função da relação entre a massa de água e a massa do solo secado em estufa a 105°C (EMBRAPA, 1997).

O teor de água do solo foi obtido, calculando-se a média de quatro amostras, coletadas em cada bloco do delineamento experimental. Esse valor e o coeficiente de variação estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valor médio e coeficiente de variação do teor de água do solo na semeadura (kg kg^{-1})

Teor de Água do Solo	Média	CV (%)
U1	0,22	4,7
U2	0,28	5,9
U3	0,34	3,4

3.4.2. Delineamento estatístico

Cada unidade experimental ocupou uma área de 60 m², sendo 30 m de comprimento e 2 m de largura.

Montou-se o experimento no esquema de parcelas subsubdivididas, em que as parcelas constituíram os teores de água do solo (0,22; 0,28; e 0,34 kg kg⁻¹) as subparcelas os tipos de hastes sulcadoras (facão e discos duplos) (Figura 2) e as subsubparcelas o tipo de elementos compactadores (borracha e lisa) (Figura 2), no delineamento em blocos casualizados, com três repetições, tendo-se no total 36 parcelas. As amostras foram retiradas no dia do plantio e quatro dias após a emergência da primeira plântula.

3.5. Plantio

Antes do plantio, foi retirada uma amostra das sementes a serem utilizadas, para avaliação da germinação. O teste foi feito, utilizando-se como substrato o rolo de papel germitest, umedecido com água destilada na proporção de 2,5:1 (peso da água: peso do papel), com quatro repetições de 50 sementes, quando foram colocadas nos rolos de papel oito subamostras de 25 sementes. A seguir, as sementes foram depositadas em um germinador à temperatura constante de 25 °C. A avaliação do teste foi realizada conforme recomendações das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992), tendo estas apresentado 89,5% de germinação (plântulas normais).

O plantio do milho foi efetuado com uma semeadora-adubadora de plantio direto, substituindo-se os mecanismos de acordo com os tratamentos. Antes da realização dos testes, a máquina foi regulada, visando ao plantio das sementes de milho com espaçamento de 1.000 mm entre linhas, oito sementes m⁻¹ (equivalente a 80.000 sementes/hectare⁻¹) e profundidade de plantio de 5 cm. O lote de sementes utilizado foi classificado como 22 M.

3.6. Níveis de cargas aplicadas ao solo pelo elemento compactador

Os níveis de cargas aplicadas sobre as sementes foram determinados por meio de uma célula de carga da marca Omega, modelo LCCA-1k, com capacidade de 454 kgf e escala de saída de 2,999 mV por volts de entrada, acoplada à roda compactadora. Com o auxílio de um multímetro (marca Tektronix, modelo DMM 252), foi determinada a tensão de saída da célula durante o percurso em cada parcela experimental, que posteriormente foi utilizada para determinar a carga aplicada sobre a semente.

No laboratório, realizou-se a calibração da célula de carga com pesos conhecidos, e a voltagem foi medida com um multímetro, determinando, assim, a relação entre a voltagem e o peso aplicado pela roda (Equação 3).

$$P = 1,0267 * V + 1,241 \quad (3)$$

em que:

P - peso aplicado sobre a semente (kg); e

V - voltagem lida no campo.

De posse dos valores de peso corrigidos, foi acrescentado o peso das rodas compactadoras da semeadora-adubadora, obtendo-se, assim, as cargas aplicadas sobre o solo por essas rodas.



Figura 3 - Multímetro acoplado à roda compactadora.

A área de contato do rodado com o solo foi determinada com o auxílio de tinta (“splay”), vidro e um planímetro. Com a máquina parada, aplicou-se tinta e, com o auxílio do vidro e papel transparente, delimitou-se a área de contato com o solo. Essa área foi transferida para papel vegetal e determinada com o auxílio de um planímetro.

3.7. Avaliação pós-plantio

Após o plantio foram realizadas coletas de amostras para determinação do diâmetro médio ponderado (DMP), relação solo–semente pelo método da tomografia e micromorfologia, resistência do solo à penetração, temperatura do solo, número de sementes e índice de velocidade de emergência.

Diariamente foi contado o número de plantas de milho acima da superfície do solo, nos 10 m centrais das parcelas, até que esse número se mantivesse constante, obtendo-se, assim, o estande final.

A temperatura do solo foi medida até que ocorresse toda a germinação, atingindo, assim, o estande final. Essa temperatura foi observada na profundidade de plantio, no período compreendido do primeiro até o décimo quarto dia após a semeadura (COAN et al., 1993). O valor médio de temperatura encontrado no período foi de $25,2 \pm 3,0$ °C.

O número de sementes foi determinado em função da distribuição longitudinal, considerando-se também as sementes não-germinadas. A quantidade de sementes não-germinadas e germinadas correspondeu ao número de sementes por hectare (MANTOVANI et al., 1992).

3.7.1. Índice de velocidade de emergência de plântulas

O índice de velocidade de emergência de plântulas foi avaliado em um comprimento de 10 m na linha de plantio. O número de sementes inicial foi determinado de acordo com a uniformidade de distribuição das sementes pela semeadora–adubadora. A contagem das plântulas emergidas foi feita diariamente

até os 14 dias após o plantio, sendo o resultado do total de plântulas emergidas expresso em porcentagem.

A determinação do índice de velocidade de emergência de plântulas foi feita, utilizando-se a fórmula proposta por MAGURE (1962) e substituindo o termo germinação por emergência.

$$IVE = (E_1/N_1 + E_2/N_2 + \dots + E_n)/N_n \quad (4)$$

em que:

IVE - índice de velocidade de emergência;

E_1, E_2, E_n - número de plantas emergidas, na primeira, segunda, ..., última contagens; e

N_1, N_2, N_n - número de dias da semeadura à primeira, segunda, ..., última contagens.

3.7.2. Profundidade de plantio

Para cada unidade experimental, foi definida, ao acaso, uma faixa de 10 m, onde as plântulas foram cortadas na superfície e os mesocótilos com as sementes, removidos do solo. Mediu-se a porção situada entre a parte inferior da semente e a superfície do solo, utilizando um paquímetro, para caracterizar a profundidade média de deposição da semente (MANTOVANI et al., 1992).

3.7.3 Resistência do solo à penetração após o plantio

Três dias após o plantio, foi determinada a resistência do solo à penetração sobre a linha de plantio, utilizando-se um penetrômetro de percussão (impacto) (VIEIRA e DIAS, 1997), com três repetições por parcela experimental, obtendo-se o índice de cone de 0 a 100 mm de profundidade. A resistência à penetração foi determinada pela equação a seguir:

$$RP = \frac{M^2 * h * n}{2(M + m)s * \ddot{A}Z} \quad (5)$$

em que:

RP - resistência a penetração (kgf.cm^{-2});
M - massa do corpo de impacto (0,0844 kg);
m - massa do penetrômetro descontando o peso (0,170 kg);
h - altura de queda do peso (23,5 cm);
s - seção máxima da ponta do cone ($0,541 \text{ cm}^2$);
n - número de golpes; e
 ΔZ - afundamento correspondente (8,5 cm).

3.7.4. Diâmetro médio ponderado (DMP) e finos < 2,0 mm

A avaliação do diâmetro médio ponderado (DMP) foi feita para caracterizar a relação entre o diâmetro médio ponderado e o contato do solo com a semente. As amostras de solo foram coletadas no sulco onde a semente se encontrava, utilizando-se caixas de $250 \times 100 \times 100 \text{ mm}$, sendo, posteriormente, secadas ao ar e peneiradas (REIS, 2000). O teor de água residual foi obtido pelo método gravimétrico a partir de subamostras de solo, em todas as repetições. Esses valores foram utilizados na correção dos resultados obtidos no peneiramento, com o solo secado ao ar. As frações obtidas em cada malha foram pesadas em balança digital (REIS, 2000).

Foi utilizada a sequência de malhas 9,52; 4,76; 4,0; 2,83; e 2,0 mm, dispostas verticalmente em um agitador mecânico. O tempo de peneiramento (30 segundos) foi determinado por um peneiramento prévio, de acordo com a completa separação das frações.

Os valores de DMP foram obtidos com a seguinte equação:

$$DMP = \frac{\sum_i M_i \times X_i}{\sum_i M_i} \quad (6)$$

em que:

DMP - diâmetro médio ponderado;

M_i - massa de solo retida na peneira i (g); e

X_i - malha da peneira i (mm).

O solo que ficou retido na última peneira foi considerado como finos ($< 2,0$ mm). Com esse valor foi determinada a porcentagem de finos $< 2,0$ mm, em relação à massa total de solo.

3.7.5. Porosidade no contato solo-semente

Após o plantio, foram coletadas amostras indeformadas de solo de cada parcela experimental (REIS, 2000), dentro das quais deveria ter pelo menos uma semente.

Sobre a linha de plantio, em local representativo, foi colocada a caixa de metal de dimensões de $0,16 \times 0,08 \times 0,08$ m, a qual, com a ajuda de um cavador tipo boca de lobo, foi retirada. A amostra foi colhida, escavando-se ao redor do perímetro da caixa até uma profundidade de 0,15 m. Depois, com o auxílio de uma faca, foi retirado o excesso de solo na parte de baixo da caixa. Finalmente, a amostra foi acondicionada em caixa, com papel-jornal e fita-crepe, para o transporte, e levada para o laboratório, evitando-se impactos.

No laboratório, as amostras foram secadas à sombra por 48 horas e, depois, em estufa a 65°C , por 24 horas. Em seguida, a caixa foi colocada dentro de um saco plástico e acondicionada.

Cada amostra recebeu uma mistura impregnadora, previamente preparada, até dois centímetros acima da superfície. Nessa mistura, foram utilizados 660 ml de resina de poliéster, 340 ml de estireno, 10 ml de catalisador da resina e 6,0 g do pigmento Uvitex líquido (Ciba-Geigy[®]) (SCHAEFER, 1995; REIS, 2000).

