

DENSIDADE DO SOLO NO AMBIENTE SOLO-SEMENTE E VELOCIDADE DE EMERGÊNCIA EM SISTEMA DE SEMEADURA DE MILHO⁽¹⁾

Elton Fialho dos Reis⁽²⁾, Carlos Ernesto G.R. Schaefer⁽³⁾, Haroldo Carlos Fernandes⁽⁴⁾, João de Mendonça Naime⁽⁵⁾ & Eduardo Fontes Araújo⁽⁶⁾

RESUMO

O microambiente próximo à semente é influenciado diretamente pelo tipo de mecanismo de abertura do sulco e elemento compactador do solo. Nesse sentido, este trabalho objetivou avaliar a densidade do solo na região da semente, em sistema plantio direto, utilizando a tomografia computadorizada. 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 (haste sulcadora tipo facão e disco duplo); e as subsubparcelas, de dois tipos de elementos compactadores (borracha e lisa), com três repetições, no delineamento em blocos casualizados, na cultura do milho. Foram retiradas amostras indeformadas de solo sobre a linha de plantio, onde deveria conter a semente, para a obtenção de tomografias com resolução milimétrica, a fim de determinar sua densidade. Foram realizadas as determinações de densidades de solo (máxima, mínima e média), na posição onde se encontrava a semente no bloco indeformado. Os resultados mostraram que os tratamentos estudados não interferiram significativamente nos valores de índice de velocidade de emergência e densidade mínima medida pelo tomógrafo. O mecanismo tipo disco duplo proporcionou maiores valores de densidades (média e

⁽¹⁾ Parte da Tese do primeiro autor, apresentada para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa – UFV. Recebido para publicação em março de 2005 e aprovado em agosto de 2006.

⁽²⁾ Professor do Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás – UEG. CEP 75110-390 Anápolis (GO). E-mail: fialhoreis@ibest.com.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa – UFV. CEP 36571-000 Viçosa (MG). E-mail: carlos.schaefer@ufv.br

⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa – UFV. CEP 36571-000. Viçosa (MG). E-mail: haroldo@ufv.br

⁽⁵⁾ Pesquisador da Embrapa Instrumentação Agropecuária São Carlos. Embrapa/CNPDI. Rua 15 de novembro 1452, Centro, CEP 13560-970 São Carlos (SP). E-mail: naime@cnpdia.embrapa.br

⁽⁶⁾ Professor do Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa – UFV. CEP 36571-000 Viçosa (MG). E-mail: efaraujo@ufv.br

máxima), bem como menor percentagem de emergência; e o uso do elemento compactador de borracha proporcionou menor pressão aplicada sobre a semente, em decorrência da maior área de contato com o solo. O método da tomografia computadorizada mostrou-se adequado e eficiente na determinação da densidade do solo na região da semente.

Termos de indexação: tomografia computadorizada, plantio direto, sulcadores, compactação, cobertura do milho, germinação.

SUMMARY: SOIL DENSITY IN THE SOIL-SEED ENVIRONMENT AND EMERGENCE SPEED IN MAIZE PLANTING SYSTEM

The microenvironment near the seed is directly affected by the type of mechanism of furrow opening and the soil compacting element. This study was therefore carried out to evaluate the soil density close to the seed in a no-till system using computerized tomography. The experiment was set up in a split-plot design in which the plots consisted of three soil water contents (0.22; 0.28; and 0.34 kg kg⁻¹), and the subplots of two mechanisms for furrow opening (stub runner and double disk-type). The sub-subplots consisted of two compacting element types (rubber and plain) in a maize crop. The experiment was in a randomized block design with three replications. Some undisturbed soil samples corresponding to a planting spot in the planting row were removed to establish tomographies with millimetrical resolution for the determination of soil density. The maximum, minimum and average soil densities were determined at the point where the seed had been placed in the undisturbed block. The results showed that the treatments had no significant influence on the values of emergence speed index, or on the minimum density measured by the tomograph. The double-disk mechanism led to higher values of densities measured by tomography, both mean and maximum, as well as lower emergence. The use of a rubber compacting element resulted in lower seed pressure a greater contact area with the soil. Computerized tomography appeared to be an adequate and efficient method to determine soil density in the seed area.

Index terms: computerized tomography, no-till planting, furrowers, compaction, maize cultivation, germination.

INTRODUÇÃO

No sistema plantio direto, a semeadura é feita com revolvimento do solo somente na linha onde a semente é depositada. O sucesso do desenvolvimento da cultura, nesse processo, 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.

As semeadoras-adubadoras de plantio direto desempenham funções de cortar a palha, dosar as sementes e o adubo, segundo a necessidade da cultura; abrir um sulco no solo e depositar a semente e o adubo à profundidade e à distância apropriadas (Fonseca, 1997). Entretanto, com a utilização de diferentes mecanismos de abertura do sulco, como discos duplos e haste sulcadora, é de se esperar que ocorram diferenças na relação solo-semente. Por outro lado, pelas condições variáveis do solo, é difícil que um único mecanismo propicie um melhor desenvolvimento inicial da cultura.