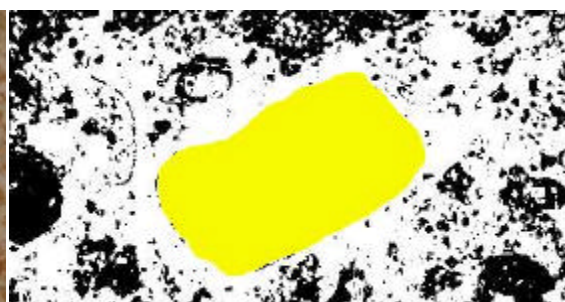
As amostras foram deixadas em ambiente sombreado e ventilado. Efetuou-se uma segunda impregnação, com concentrações iguais à primeira, nas amostras que absorveram mais. Assim que a impregnação foi concluída, realizaram cortes sucessivos de 0,01 m de espessura ao longo do eixo vertical, nos microperfis impregnados, utilizando-se uma serra diamantada, até que foi identificada a semente. Os cortes foram utilizados para estudo da porosidade, via

lâminas. As lâminas dos microperfis foram manipuladas em “scanner” e tratadas no programa Quantiporo (FERNANDES FILHO e VIANA, 2001), delimitando-se uma área de 2 cm² com o centro na semente; posteriormente, com o mesmo programa, foi feita a determinação quantitativa da porosidade, em percentual, correspondente à área branca total da imagem (Figuras 4, 5 e 6). Os dados gerais de porosidade, medidos pelo programa Quantiporo, em torno da semente caracterizaram as condições físicas do contato solo-semente.

O uso do pigmento UV fluorescente Uvitex na forma líquida não apresentou os mesmos resultados que o pigmento sólido (Uvitex, Ciba-Geigy[®]), o que inviabilizou o emprego dos blocos polidos para as microfotografias, que era o objetivo inicial do projeto. Assim, foi necessária a confecção de lâminas polidas, que oneraram e demandaram um tempo maior de manipulação no programa Quantiporo.



Imagem original (facão e roda de borracha)



Tratada no Quantiporo



Imagem original (facão e roda lisa)



Tratada no Quantiporo



Imagem original (disco duplo e roda de borracha)



Tratada no Quantiporo



Imagem original (disco duplo e roda lisa)

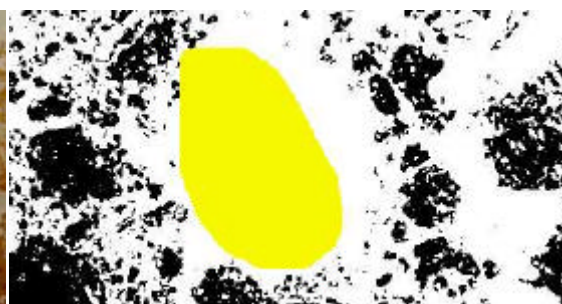


Tratada no Quantiporo

Figura 4 - Fotos ilustrativas dos microperfis do solo, na região da semente, com teor de água de $0,22 \text{ kg. kg}^{-1}$.



Imagem original (facão e roda de borracha)



Tratada no Quantiporo



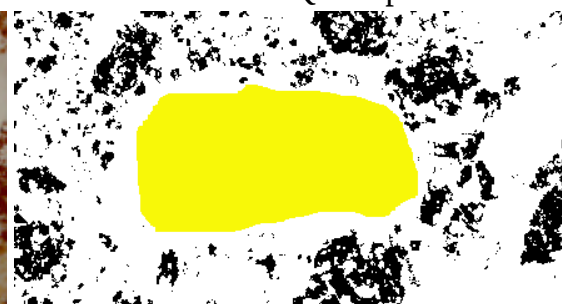
Imagem original (facão e roda lisa)



Tratada no Quantiporo



Imagem original (disco duplo e roda de borracha)



Tratada no Quantiporo



Imagem original (disco duplo e roda lisa)



Tratada no Quantiporo

Figura 5 - Fotos ilustrativas dos microperfis do solo, na região da semente, com teor de água de $0,28 \text{ kg. kg}^{-1}$.



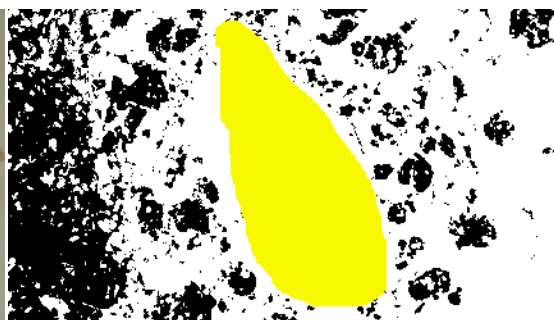
Imagem original (facão e roda de borracha)



Tratada no Quantiporo



Imagem original (facão e roda lisa)



Tratada no Quantiporo

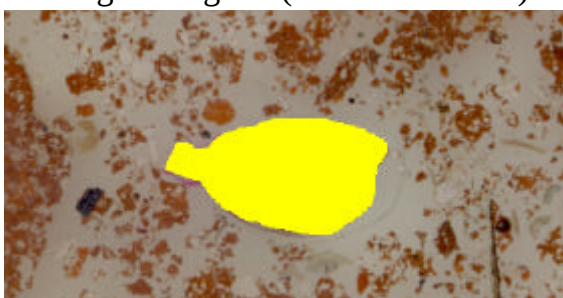


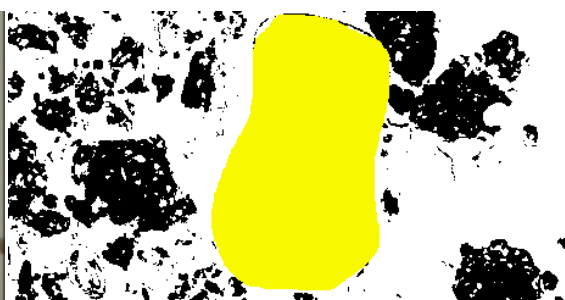
Imagem original (disco duplo e roda de borracha)



Tratada no Quantiporo



Imagem original (disco duplo e roda lisa)



Tratada no Quantiporo

Figura 6 - Fotos ilustrativas dos microperfis do solo, na região da semente, com teor de água de $0,34 \text{ kg. kg}^{-1}$.

3.7.6. Densidades mínima, média e máxima determinadas por tomografia computadorizada

Foi utilizado um tomógrafo de terceira geração (NAIME, 2001), constituído de um sistema fonte-detector posicionado em uma guia circular, que realiza movimentos de rotação ao redor da amostra. Utilizaram-se uma fonte de raios gama (^{241}Am , $E = 59,54 \text{ keV}$, $1,11 \times 10^9 \text{ Bq}$) e um arranjo de 256 detectores composto de material semiconductor. Os movimentos de elevação e rotação foram executados por dois motores de passo, controlados por um sistema eletrônico e um computador dedicado à eletrônica embarcada padrão PC/104.

Antes de iniciar a análise, secaram-se as amostras em estufa a 60°C , por 24 horas. Posteriormente, elas foram colocadas na base do tomógrafo, dando início à obtenção das imagens. Trabalhou-se com 16 planos horizontais, em que o feixe em leque atravessou a amostra de 5 em 5 mm até a profundidade de 80 mm.

A expressão geral, que descreve a interação de um feixe de fótons e a amostra de solo com a semente, é:

$$I = I_0 e^{-\int \mu dx} \quad (7)$$

em que I e I_0 são as intensidades da radiação (contagem por segundo) do feixe emergente e incidente, respectivamente; e μ (cm^{-1}), coeficiente de atenuação linear do solo e x (cm), espessura da amostra. O μ foi calculado relacionando o coeficiente de atenuação em massa (μ_m) e a densidade do material (ρ), isto é:

$$\mu = \mu_m \rho \quad (8)$$

O valor do coeficiente de atenuação em massa (μ_m), obtido experimentalmente para o solo estudado, foi de $0,3076 \text{ cm}^2/\text{g}$. Esse coeficiente depende da composição química do solo e da energia do feixe incidente.

Um programa de reconstrução e visualização de imagens, desenvolvido utilizando-se a linguagem Visual Basic da Microsoft e Borland C++ Builder (NAIME, 2001), foi responsável pelo processamento dos dados, ou retroprojeção e apresentação da imagem. Além da reconstrução, o programa permitiu

determinar parâmetros estatísticos como média, desvio-padrão e coeficiente de variação das unidades tomográficas em áreas selecionadas na imagem.

As determinações foram realizadas com um cilindro de solo, que deveria conter as sementes; esse cilindro tinha 40 mm de diâmetro e 80 mm de altura. Na localização das áreas avaliadas, utilizou-se o pixel (palavra derivada dos termos da língua inglesa “picture element ou picture shell”), elemento de imagem, de forma quadrada, com dimensões definidas (3,446 mm²).

Cada unidade experimental foi dividida em seis subunidades, devido às limitações do tomógrafo ao diâmetro da amostra. Dentro das tomografias foi demarcado um quadrado de 25 x 25 pixels, inscrito na subunidade, correspondendo a uma área de 625 pixels (Figura 10); como cada pixel corresponde a uma área de 0,318 mm² (0,564 mm x 0,564 mm), a área total correspondente a cada tomografia foi de 198,75 mm², dentro da qual foram determinados os valores mínimo, médio e máximo de densidade.

3.7.6.1. Densidade do solo na região da semente

Um cilindro de alumínio de cada subunidade experimental foi colocado em estufa a 60 °C, por 24 horas, para eliminar a umidade. Em seguida, foram levados individualmente para um equipamento composto de uma fonte de 241 Am, com feixe colimado, de um sistema de detecção, de um sistema para contagem de radiação e de uma plataforma com motor de passo para permitir a movimentação vertical da amostra (VAZ et al., 1997). Foram realizadas 16 medições de atenuação da radiação, entre 0 e 80 mm de profundidade.

A densidade foi determinada através da seguinte equação:

$$\tilde{n} = \frac{1}{x \cdot m} \ln \frac{I_0}{I} \quad (9)$$

em que:

I_0 - radiação que atravessa o recipiente vazio (cps);

I - radiação que atravessa a unidade experimental (cps), no sentido horizontal;

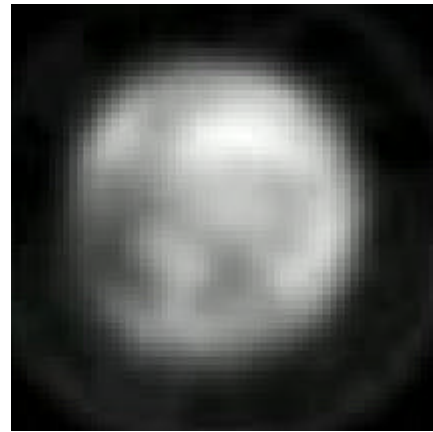
x - espessura interna do recipiente (cm); e

μ_m - coeficiente de atenuação em massa do solo ($\text{cm}^{-2}.\text{g}$).