As hastes promovem maior mobilização do solo nos sulcos de semeadura em relação aos discos duplos, elevando a incidência de ervas e a possibilidade de ocorrência de erosão, porém são mais baratas e exigem menos pressão para penetração no solo. 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). Segundo Araújo et al. (1999), o uso de sulcadores do tipo haste nas semeadoras de plantio direto tem-se generalizado nas áreas de solos argilosos como alternativa para romper a camada superficial mais compactada e penetrar até à 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 percentagem de germinação (Chaudhry & Baker, 1982; Iqbal et al., 1998). 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

plântio direto no sul do Brasil, não encontraram diferença significativa entre os dois mecanismos. Para Iqbal et al. (1998), a compactação das paredes laterais do sulco de semeadura proporcionada 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 a compactação lateral dos sulcos.

Hummel et al. (1981), trabalhando com diferentes tipos de rodas compactadoras na semeadura de soja, verificaram 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.

O estudo da relação solo-semente requer métodos apropriados, que possam melhor caracterizar a camada de solo próximo à semente. O método da tomografia computadorizada 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).

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.

Pedrotti (1996) comparou a tomografia computadorizada ao método do anel volumétrico para a determinação da densidade do solo, a fim de avaliar a compactação de um solo cultivado em diferentes sistemas de manejo. Esse método apresentou vantagens, possibilitando o detalhamento da variação da densidade ao longo do perfil, enquanto o anel

volumétrico expressou um valor médio pouco representativo.

Com base no exposto, o trabalho objetivou avaliar a densidade do solo na região da semente, em sistema plântio direto, utilizando a tomografia computadorizada, relacionando-a à velocidade de emergência.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido em condições de campo, em área experimental da Universidade Federal de Viçosa, município de Coimbra, MG, com altitude de 716 m, longitude de 42 ° 48 ' S e latitude de 20 ° 51 ' W. Essa região apresenta precipitação média anual de 1.300 a 1.400 mm, concentrada, principalmente, no período de outubro a março, média anual de umidade relativa do ar de 80 a 85 % e temperatura média anual de 19 °C.

Avaliou-se uma semeadora-adubadora de plântio direto, na cultura do milho, modelo Seed-Max PC 2123, com duas linhas de plântio, espaçadas de um metro, e massa total de 640 kg, considerando os carregamentos de adubo e sementes. É constituída basicamente por disco liso de corte de palhada, conjunto distribuidor de fertilizantes, sulcador para colocação de sementes tipo disco duplo defasado. Para abertura do sulco, visando à colocação de fertilizante, utilizaram-se dois mecanismos: haste sulcadora e disco duplo defasado. Já para a compactação do solo sobre as sementes, foram utilizadas a roda de borracha e a roda lisa. A semeadora-adubadora foi tracionada por um trator da marca Massey Ferguson, modelo 265, com tração dianteira auxiliar e potência nominal de 48 kW, em uma velocidade de 5,0 km h⁻¹.

Os testes foram realizados em um Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso, coberto por vegetação espontânea (5 t ha⁻¹ de massa seca), predominando o capim-braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf) que foi instalado para o ensaio. Antes dos testes, foi feita a caracterização física do solo (Quadro 1), e foram determinados o teor de água do solo, a densidade e a resistência do solo à penetração (ASAE, 1998).

Quadro 1. Caracterização física do solo na camada de 0-0,2 m

Teor de água do solo	Densidade do solo	Resistência do solo à penetração
kg kg ⁻¹	Mg m ⁻³	MPa
0,22	1,13	2,47
0,28	1,14	1,43
0,34	1,14	0,85

Cada parcela experimental foi constituída de uma área de 60 m², sendo 30 m de comprimento por 2 m de largura. A área foi previamente dessecada com aplicação de herbicida glyphosate, na dose de 5,0 L ha⁻¹, em um volume de pulverização de 300 L ha⁻¹. Antes da realização dos testes, a semeadora-adubadora foi regulada visando ao plantio de milho, com espaçamento de 1 m entre linhas, 8,0 sementes m⁻¹ (equivalente a 80.000 sementes ha⁻¹) e profundidade de plantio de 5 cm. A semente utilizada nos testes foi a BR 106, com poder germinativo de 89 %, pureza de 98 % e peneira de classificação número 22 M.

Os teores de água foram obtidos por meio da aplicação de água sobre o solo com um sistema de irrigação por aspersão convencional. No dia anterior ao plantio, foi aplicada a água até atingir a umidade desejada. No dia do plantio foram retiradas amostras de solo, e determinado o teor de água do solo, pelo método padrão de estufa.

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), e as subsubparcelas, o tipo de elementos compactadores (borracha e lisa), no delineamento em blocos casualizados, com três repetições, tendo-se, no total, 36 parcelas. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e comparados pelo teste de Tukey a 5 %.

Para avaliar a influência do teor de água do solo e o mecanismo de abertura do sulco e compactação da semente sobre a densidade do solo na região da semente no desenvolvimento inicial da cultura do milho, as seguintes propriedades foram consideradas: carga aplicada sobre a semente, distribuição de sementes, profundidade de plantio, índice de velocidade de emergência, percentagem de germinação e densidade do solo na região da semente.

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 4.540 N e escala de saída de 2,999 mV por volts de entrada, acoplada 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.

O número de sementes foi determinado, de acordo com a 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).

Logo após a passagem da semeadora-adubadora, foi coletada uma amostra indeformada de solo de cada uma das parcelas experimentais, nas quais se

encontravam as sementes. Para retirar as amostras, foram inseridas caixas de metal com dimensões de 0,16 × 0,08 × 0,08 m (comprimento, largura, profundidade), sobre a linha de plantio, em local representativo. As amostras foram retiradas do solo com o auxílio de um cavador tipo boca de lobo, embaladas e levadas ao laboratório. No laboratório, as amostras foram secas em estufa a 60 ° C, por 24 h, para evitar que ocorresse a emergência das sementes. Estas amostras foram subdivididas em cilindros com dimensões de 0,04 m de diâmetro e 0,08 m de altura, em virtude da limitação do tomógrafo ao diâmetro das amostras.

Para determinar a densidade do solo na região da semente, 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 (²⁴¹Am, E = 59,54 keV, 1,11 × 10⁹ 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.

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

$$I = I_0 e^{-\int \mu dx} \quad (1)$$

em que I e I₀ são as intensidades da radiação (contagem por segundo) do feixe emergente e incidente, respectivamente; 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:

$$\mu = \mu_m \rho \quad (2)$$

O valor do coeficiente de atenuação em massa (μ_m), obtido experimentalmente para o solo estudado, foi de 0,3076 cm² gr⁻¹. Esse coeficiente depende da composição química do solo e da energia do feixe incidente.

As amostras foram levadas individualmente para um equipamento composto de uma fonte de 241 Am, com feixe colimado, de um sistema de detecção por contagem de radiação e de uma plataforma com motor de passo para permitir a movimentação vertical da amostra, dando início à obtenção das imagens. Foram realizadas 16 medições de atenuação da radiação, entre 0–0,08 m de profundidade, em cada amostra.

A densidade foi determinada por meio da seguinte equação:

$$\rho = \frac{1}{x \mu_m} \ln \left(\frac{I_0}{I} \right) \quad (3)$$

em que ρ - densidade do solo na região da semente; I₀ - 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 ($\text{cm}^{-2} \text{g}$).

A escolha da imagem foi feita de acordo com a profundidade de deposição da semente nas parcelas experimentais. Depois de localizadas as imagens, 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 ($0,03446 \text{ cm}^2$).

Dentro das imagens tomográficas representadas por uma matriz, foi demarcado um quadrado de 25×25 pixels, inscrito na subunidade, correspondendo a uma área de 625 pixels; como cada pixel corresponde a uma área de $0,00318 \text{ cm}^2$ ($0,0564 \times 0,0564 \text{ cm}$), a área total em cada tomografia foi de $1,987 \text{ cm}^2$, dentro da qual foram determinados os valores (mínimo, médio e máximo) de densidade.

Determinou-se o índice de velocidade de emergência das sementes no campo, nos diferentes teores de água e mecanismos de abertura e compactação das sementes, o qual representa a velocidade de emergência em condições de campo. A velocidade de emergência foi determinada, contando-se as plântulas emergidas a cada dia, a partir do dia em que a primeira plântula emergiu, até à não-ocorrência da emergência, e este valor foi utilizado para caracterizar a porcentagem de germinação. Os índices de velocidade de emergência, para cada teor de água do plantio, foram obtidos, dividindo-se o número de plântulas emergidas a cada dia, pelo número de dias do plantio até à emergência (Maguire, 1962).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

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 encontra-se no quadro 2. Verifica-se, que o aumento do teor de água no solo não interferiu significativamente na pressão aplicada pelas rodas compactadoras sobre a linha de plantio, decorrente das regulagens da semeadora-adubadora. O tipo de mecanismo de abertura de sulco não interferiu significativamente na pressão aplicada pela roda compactadora, isso também graças a regulagens da semeadora-adubadora. No entanto, o formato dos elementos compactadores exerceu interferência significativa na pressão aplicada sobre a linha de plantio. A pressão média aplicada pela roda lisa foi de $29,58 \text{ kPa}$, enquanto a pressão aplicada pela roda de borracha, de $20,43 \text{ kPa}$. 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 solo e sobre a semente; contudo, não quantificou esse efeito sobre as propriedades do solo.