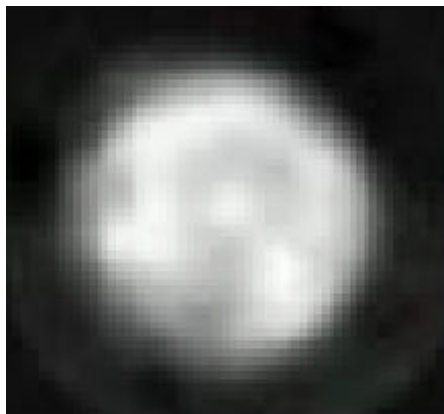
O coeficiente médio de atenuação em massa, obtido experimentalmente para o solo em estudo, foi de $0,3076 \text{ g.cm}^{-2}$. A partir desse valor foram obtidos os de densidade do solo na região da semente.



Facão e roda de borracha



Facão e roda lisa

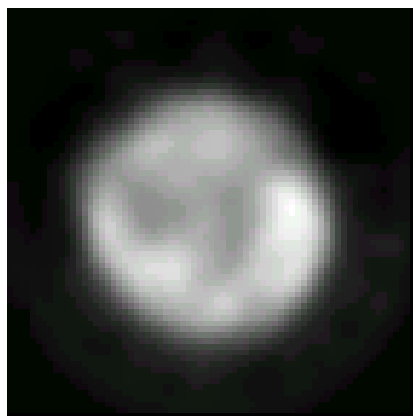


Disco duplo e roda de borracha



Disco duplo e roda lisa

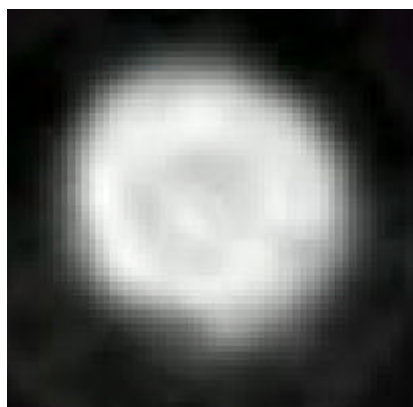
Figura 7 - Tomografias ilustrativas na região da semente com teor de água de $0,22 \text{ kg. kg}^{-1}$.



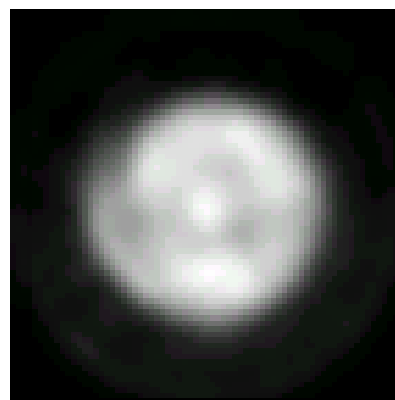
Facão e roda de borracha



Facão e roda lisa

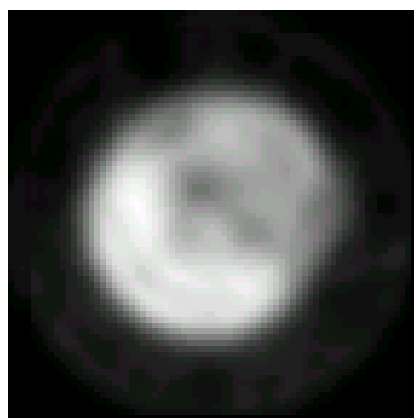


Disco duplo e roda de borracha

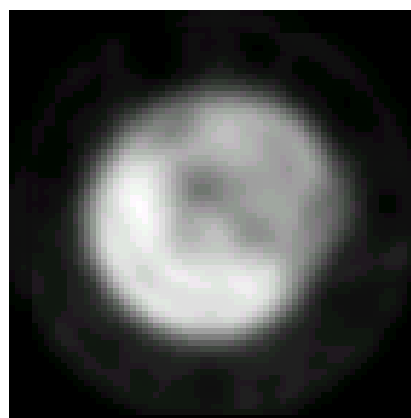


Disco duplo e roda lisa

Figura 8 - Tomografias ilustrativas na região da semente com teor de água de $0,28 \text{ kg kg}^{-1}$.



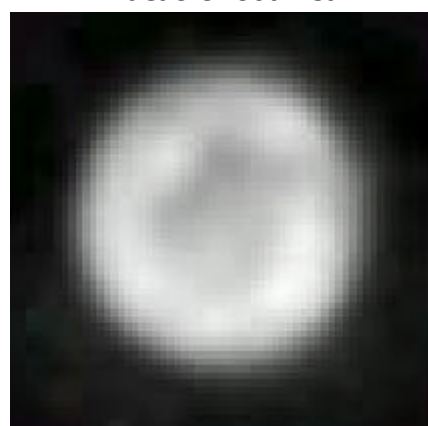
Facão e roda de borracha



Facão e roda lisa



Disco duplo e roda de borracha



Disco duplo e roda lisa

Figura 9 - Tomografias ilustrativas na região da semente com teor de água de $0,34 \text{ kg kg}^{-1}$.

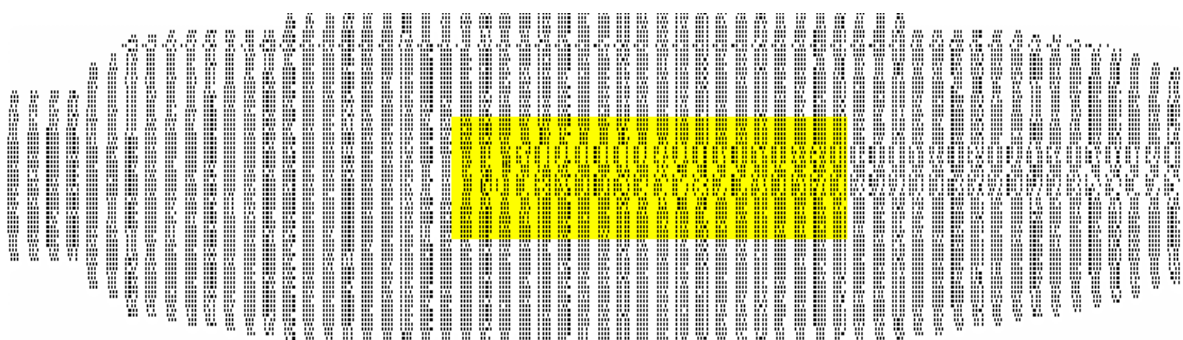


Figura 10 - Área utilizada para determinação da densidade do solo pela tomografia.

3.8. Análise estatística

Os resultados foram submetidos às análises de variância e regressão, conforme os teores de água do solo, elementos rompedores e elementos compactadores, utilizando-se o programa SAEG versão 8.0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises de variância apresentados nas Tabelas 3 e 4 indicam que: o teor de água do solo (UM) afetou significativamente o diâmetro médio ponderado e a resistência do solo à penetração após o plantio; e o sulcador (SUL) afetou significativamente a profundidade e as densidades máxima e média medidas pelo tomógrafo. A interação entre o sulcador e o teor de água foi significativa na profundidade de plantio e macroporosidade do solo. Os elementos compactadores (EC) afetaram significativamente a pressão, a profundidade de plantio e a resistência do solo à penetração após o plantio. A interação tripla entre o teor de água no solo, o mecanismo sulcador e os elementos compactadores nas variáveis estudadas não foi significativa.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância das variáveis pressão aplicada sobre a linha de plantio (PR), número de sementes (S), profundidade de plantio (PROF), índice de velocidade de emergência (IVE), percentagem de emergência de plantas (EME) e resistência do solo à penetração três dias após o plantio (RPD)

FV	GL	Quadrado Médio					
		PR	S	PROF	IVE	EME	RPD
BL	2	0,00021	0,0124	3,4736	0,0075	44,0520	0,0147
UM	2	0,0011	0,0216	0,3113	0,4825	141,005	0,0823*
ERRO (A)	4	0,00054	0,0401	0,4096	0,1775	111,933	0,0037
SUL	1	0,000003	0,1512	3,7051*	0,0069	173,130*	0,0056
SUL*UM	2	0,0007	0,3179	2,9050*	0,1003	6,92521	0,0159
ERRO (B)	6	0,0006	0,1235	0,4825	0,2275	30,4421	0,0050
EC	1	0,0756*	0,0278	4,2529*	0,0069	1,7313	0,1613*
EC*UM	2	0,0025	0,0278	0,0125	0,0369	28,2779	0,0282
EC*SUL	1	0,00003	0,0772	0,2671	0,4225	1,7313	0,0005
EC*SUL*UM	2	0,00091	0,1512	0,3354	0,4558	125,231	0,0056
RESÍD	12	0,00084	0,2068	0,3678	0,6208	35,1551	0,0076
Média		0,25	7,6	3,94	9,4	83,5	0,48
CV (%)		11,4	6,0	15,4	8,4	7,1	18,2

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Tabela 4 - Resumo da análise de variância das variáveis diâmetro médio ponderado (DMP), finos <2 mm, densidade mínima medida pelo tomógrafo (DMI), densidade média medida pelo tomógrafo (DME), densidade máxima medida pelo tomógrafo (DMA) e macroporosidade do solo (MACRO)

FV	GL	Quadrado Médio					
		DMP	F	DMI	DME	DMA	MACRO
BL	2	0,1664	34,477	0,03198	0,03634	0,00877	1,8024
UM	2	1,6606*	144,00	0,04406	0,00337	0,00584	12,0424
ERRO (A)	4	0,0745	87,195	0,05198	0,04956	0,01428	8,0123
SUL	1	0,4028	71,251	0,02368	0,0988***	0,10160*	105,9641*
SUL*UM	2	0,4133	29,752	0,10187	0,04674	0,04130	101,4005*
ERRO (B)	6	0,5553	125,05	0,06761	0,03027	0,01623	43,0256
EC	1	0,1579	57,358	0,00512	0,00051	0,03404	8,4802
EC*UM	2	0,0805	6,409	0,00096	0,00122	0,00257	70,6105
EC*SUL	1	0,0795	79,123	0,07990	0,01930	0,00369	3,1008
EC*SUL*UM	2	0,1660	20,044	0,00434	0,00257	0,00049	0,00000
RESÍD	12	0,1729	19,074	0,04536	0,02745	0,01646	19,0023
Média		4,52	28,6	0,60	1,05	1,35	66,05
CV (%)		9,2	15,3	35,6	15,7	9,5	5,6

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

*** Significativo a 10% de probabilidade, pelo teste F.

4.1. Avaliações durante a operação de plantio

4.1.1. Níveis de carga aplicada ao solo pelos elementos compactadores

Na Tabela 6, mostra-se a influência dos mecanismos de abertura do sulco e dos elementos compactadores, nos diferentes teores de água do solo, sobre a pressão aplicada pela roda durante a operação de plantio. Verifica-se, nessa tabela, que não houve efeito significativo dos mecanismos de abertura do sulco dentro dos teores de água estudados, apresentando os mesmos valores médios. O teor de água do solo não teve influência na pressão aplicada pelos elementos compactadores.

Tabela 6 - Valores médios de pressão aplicada (kgf cm^{-2}) sobre a linha de plantio

Teor de Água no Solo (kg kg ⁻¹)	Roda de Borracha			Roda Lisa		Média	
	Facão	Disco	Média	Facão	Disco		
0,22	0,19	0,18	0,19	0,31	0,29	0,30	0,23
0,28	0,22	0,24	0,23	0,29	0,30	0,29	0,26
0,34	0,22	0,20	0,21	0,30	0,32	0,31	0,26
Média	0,21	0,21		0,30	0,30		0,25

O formato dos elementos compactadores exerceu interferência significativa na pressão aplicada na linha de plantio, como mostrado na Tabela 3. A pressão média aplicada pela roda lisa foi de $0,30 \text{ kgf cm}^{-2}$ e a pressão aplicada pela roda de borracha, de $0,21 \text{ kgf cm}^{-2}$. Isso deveu-se ao fato de a roda lisa apresentar menor área de contato com o solo. Outro fator que deve ser levado em conta é a diferença entre os dois mecanismos de compactação, pois, enquanto a roda lisa aplica pressão lateralmente ao sulco, o mesmo não ocorre com a roda de borracha, que aplica carga sobre a linha de plantio. HUMMEL et al. (1981), trabalhando com diferentes tipos de mecanismos compactadores, afirmaram que o desenho e a operação do elemento compactador têm considerável influência sobre o ambiente do solo sobre a semente sem, contudo, quantificar esse efeito sobre as propriedades do solo.

4.1.2. Distribuição de sementes na linha de plantio

Para os valores de distribuição de sementes na linha de plantio, verificou-se que não existiram diferenças estatísticas significativas, como mostrado na Tabela 3. Houve uma diferença de 5% entre a quantidade recomendada de oito sementes por metro para a observada de 7,6 por metro (Tabela 7). CASÃO JÚNIOR e SIQUEIRA (2003) relataram que, se a semeadora apresentar número de sementes inferior a 10% do recomendado, ela pode ser

considerada como boa. Essa diferença é devida à patinação da semeadora e à capacidade de enchimento dos discos. Como os mecanismos dosadores de sementes são acionados pelo rodado, se este patina o disco dosador deixa de girar, reduzindo, assim, o número de sementes por metro linear. Os depósitos trabalharam abaixo de 3/4 de sua capacidade, influenciando a capacidade de enchimento dos discos, em razão do peso sobre as sementes.

O coeficiente de variação médio da distribuição de sementes na linha de semeadura foi de 6,0% nos tratamentos estudados, como mostrado na Tabela 3. Em experimentos realizados com várias semeadoras-adubadoras, visando à avaliação da eficiência operacional na semeadura de milho, MANTOVANI et al. (1992) encontraram um coeficiente de variação médio de 12,2% em semeadoras trabalhando com diferentes mecanismos dosadores de sementes. Já OLIVEIRA et al. (2000) obtiveram um coeficiente de variação de 10,01%, nas semeadoras com dosadores tipo disco horizontal.

Tabela 7 - Valores médios de distribuição de sementes por metro linear (sementes/metro)

Teor de Água no Solo (kg kg ⁻¹)	Roda de Borracha			Roda Lisa			Média
	Facão	Disco		Facão	Disco		
	Média			Média			
0,22	7,4	7,8	7,6	7,8	7,4	7,6	7,6
0,28	7,9	7,4	7,6	7,8	7,2	7,5	7,6
0,34	7,7	7,7	7,7	7,5	7,8	7,6	7,6
Média	7,7	7,6		7,7	7,5		7,6

4.1.3. Profundidade de plantio

Na Tabela 8 são apresentados os dados de profundidade de plantio nos diferentes tratamentos estudados. Embora não-significativo, o teor de água de 0,22 kg.kg⁻¹ apresentou menor valor, causado pela dificuldade de penetração das hastes sulcadoras no solo. Como a profundidade média de plantio foi maior nos

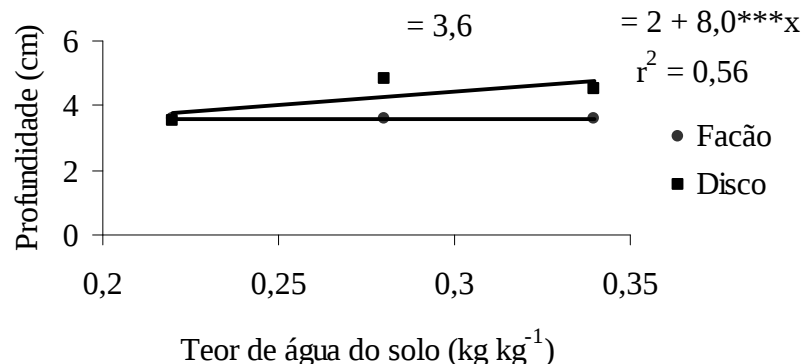
discos duplos, possivelmente seu formato tenha conferido maior estabilidade às paredes do sulco, com as sementes caindo em maior profundidade.

PORTELLA et al. (1997a) e REIS et al. (2003), avaliando a profundidade de semeadura de milho utilizando semeadoras com mecanismos tipo facão e discos duplos, também encontraram maiores profundidades de colocação da semente para mecanismos do tipo disco duplo. Já SILVA (2000), trabalhando com diferentes mecanismos sulcadores, encontrou maior profundidade de plantio quando utilizou o mecanismo de abertura tipo facão. Tal discrepância pode ser devida a comportamentos diferentes dos sulcadores em diferentes solos.

Tabela 8 - Valores médios das profundidades de plantio (cm)

Teor de Água no Solo (kg kg ⁻¹)	Roda de Borracha			Roda Lisa			Média
	Facão	Disco		Facão	Disco		
	Média			Média			
0,22	4,6	3,6	4,1	3,3	3,4	3,3	3,7
0,28	3,6	5,1	4,3	3,0	4,4	3,7	4,0
0,34	3,9	4,8	4,3	3,3	4,2	3,7	4,0
Média	4,0	4,5		3,2	4,0		3,9

A interação entre o teor de água no solo e o mecanismo de abertura do sulco foi significativa, como mostrado na Tabela 3. Por isso foi feito o desdobramento, estudando-se o efeito do teor de água do solo dentro de cada mecanismo sulcador, como mostrado na Figura 11. Não houve efeito do teor de água na profundidade de plantio do mecanismo tipo facão. No mecanismo tipo disco duplo houve tendência de aumento na profundidade de plantio com o incremento no teor de água do solo, como apresentado na Figura 11. Isso foi devido à facilidade de penetração do disco em um solo com maior teor de água.



*** Significativo a 6% de probabilidade, pelo teste t

Figura 11 - Profundidade média de plantio nos diferentes teores de água do solo, para os mecanismos tipo facão e disco.

Na Tabela 9, mostra-se o efeito do sulcador dentro de cada teor de água do solo. O mecanismo sulcador tipo disco duplo apresentou maior profundidade de plantio nos teores de água de 0,28 e 0,34 kg kg⁻¹, o que pode ter ocorrido pelo espelhamento lateral do solo, facilitando a colocação das sementes em maiores profundidades. Já no teor de água de 0,22 kg kg⁻¹ não houve diferença entre os mecanismos, o que pode ser devido à dificuldade de penetração do disco em solo mais seco. Resultados semelhantes foram encontrados por PORTELLA (1989), que observou maior facilidade de penetração dos discos, nos maiores teores de água, com a semente estando em maior profundidade.

Tabela 9 - Profundidade média de plantio (cm) nos mecanismos tipo disco e facão, nos diferentes teores de água do solo

Mecanismo Sulcador	Teor de Água no Solo (kg kg ⁻¹)		
	0,22	0,28	0,34
Facão	3,98A	3,28B	3,60B
Disco	3,53A	4,75A	4,50A

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Os elementos compactadores apresentaram diferenças entre si, independentemente do teor de água e do mecanismo de abertura do sulco, como

mostrado na Tabela 3. A roda de borracha apresentou a maior profundidade de plantio (4,2 cm), sendo significativamente superior à da roda lisa, que mostrou valor médio (3,6 cm). Isso ocorreu devido a diferenças entre os elementos compactadores; a roda de borracha contém um comprimento do braço maior que a roda lisa. As rodas compactadoras da semeadora utilizada são usadas como limitadores de profundidade, o que interfere diretamente na profundidade de plantio. Há poucos dados na literatura a respeito dos efeitos de elementos compactadores sobre a profundidade de plantio.

4.2. Avaliação após a operação de plantio

4.2.1. Índice de velocidade de emergência

Verifica-se, na Tabela 3, que não houve efeito significativo do teor de água no solo, dos mecanismos de abertura e elementos compactadores sobre o índice de velocidade de emergência. Embora não-significativo estatisticamente, houve tendência de aumento no índice de velocidade de emergência com a elevação do teor de água no solo, como mostrado na Tabela 10, apresentando maior valor no teor de água (0,34 kg kg⁻¹). Possivelmente, o maior teor de água do solo no plantio acelerou a embebição das sementes, o que proporcionou maior velocidade de germinação e, conseqüentemente, maior velocidade de emergência das plântulas.

Embora não-significativos, os mecanismos de abertura do sulco apresentaram maior valor de índice de velocidade de emergência, no teor de água do solo (0,34 kg kg⁻¹). PORTELLA et al. (1997b), estudando o efeito dos elementos de abertura do sulco e da compactação das sementes em diferentes semeadoras-adubadoras, não encontraram diferenças significativas no índice de velocidade de emergência, o que também foi observado no presente trabalho. Já TESSIER et al. (1991) e MEAD et al. (1992) verificaram que a emergência de plantas foi afetada pela evaporação e que alguns dos fatores que mais influenciaram a perda de água pelo solo deveram-se à maior mobilização dos solos pelos mecanismos de abertura do sulco. FURLANI et al. (2001) não

verificaram efeito significativo da compactação do solo no número médio de dias para a emergência de plântulas de milho.

Tabela 10 - Valores médios de Índice de Velocidade de Emergência (IVE) nos tratamentos estudados

Teor de Água no Solo (kg kg ⁻¹)	Roda de Borracha		Roda Lisa		Média		
	Facão	Disco	Facão	Disco			
	Média			Média			
0,22	9,3	9,1	9,2	9,3	9,1	9,2	9,2
0,28	9,5	9,6	9,5	9,3	9,4	9,3	9,4
0,34	9,2	9,9	9,5	10,0	9,3	9,6	9,6
Média	9,3	9,5		9,5	9,3		9,4

4.2.2. Percentagem de germinação

Verifica-se, na Tabela 3, que não houve efeito significativo do teor de água no solo e elementos compactadores sobre a percentagem de emergência de plantas. Na Tabela 11, apresentam-se os valores da percentagem de emergência de plantas. Embora não-significativo, o menor teor de água do solo apresentou maior germinação, o que possivelmente foi devido ao fato de ele ter permanecido em uma condição mais úmida por um maior período.

Independentemente do teor de água do solo e do tipo de elemento compactador, o mecanismo tipo facão apresentou maior percentagem de plantas emergidas (85,7) que o tipo disco duplo (81,2), como mostrado na Tabela 3. Isso pode ter ocorrido em virtude da maior retenção de água pela parede do sulco no mecanismo tipo disco duplo. Resultados semelhantes foram encontrados por WILKINS et al. (1993). Já TESSIER et al. (1991) e MEAD et al. (1992) verificaram que a emergência de plantas foi afetada pela evaporação e que alguns dos fatores que mais influenciaram a perda de água pelo solo deveram-se à maior mobilização dos solos pelos mecanismos de abertura do sulco.

Tabela 11 - Valores médios de percentagem de germinação nos tratamentos estudados

Teor de Água no Solo (kg kg ⁻¹)	Roda de Borracha			Roda Lisa			Média
	Facão	Disco	Média	Facão	Disco	Média	
0,22	91,7	81,1	86,4	84,2	89,5	86,8	86,6
0,28	86,4	84,2	85,3	86,8	78,5	82,6	83,9
0,34	78,9	77,2	78,0	86,2	77,2	81,7	79,8
Média	85,7	80,8		85,7	81,7		83,5

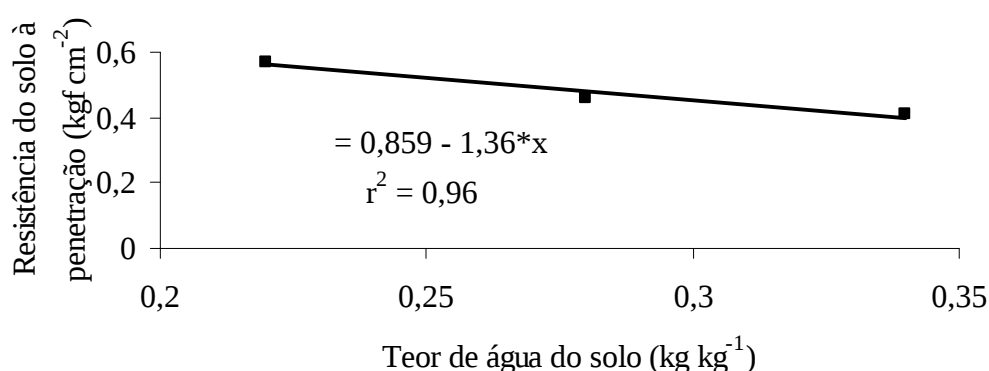
4.2.3. Resistência à penetração após o plantio

A influência do teor de água no solo e dos mecanismos de abertura do sulco e elementos compactadores da semeadora sobre a resistência do solo à penetração na linha de plantio é mostrada na Tabela 12. Não foram observadas diferenças entre os mecanismos de abertura do sulco na resistência do solo à penetração após o plantio, como mostrado na Tabela 3. Embora não-significativo, o mecanismo de abertura tipo facão condicionou maiores valores de resistência do solo à penetração que o mecanismo tipo disco.

Tabela 12 - Valores médios de resistência à penetração (kgf cm⁻²) na linha de plantio, em cada teor de água, três dias após a semeadura

Teor de Água do Solo (kg kg ⁻¹)	Roda de Borracha			Roda Lisa			Média
	Facão	Disco	Média	Facão	Disco	Média	
0,22	0,68	0,52	0,60	0,57	0,51	0,54	0,57
0,28	0,56	0,61	0,58	0,36	0,32	0,34	0,46
0,34	0,45	0,46	0,45	0,34	0,38	0,36	0,41
Média	0,56	0,53		0,42	0,40		0,48

Na Figura 12, mostra-se a variação da resistência do solo à penetração três dias após a semeadura, com os diferentes teores de água no solo. Com o aumento desses teores houve redução nos valores de resistência do solo à penetração, devido à menor força de coesão entre as partículas. Não se observou, no campo, a formação de crostas ou selamento visíveis na linha de plantio, o que poderia interferir na resistência e no índice de velocidade de emergência. Assim, possivelmente, os valores de resistência não afetaram a velocidade de emergência da cultura.



* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t

Figura 12 - Resistência à penetração em função do teor de água do solo três dias após a semeadura.

Independentemente do teor de água do solo e do tipo de sulcador, o mecanismo de compactação de borracha apresentou maior valor de resistência do solo à penetração (0,55 kgf cm⁻²) que a roda lisa (0,41 kgf cm⁻²). Isso pode ter ocorrido pelo formato da roda de borracha, que causa maior pressão no solo sobre a semente. Na roda lisa, o solo é pressionado somente nas laterais do sulco, apresentando um alívio central, aplicando uma menor pressão na linha de plantio. HUMMEL et al. (1981), trabalhando com diferentes tipos de mecanismos compactadores, afirmaram que o formato do elemento compactador tem influência significativa sobre o meio ambiente do solo próximo à semente. Outro fator que deve ser levado em conta é que a roda de borracha apresentou maior peso sobre a linha de semeadura, o que interferiu na resistência à penetração.

Resultados semelhantes foram encontrados por SILVA et al. (1991) e FURLANI et al. (2001).

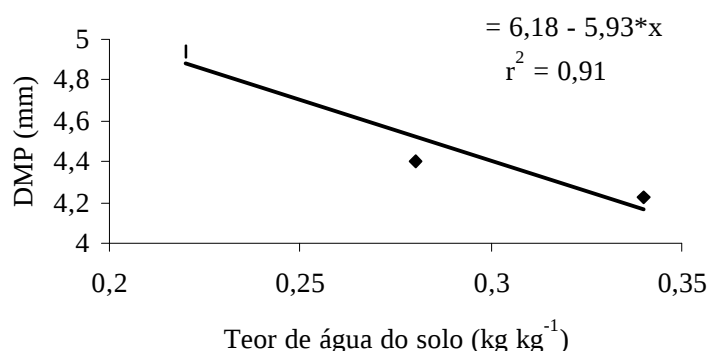
4.2.4. Diâmetro Médio Ponderado (DMP)

Na Tabela 13 são apresentados os valores de diâmetro médio ponderado em função do teor de água no solo, dos mecanismos de abertura do sulco e dos elementos compactadores. Embora não-significativo, o mecanismo sulcador tipo facão apresentou maior diâmetro médio ponderado que o disco duplo.

Tabela 13 - Valores médios de Diâmetro Médio Ponderado (DMP) nos tratamentos estudados.

Teor de Água do Solo (kg kg ⁻¹)	Roda de Borracha			Roda Lisa			Média
	Facão	Disco	Média	Facão	Disco	Média	
0,22	5,49	4,69	5,09	4,72	4,88	4,80	4,95
0,28	4,29	4,6	4,47	4,35	4,29	4,32	4,39
0,34	4,45	3,97	4,21	4,12	4,38	4,25	4,23
Média	4,74	4,44		4,40	4,52		4,52

Na Tabela 4, mostra-se que houve efeito significativo do teor de água do solo no diâmetro médio ponderado. Na Figura 13 está apresentado o efeito do teor de água do solo no diâmetro médio das partículas; com incremento no teor de água, houve tendência de redução no valor do diâmetro médio ponderado. Como o solo empregado era argiloso, as forças de coesão tornaram-se efetivas no solo mais seco, o que permitiu a ocorrência de atração entre as partículas, formando, assim, blocos maiores. Em solos de natureza caulinítica, como os Latossolos Vermelho-Amarelo da região de Viçosa, há tendência de formação de blocos maiores, pelo arranjo face a face dos agregados menores em agregados maiores, em menor teor de água (RESENDE et al., 1988).



Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t

Figura 13 - Diâmetro médio ponderado em função do teor de água do solo.

4.2.5. Porcentagem de finos < 2,0 mm

Na Tabela 14, mostra-se que não houve efeito significativo do teor de água do solo, dos mecanismos de abertura do sulco e dos elementos compactadores sobre a porcentagem de finos < 2,0 mm. Embora não-significativo, o maior teor de água apresentou menor valor de finos < 2,0 mm, em razão da maior facilidade de corte. O mecanismo tipo disco exibiu maior porcentagem de finos < 2,0 mm devido à ação mecânica, fragmentando os agregados.

Tabela 14 - Valores médios de finos < 2,0 mm (%) nos tratamentos estudados

Teor de Água do Solo (kg kg ⁻¹)	Roda de Borracha			Roda Lisa			Média
	Facão	Disco	Média	Facão	Disco	Média	
0,22	32,5	31,6	32,0	28,4	27,6	28,0	30,0
0,28	32,2	32,3	32,2	25,0	34,7	29,8	31,0
0,34	25,0	25,4	25,2	19,8	28,2	24,0	24,6
Média	29,9	29,8		24,4	30,2		28,6

4.3. Densidade medida por tomografia

4.3.1. Densidade mínima na região da semente

Na Tabela 4, mostra-se que não houve influência significativa do teor de água no solo, dos mecanismos de abertura e dos elementos compactadores da semente sobre a densidade mínima medida por tomografia. Embora não-significativo estatisticamente, o maior teor de água apresentou maior valor de densidade mínima e o mecanismo tipo disco, apresentou maior valor de densidade mínima, como mostrado na Tabela 15. Essas diferenças foram atribuídas à forma de revolvimento do solo pelo disco duplo, condicionando um menor diâmetro médio de partículas.

Tabela 15 - Valores médios de densidade mínima (kg dm^{-3}) medida pelo tomógrafo nos tratamentos estudados na região da semente

Teor de Água do Solo (kg kg ⁻¹)	Roda de Borracha			Roda Lisa			Média
	Facão	Disco		Facão	Disco		
	Média			Média			
0,22	0,61	0,69	0,66	0,50	0,71	0,60	0,63
0,28	0,49	0,58	0,56	0,39	0,64	0,51	0,52
0,34	0,79	0,50	0,70	0,65	0,62	0,63	0,64
Média	0,63	0,59		0,51	0,66		0,60

4.3.2. Densidade média na região da semente

Na Tabela 16, apresentam-se os valores de densidade média medida pelo tomógrafo nos diferentes tratamentos. Embora não-significativo, o menor teor de água do solo apresentou maior valor de densidade, o que possivelmente ocorreu devido ao maior diâmetro médio ponderado apresentado neste teor de água do solo. A roda de borracha apresentou o menor valor de densidade, o que possivelmente ocorreu devido à aplicação de menor pressão sobre a linha de

semeadura. STEFANNUTTI et al. (1980), trabalhando com diferentes níveis de cargas em rodas compactadoras, encontraram alteração significativa na densidade do solo.

Tabela 16 - Valores médios de densidade média (kg dm^{-3}) medida pelo tomógrafo nos tratamentos estudados na região da semente

Teor de Água do Solo (kg kg ⁻¹)	Roda de Borracha			Roda Lisa			Média
	Facão	Disco	Média	Facão	Disco	Média	
0,22	0,98	1,15	1,07	1,06	1,08	1,07	1,07
0,28	0,88	1,17	1,03	0,96	1,14	1,05	1,04
0,34	1,06	1,06	1,05	1,06	1,04	1,05	1,05
Média	0,97	1,13		1,03	1,09		1,05

Independentemente do teor de água do solo e do elemento de compactação, o mecanismo de abertura do sulco tipo disco liso apresentou maior valor de densidade média ($1,11 \text{ kg dm}^{-3}$) que o facão ($1,00 \text{ kg dm}^{-3}$), como mostrado na Tabela 4. Isso ocorreu em razão, provavelmente, do espelhamento lateral causado pelo disco ao ser introduzido no solo, o que não acontece com o facão, que rompe o solo. As imagens tomográficas (Figuras 7,8 e 9) também mostram valores de densidade superiores nos mecanismos tipo disco (área branca das imagens). Mesmo apresentando maiores valores de densidade nos mecanismos tipo disco duplo, o que possivelmente dificultou a passagem de água até a semente, não houve interferência no índice de velocidade de emergência. Já na percentagem de emergência houve interferência significativa dos sulcadores, apresentando menor emergência no mecanismo tipo disco duplo, que teve maior valor de densidade do solo; resultados semelhantes foram encontrados por NARS e SELLES (1995). Já WILKINS et al. (1993), testando vários tipos de sulcadores, obtiveram valores de densidade superiores no sulcador tipo disco duplo. O mecanismo tipo facão é utilizado para romper camadas compactadas na superfície do solo (PORTELLA, 1997a; REIS, 2003). Os resultados indicaram

que o facão reduziu os valores de densidade do solo de $1,14 \text{ kg dm}^{-3}$ para $1,00 \text{ kg dm}^{-3}$.

4.3.3. Densidade máxima na região da semente

Verifica-se, na Tabela 4, que não houve interferência significativa do teor de água no solo e dos elementos compactadores sobre os valores de densidade máxima medida pelo tomógrafo. O menor teor de água do solo apresentou maior valor de densidade, como mostrado na Tabela 17, o que possivelmente ocorreu devido ao fato de o solo estar mais seco e, com isso, apresentar maior força de coesão entre as partículas, dificultando, assim, a formação de macroporos. O elemento compactador tipo roda lisa apresentou maior valor de densidade por causa do seu formato, que aplica a carga na lateral do sulco. HUMMEL et al. (1981), trabalhando com diferentes tipos de mecanismos compactadores, afirmaram que o formato do elemento compactador tem influência sobre o meio ambiente do solo próximo à semente.

Tabela 17 - Valores médios de densidade máxima (kg dm^{-3}) medida pelo tomógrafo nos tratamentos estudados na região da semente

Teor de Água do Solo (kg kg ⁻¹)	Roda de Borracha			Roda Lisa			Média
	Facão	Disco	Média	Facão	Disco	Média	
0,22	1,33	1,34	1,34	1,43	1,41	1,42	1,38
0,28	1,17	1,43	1,30	1,27	1,47	1,37	1,34
0,34	1,28	1,38	1,33	1,32	1,40	1,36	1,34
Média	1,26	1,38		1,34	1,43		1,35

O mecanismo de abertura do sulco tipo disco duplo apresentou valores de densidade ($1,41 \text{ kg dm}^{-3}$) significativamente superiores ao mecanismo tipo facão ($1,30 \text{ kg dm}^{-3}$). É provável que o primeiro mecanismo tenha causado espelhamento na lateral do sulco, o que influenciou os valores de densidade do

solo. As imagens das tomografias (Figura 7, 8 e 9) ilustram essa diferença entre o disco duplo e o mecanismo tipo facão. O maior valor de densidade do solo encontrado no disco duplo dificultou a passagem de água até a semente, interferindo na percentagem de germinação. Resultados semelhantes foram encontrados por RIGHES et al. (1984), indicando que os sulcadores tipo discos duplos aumentam a compactação no fundo do sulco quando comparados com o do tipo haste, embora mobilizem menor quantidade de solo. Já IQBAL et al. (1998) observaram que, à medida que aumenta o teor de água do solo, aumenta também a compactação lateral dos sulcos.

O valor de densidade do solo medido pelo método do anel volumétrico antes do plantio foi de $1,14 \text{ kg dm}^{-3}$ e pelo método da tomografia com o mecanismo tipo disco duplo, de $1,41 \text{ kg dm}^{-3}$. Esse aumento de densidade deve ter sido ocasionado pela ação da ferramenta no solo.

4.4. Macroporosidade micromorfométrica na região da semente

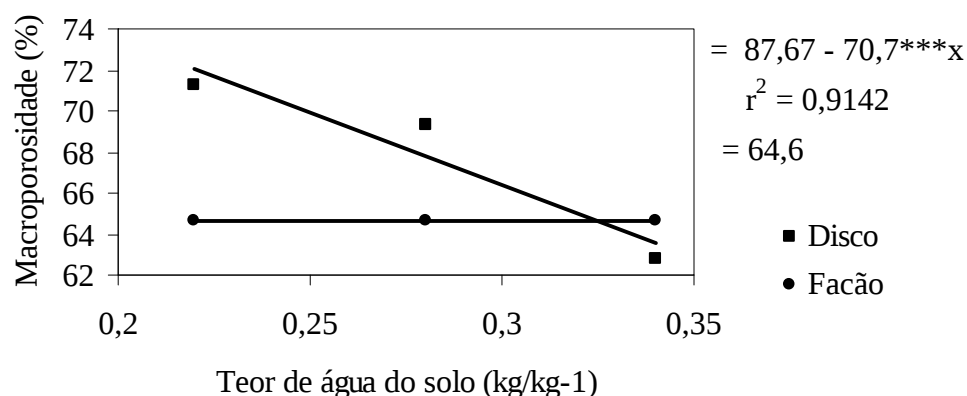
Como apresentado na Tabela 4, verifica-se que houve efeito do sulcador, da interação entre o teor de água do solo e o sulcador na macroporosidade do solo nessa região. Na Tabela 18 são apresentados os valores de macroporosidade do solo na região da semente. Verifica-se, nessa tabela, que houve maior valor de macroporosidade ao redor da semente no mecanismo tipo disco, favorecido pela forma de ação da ferramenta no solo, reduzindo o tamanho de partículas e, conseqüentemente, aumentando a macroporosidade no microambiente da semente. Possivelmente, esses valores de macroporosidade contribuíram para a redução do número de plantas emergidas no mecanismo tipo disco duplo.

Tabela 18 - Valores médios de macroporosidade (%) medida nos tratamentos estudados na região da semente

Teor de Água do Solo (kg kg ⁻¹)	Roda de Borracha			Roda Lisa			Média
	Facão	Disco	Média	Facão	Disco	Média	
0,22	62,5	72,6	67,6	61,9	70,0	66,0	66,8
0,28	-	73,5	73,5	57,6	65,1	61,4	67,5
0,34	-	60,1	60,1	71,9	65,4	68,6	64,4
Média	62,5	68,7		63,8	66,8		66,2

Na Figura 14, mostra-se o efeito da interação entre o teor de água do solo e o mecanismo sulcador nos valores de macroporosidade do solo na região da semente. Devido à perda de material impregnado, nos tratamentos com mecanismo tipo facão não foi possível fazer as análises do mecanismo dentro do teor de água do solo. Já o mecanismo tipo disco duplo que fragmentou o solo de forma mais homogênea, devido à ação mecânica, favoreceu a redução do tamanho de partículas e, conseqüentemente, aumentou a macroporosidade. Nos maiores teores de água, houve tendência de maior força de adesão entre agregados no sulco, pela natureza caulinítica do solo em condições de umidade favoráveis ao estado plástico, contribuindo para diminuir a macroporosidade. Esses resultados são semelhantes aos encontrados por REIS (2000). Em maiores teores de água, os solos cauliníticos apresentaram maior união, com agregados (ou torrões) maiores e menor macroporosidade. É possível admitir que, à medida que o secamento e a alternância seco/úmido se estabeleçam, ocorre mudança estrutural, formando nova trama de poros maiores a partir da semente. Essa formação de agregados maiores em solos argilosos foi reportada por SCHAEFER (1995), corroborada por dados experimentais de KWAAD e MUCHER (1994).

A descrição visual das imagens indica tendência geral de formação de agregados menores de solo, devido à pulverização do solo próximo à semente no mecanismo tipo disco duplo, como mostrado nas Figuras 4, 5 e 6.



*** Significativo a 8 % de probabilidade, pelo teste t

Figura 14 - Macroporosidade com o mecanismo tipo disco em função do teor de água no solo.

Na Tabela 19 são apresentados os valores de macroporosidade do solo na região da semente, dentro de cada teor de água do solo. Nos teores de água de 0,28 e 0,34 houve perda de dados durante a condução do experimento, por isso são apresentados os dados de três repetições. O disco apresentou maior valor de macroporosidade dentro do teor de água de 0,22 kg kg⁻¹ e 0,28 kg kg⁻¹, isso devido ao fato de o disco duplo pulverizar o solo de forma mais eficaz, favorecendo, assim, a redução do tamanho do agregado e, conseqüentemente, a macroporosidade. Como o solo empregado era argiloso, as forças de coesão tornaram-se efetivas no solo mais seco, permitindo a ocorrência de atração entre partículas no mecanismo tipo facão, reduzindo, assim, os valores de macroporosidade. Com o teor de água do solo de 0,34 kg kg⁻¹ houve maior valor de macroporosidade, no mecanismo tipo facão, o que possivelmente teve interferência dos dados perdidos.

Possivelmente os valores de macroporosidade do solo dentro dos teores de água estudados, nos diferentes mecanismos sulcadores, tenham condicionado um microambiente satisfatório para a emergência das plântulas, no mecanismo tipo facão.

O mecanismo sulcador tipo disco liso apresentou maior valor de densidade medida pela tomografia computadorizada; logo, exibiu menor valor de

porosidade. Já nas observações micromorfométricas ele apresentou maior valor de macroporosidade. Essa diferença foi devida à posição em que foram tomados os dados; os valores de densidade foram tomados na posição transversal e as observações na macroporosidade, na posição longitudinal.

Tabela 19 - Macroporosidade do solo (%) na região da semente nos mecanismos tipo disco e facão, nos diferentes teores de água no solo

Mecanismo Sulcador	Teor de Água no Solo (kg kg^{-1})		
	0,22	0,28	0,34
Facão	62,2B	57,6B	71,9A
Disco	71,3A	69,3A	62,8B

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Objetivou-se no presente trabalho estudar a relação solo–semente na região da semente em semeadura direta, com diferentes teores de água do solo, tipos de mecanismos de abertura do sulco e elementos compactadores, em um Latossolo Vermelho Argiloso com a cultura do milho. O experimento foi montado em esquema de parcelas subsubdivididas, em que as parcelas foram constituídas de três teores de água do solo (0,22; 0,28; e 0,34 kg kg⁻¹), as subparcelas de dois mecanismos de abertura do sulco (facão e disco duplo) e as subsubparcelas de dois tipos de elementos compactadores (borracha e liso) com três repetições, no delineamento em blocos casualizados.

Na ocasião do plantio foram avaliadas a distribuição de sementes e a carga aplicada pelos elementos compactadores. As avaliações, em nível de contato solo–semente, foram feitas no dia do plantio. Retiraram-se duas amostras indeformadas no dia do plantio, com caixas metálicas de 0,18 x 0,08 x 0,08 m, uma para o estudo micromorfológico do contato solo–semente e outra para realização de tomografias com resolução milimétrica, para determinação da densidade. Foi retirada ainda uma amostra deformada para determinar o diâmetro médio ponderado. Depois do plantio foram avaliados a resistência à penetração do solo na linha de plantio três dias após o plantio, o índice de velocidade de emergência e a percentagem de germinação.

De acordo com os resultados, pode-se concluir que:

1. O teor de água, os mecanismos de abertura e os elementos compactadores do solo não interferiram no índice de velocidade de emergência das plântulas.

2. O mecanismo sulcador tipo facão apresentou maior percentagem de emergência de plantas.
3. O mecanismo de abertura tipo disco duplo apresentou maior profundidade média de plantio, nos teores de água de 0,28 e 0,34 kg kg⁻¹.
4. O elemento compactador tipo roda de borracha resultou em maior valor de resistência à penetração do solo avaliado três dias após o plantio.
5. O teor de água do solo interferiu no diâmetro médio ponderado, ressaltando-se que este apresentou tendência de aumento com o incremento do teor de água do solo.
6. O mecanismo de abertura do sulco tipo disco duplo apresentou maior valor de densidade média.
7. O mecanismo de abertura do sulco tipo disco duplo exibiu maior valor de densidade máxima.
8. O método da tomografia computadorizada mostrou-se adequado e eficiente na determinação da densidade do solo na região da semente.
9. Os valores de macroporosidade na região da semente com o disco duplo decresceram com o aumento do teor de água do solo.
10. Os valores de macroporosidade na região da semente foram maiores com o mecanismo tipo disco duplo.
11. Nos solos com alto teor de argila, deve-se utilizar o mecanismo tipo facão para abertura de sulco.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS – ASAE. **ASAE Standards 1990**, St. Joseph, Michigan, 1990.

ANTUNIASSI, U.L.; FERRETTI, C.A. Influência do tamanho dos agregados do solo sobre a germinação e desenvolvimento inicial de milho (*Zea mays* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24., 1995, Viçosa. **Resumos...** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1995. p. 337.

ARAÚJO, A.G.; CASÃO JÚNIOR, R.; RALISCH, R.; SIQUEIRA, R. Mobilização de solo e emergência de plantas na semeadura direta de soja (*Glycine max* L.) e milho (*Zea mays* L.) em solos argilosos. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.19, n. 2, p. 226-237, 1999.

ATARES, P. A. **Siembra directa**. Madrid: Instituto Técnico y de Gestion del Cereal, 1989. Não paginado.

BALASTREIRE, L.A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 307 p.

BARLEY, K.P.; GREACEN, E.L. Mechanical resistance as a soil factor influencing the growth of roots and underground shoots. **Advances in Agronomy**, Michigan, v.19, n. 3, p.1- 43, 1967.

BEWLEY, J.D.; BLACK, M. **Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination**. New York: Spring-Verlag, 1978. 305 p.

BIASSUSI, M. **Estudo da determinação de um vertissolo através da tomografia computadorizada de dupla energia**. Pelotas, RS: Universidade Federal de Pelotas, 1996. 80 f. (Dissertação de Mestrado).

BOLLER, W.; KLEIN, V.A.; SHONS, P.; DALLMEYER, A.; GAMERO, C.A. Cobertura do solo e distribuição do tamanho de agregados nas entrelinhas e linhas de soja em preparo conservacionista. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., 1993, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus, BA: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1993. p.1467-1479.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: 1992. 365 p.

BRAUNACK, M. V.; DEXTER, A. R. Soil aggregation in the seedbed: a review II – effect of aggregate sizes on plant growth. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 14, n. 3, p. 291-298, 1989.

CASÃO JUNIOR, R. **Avaliação do desempenho da semeadora-adubadora Magnum 2850 PD no basalto paranaense**. Londrina, PR: IAPAR, 1998. 47 p. (IAPAR circular, 105).

CASÃO JUNIOR, R., SIQUEIRA, R. **Resultados das avaliações do desempenho de semeadoras-adubadoras de plantio direto na costa oeste paranaense**. Londrina, PR: IAPAR, 2003. 132 p.

CHAUDHRY, M.A.; BAKER, C.J. Effects of drill coulters design on soil moisture status on emergence of wheat seedlings. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 2, n. 2, p. 131-142, 1982.

COAN, O.; SILVA, F.M.; NATALE, W. Influência da profundidade de semeadura com e sem uso de sulcador na cultura do milho (*Zea mays* L.) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., 1993, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus, BA: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1993. p.1438-1451.

CRESTANA, S.; CRUVINEL, P. E.; VAZ, C.M.P.; CESAREO, R.; MASCARENHAS, S.; REICHARDT, K. Calibração e uso de um tomógrafo computadorizado em ciência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.16, n. 2, p. 161-167, 1992.

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 e preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 703-709, 1999.

DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn: GTZ, 1991. 272p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Ciência do Solo. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. Não paginado.

FARIA, J.C.; SCHAEFER, C.E.R.; COSTA, L.M. Effects of weed control on physical and micropedological properties of a brazilian ultisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, p.731-741, 1998.

FERNANDES FILHO, E. I.; VIANA, J. H. M. QUANTIPORO: um novo programa para tratamento e quantificação de imagens para aplicações em ciência do solo. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 28.,2001, Londrina. **Resumos...** Londrina, PR: SBCS, EMBRAPA-SOJA, 2001. p. 224.

FURLANI, C.E.A.; LOPES, A.; REZENDE,L.C.; SOUZA e SILVA, S.S.; LEITE, M.A.S. Influência da compactação do solo na emergência das plântulas de milho a diferentes profundidades de semeadura. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 9, n.3, p. 147-153, 2001.

GASSEN, D.; GASSEN, F. **Plantio direto o caminho do futuro**. Passo Fundo, RS: Aldeia Sul, 1996. 207 p.

GRABLE, A.R. Effects of compaction on content and transmission of air in soils, In: BARNES, K. K.; CARLETON, W. M.; TAYLOR, H. M.; THROCKMORTON, R. J.; VANDEN BERG, G. E. **Compaction of agricultural soils**. St. Joseph, Michigan: ASAE, 1971. p.154-165. (ASAE Monograph).

HADAS, S.A.; WOLF, D.; MERISON, I. Tillage implements: soil structure relationships and their effects on crop stands. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 42, n. 4, p. 632-637, 1978.

HAUSER, V.L. Water injection in grass seed furrows. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 29, n. 5, p.1247-1253, 1986.

HUMMEL, J.W.; GRAY, L.E.; NAVE, W.R. Soybean emergence from field seedbed environments, **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 24, n. 4, p. 872-878, 1981.

IQBAL, M.; MARLEY, S.J.; ERBACH, D.C.; KASPAR, T.C. An evaluation of seed furrow smearing. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 41, n. 5, p.1243-1248, 1998.

JENSSEN, P. D.; HEYERDAHL, P. H. Soil column descriptions from x-ray computed tomography density images. **Soil Science**, v. 146, n. 2, p.102-107, 1988.

JOSCHKO, M.; MULLER, P. C.; KOTZKE, K.; DOHRING, W.; LARINK, O. Earthworm burrow system development assessed by means of X-ray computed tomography. **Geoderma**, v. 56, p. 209-221, 1993.

KONDO, M.K.; DIAS JÚNIOR, M.S. Compressibilidade de três latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 211-218, 1999.

KURACHI, S.A.H.; COSTA, J.A.S.; BERNARDI, J.A.; COELHO, J.L.D.; SILVEIRA, G.M. Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: tratamento de dados de ensaios e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. **Bragantia**, Campinas, v. 48, n. 2, p. 249-262, 1989.

KWAAD, F.J.P.M.; MUCHER, H.J. Degradation of soil structure by welding – A micromorphological study. **Catena**, v. 23, n. 2, p. 253-268, 1994.

LANDERS, J.N. **Fascículo de experiências de plantio direto no cerrado**. Goiânia, GO: Associação de Plantio Direto no Cerrado, Fundação Cargill, 1995. 261 p.

LEPORE NETO, F. P.; STEFFEN JR., V. Experimental field-testing device for agricultural tools. **Experimental Techniques**, Bethel, v. 10, n. 8, p. 24-25, 1986.

MACEDO, I. A. **Construção e uso de um tomógrafo com resolução micrométrica para aplicações em ciências do solo e do ambiente**. São Carlos, SP: Universidade de São Paulo, 1997. 129 f. (Tese de Doutorado).

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n.1, p. 176-177, 1962.

MANTOVANI, E.C.; BERTAUX, S.; ROCHA, F.E.C. Avaliação da eficiência operacional de diferentes semeadoras-adubadoras de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n.12, p.1579-1586, 1992.

MEAD, J. A.; BALMER, A. L.; CHAN, K. Y. Effect of seedbed conditions on sowing point performance. **Soil & Tillage Research**, v.22, n.1, p. 13-25, 1992.

MIEDEMA, R. Applications of micromorphology of relevance to agronomy. **Advances in Agronomy**, Michigan, v. 59, n. 2, p.119-169, 1997.

MOLDENHAUER, W.C.; AMEMIYA, M. Control erosion from row-cropping today. **Iowa Farm Science**, Ames, v. 21, n. 10, p. 3-6, 1967.

MUZILLI, O. **O plantio direto como alternativa no manejo e conservação do solo**. Curso Básico Para Instrutores em Manejo e Conservação do Solo. Londrina, PR: Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, 1991. 20 p.

NAIME, J. M. **Um novo método para estudos dinâmicos, *in situ*, da infiltração da água na região não-saturada do solo**. São Carlos, SP: Universidade de São Paulo, 2001. 146 f. (Tese de Doutorado).

NARS, H.M.; SELLES, F. Seedlings emergence as influenced by aggregate size, bulk density, and penetration resistance of the seedbed. **Soil & Tillage Research**, v. 34, n. 1, 1995. p. 61-76.

OLIVEIRA, M.L.; VIEIRA, L.B.; MANTOVANI, E.C.; SOUZA, C. M.; DIAS, G. P. Desempenho de uma semeadora-adubadora para plantio direto, em dois solos com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n.7, p.1455-1463, 2000.

ORTOLANI, A.F.; BANZATTO, D.A.; BORTOLI, N.M. Influência da profundidade de semeadura e da compactação do solo, na emergência e desenvolvimento do sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) MOENCH). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 15., 1986, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBEA, 1986. p. 27-39.

PACHECO, E.P. **Avaliação de uma semeadora-adubadora de precisão com modificações no tubo condutor de sementes**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1994. 61f. (Dissertação de Mestrado).

PAGLIAI, M. Micromorphometric and micromorphological investigation on the effects of compaction by pressives and deformation resulting from tillage and wheel traffic, In: MONNIER, G., GM>J> GPSS (Eds.). **Soil compaction and regeneration**. Rotterdam: A.A. Balkema, 1987. p. 31-38.

PAGLIAI, M. Micromorphology and soil management. In: RINGROASE-VOASE, A.J.; HUMPHREYS, G.S. (Eds.). **Soil micromorphology studies in management and genesis**. Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 623-640.

PEDROTTI, A. **Avaliação da compactação de um planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo**. Pelotas RS: Universidade Federal de Pelotas, 1996. 79f. Tese (Dissertação de Mestrado).

PERDOCK, U.D.; KOUWENHOVEN, J.K. Soil-tool interactions and field performance of implements. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 30, n. 2, p. 283-326, 1994.

PHILIPS, R.E.; KIRKHAN, D. Mechanical impedance and corn seedling root growth. **Soil Science Society of America Proctor**, v. 26, n. 4, p. 319-322, 1962.

PORTELLA, J.A. Máquinas e implementos para plantio direto e cultivo mínimo. In: ENCONTRO PAULISTA DE PLANTIO DIRETO. **Resumos...** Assis, SP: n. 2, p.143-155, 1989.

PORTELLA, J.A.; SATTLER, A.; FAGANELLO, A. Desempenho de elementos rompedores de solo sobre o índice de emergência de soja e de milho em plantio direto do sul do Brasil. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 5, n. 3, p. 209-217, 1997a.

PORTELLA, J. A.; SATLER, A.; FAGANELLO, A. Índice de emergência de plântulas de soja e de milho em semeadura direta no sul do Brasil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 17, n. 2, p. 71-78, 1997b.

REIS, E.F. **Inter-relação solo-semente com duas semeadoras-adubadoras de plantio direto, em diferentes umidades de um solo argiloso**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2000. 51f. (Dissertação de Mestrado).

REIS, E.F.; CUNHA, J. P. A. N.; FERNANDES, H. C. Influência de mecanismos rompedores de solo no desempenho de uma semeadora-adubadora de plantio direto. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, Havana - Cuba, v. 12, n. 4, 2003.

RESENDE, M. **Caracterização dos solos tropicais brasileiros**. Brasília: Associação Brasileira Educação Agrícola Superior-ABEAS, 1988. 182 p.

RIBEIRO, M.F.S. Mecanização agrícola. In: DAROLT, M. R. **Plantio direto: pequena propriedade sustentável**. Londrina, PR: IAPAR, 1998. p. 95-111. (Circular nº 101).

RIGHES, A. A.; DALLMEYER, A. U.; SILVEIRA, D. R.; FARRET, I. S.; POZZERA, J.; FERREIRA, O. O.; SILVEIRA, T. C. **Inovação tecnológica de mecanismos para semeadura direta**. Santa Maria, RS: FATEC, 1984. 100 p.

SALVADOR, N.; BENEZ, S.H.; BICUDO, S.J. Preparo periódico do solo: desempenho operacional e mobilização do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., 1993, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus, BA: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1993. p. 1710-1721.

SANTOS, C. S. V. **Formação de camadas superficiais adensadas em solo argiloso em resposta a flutuações de umidade**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2000. 71f. (Tese de Doutorado).

SCHAEFER, C.E.R. Micropedologia de uma seqüência Latossolo-Podzólico de Viçosa, MG. Química e morfologia da superfície dos agregados de Horizontes Bw e Bt. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1995, Viçosa. **Resumos expandidos...** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. v.1, p. 374-377.

SCHAEFER, C.E.R.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; ALBUQUERQUE, M. A.; GALVÃO, J. C. C. Microstructural effects of compost and fertilizer incorporation in a clayey Ultisol cultivated with maize, from Coimbra, Minas Gerais. **Revista de Ciências**, Fundação Educacional de Caratinga (FUNEC), v.1, n. 2, p. 59-64, 1999.

SCHAEFER, C.E.R.; SOUZA, C. M.; VALLEJOS MERNES, F. A.; VIANA, J. H. M.; GALVÃO, J. C. C. Características da porosidade de um argissolo vermelho amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p.112 - 123, 2001.

SCHENEIDER, E.C.; GUPTA, S. Germination corn emergence as influenced by soil temperature, matric potential and aggregate size distribution. **Soil Science Society of America Journal**, v. 49, n.2, p. 415-422, 1985.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo na temperatura do solo. **Revista Brasileira Ciência Solo**, Campinas, v.10, n. 3, p.181-184, 1986.

SILVA, F. M.; COAN, O.; NATALE, W. Influência da profundidade de semeadura com e sem uso de sulcador na cultura do milho (*Zea mays* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., 1993, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus, BA: SBEA, 1993. v. 3, p. 1438-52.

SILVA, F.M.; ORTOLANI, F.M.; DANIEL, L.A. Rodas compactadoras de semeadoras-adubadoras _ influência no condicionamento físico do solo na região de semeadura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20, 1991, Londrina. **Anais...** Londrina, PR: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1991. p.1126-1146.

SILVA, S. L. **Avaliação de semeadoras de plantio direto: demanda energética, distribuição longitudinal e profundidade de deposição de sementes em diferentes velocidades de deslocamento.** Botucatu, SP: Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2000. 123f. (Tese de Doutorado).

SILVA, J.G. da.; KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H.; FONSECA, J.R.; VIEIRA, E.H.N.; VIEIRA, N.R. de A.; FREIRE, M.S. **Desempenho de semeadeiras no plantio de feijão em monocultura e consorciado com milho.** Goiânia: Embrapa-CNPAP, 1985. 23 p. (Embrapa-CNPAP. Circular técnica, 19).

SIQUEIRA, N.S. **Influência de sistemas de preparo sobre algumas propriedades químicas e físicas do solo e sobre a cultura do milho.** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1995. 78 f. (Tese de Doutorado).

STEFANUTTI, R.; ORTOLANI, A. F.; COAN, O. Desenvolvimento de uma pista de ensaio e carrinho com rodas compactadoras para estudos relacionados com emergência de plântulas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 10., 1980, Campinas. **Anais...** Campinas, SP: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1980. p.190-203.

STOUT, B.A.; BUCHELE, W.F.; SNYDER, F.W. Effect of soil compaction on seedling emergence under simulated field conditions, **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 3, n. 2, p. 68-71, 1961.

TAYLOR, H. M. Soil conditions as they affect plant establishment, root development, and yield. In: BARNES, K. K.; CARLETON, W. M.; TAYLOR, H. M.; THROCKMORTON, R. J.; VANDEN BERG, G. E. **Compaction of agricultural soils.** St. Joseph, Michigan: ASAE, 1971. p. 292-305. (ASAE Monograph).

TESSIER, S.; HYDE, G. M.; PAPENDICK, R. I.; SAXTON, K. E. No till seeders effects on seed zone properties and wheat emergence. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 34, n. 3, p. 729-733, 1991.

VALENTIN, C.; BRESSON, L.M. Morphology, genesis and classification of surface crust in loamy and sandy soils. **Geoderma**, v. 55, p. 225-245, 1992.

VAZ, C.M.P.; CRESTANA, S.; MASCARENHAS, S.; CRUVINEL, P.E.; RERICHARDT, K; STOLF, R. Using a computed tomography miniscanner for studying tillage induce soil compaction. **Soil Technology**, p. 313-321, 1989.

VIÉGAS, G. P.; PEETEN, H. Sistemas de produção. In: PATERNIANI, E.; VIÉGAS, G. P. (Eds.). **Melhoramento e Produção de milho**. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1987. p. 453-538.

VIEIRA, J. A. **Plantio direto na região de Primavera do Leste, Mato Grosso**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2002. 75 f. (Dissertação de Mestrado).

VIEIRA, L.B.; DIAS, G. P. **Engenharia na agricultura** Penetrometria e caracterização física do solo. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 24 p. Imprensa univ., 1997. (Apostila).

VIEIRA, L.B., REIS, E. F. Máquinas para o plantio direto. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v.22, n. 208, p. 42-48, 2001.

VIEIRA, L.G.E. **Desenvolvimento e produtividade das culturas**: cultura do trigo. Plantio direto no Estado do Paraná. Londrina, PR: IAPAR, 1981. p. 194-198. (Circular, 23).

WILKINS, D.E.; MUILENBURG, G.A.; ALLMARAS, R.R. Grain-drill opener effects ou wheat emergence. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 26, n. 3, p. 651-656, 1983.