O número médio de sementes distribuídas na linha de plantio foi de 7,6 sementes por metro linear; a semeadora-adubadora foi regulada para oito sementes por metro linear. Casão Júnior & Siqueira (2003) relataram que, se a semeadora apresentar número de sementes distribuídas no campo inferior a 10 % do recomendado, ela pode ser considerada como boa.

Não houve efeito significativo do teor de água no solo, dos mecanismos de abertura e elementos compactadores sobre o índice de velocidade de emergência, apresentando um valor médio de 9,4 plantas

Quadro 2. Médias de pressão aplicada pela roda compactadora da semeadora-adubadora sobre a linha de plantio

Teor de água no solo	Roda de borracha			Roda lisa			Média
	Facão	Disco	Média	Facão	Disco	Média	
kg kg ⁻¹							
0,22	18,63	17,65	18,14	30,40	28,44	29,42	23,78
0,28	21,57	23,54	22,55	28,44	29,42	28,93	25,74
0,34	21,57	19,61	20,59	29,42	31,38	30,4	25,50
Média	20,59	20,27	20,43 b	29,42	29,75	29,58 a	
Média geral	25,01						
CV (%)	11,4						

Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si a 5 %, pelo teste Tukey.

por dia. 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 da água do solo e que alguns dos fatores que mais influenciaram a perda de água pelo solo deveriam-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.

Não houve efeito significativo do teor de água no solo e elementos compactadores sobre a percentagem de emergência de plantas (Quadro 3). 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). Wilkins et al. (1983), testando diferentes tipos de sulcadores, encontraram diferenças na eficiência de emergência de plantas.

Não houve influência significativa do teor de água no solo, dos mecanismos de abertura e dos elementos compactadores da semente sobre a densidade mínima na região da semente. Embora não-significativos estatisticamente, o maior teor de água e o mecanismo tipo disco apresentaram maior valor de densidade mínima (0,64) e (0,62) (Quadro 4). Como o método da tomografia computadorizada é de resolução milimétrica, razão pela qual possibilita o detalhamento da densidade ao longo do perfil, era de se esperar que não houvesse diferenças nos valores de densidade mínima medidas pelo tomógrafo nos diferentes tratamentos.

Quadro 3. Valores médios de percentagem de germinação nos tratamentos estudados

Teor de água no solo	Roda de borracha			Roda lisa			Média
	Facão	Disco	Média	Facão	Disco	Média	
kg kg ⁻¹	%						
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 a	80,8 b	83,2	85,7 a	81,7 b	83,7	
Média geral	83,5						
CV (%)	7,1						

Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si a 5 % pelo teste Tukey.

Quadro 4. Valores médios de densidade mínima medida pelo tomógrafo nos tratamentos estudados na região da semente

Teor de água no solo	Roda de borracha			Roda lisa			Média
	Facão	Disco	Média	Facão	Disco	Média	
kg kg ⁻¹	g cm ⁻³						
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	0,64	0,51	0,66	0,58	
Média geral	0,60						
CV (%)	35,6						

Ausência de letra indica que não houve significância no teste F.

Embora não-significativo, o menor teor de água do solo apresentou maior valor de densidade (Quadro 5). A roda de borracha apresentou o menor valor de densidade, o que possivelmente decorreu da aplicação de menor pressão sobre a linha de semeadura.

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 g cm⁻³) que o facão (1,00 g cm⁻³). Tal fato deveu-se, provavelmente, ao espelhamento lateral causado pelo disco ao ser introduzido no solo, o que não acontece com o facão, que rompe o solo. Mesmo apresentando maiores valores de densidade nos mecanismos tipo disco duplo, não houve interferência no índice de velocidade de emergência. Estes maiores valores de densidade do solo afetaram, possivelmente, o percentual de emergência de plantas (Quadro 3),

resultados semelhantes foram encontrados por Nars & Selles (1995). Já Wilkins et al. (1983), 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 para 1,00 g cm⁻³.

Não houve interferência significativa do teor de água no solo e dos elementos compactadores sobre os valores de densidade máxima medida pelo tomógrafo (Quadro 6). Iqbal et al. (1998) observaram que, com o aumento do teor de água do solo, aumentou também a compactação lateral dos sulcos, o que não foi observado no presente trabalho. Já Hummel et al. (1981), trabalhando com diferentes tipos de

Quadro 5. Valores médios de densidade média medida pelo tomógrafo nos tratamentos estudados na região da semente

Teor de água no solo	Roda de borracha			Roda lisa			Média
	Facão	Disco	Média	Facão	Disco	Média	
kg kg ⁻¹	g cm ⁻³						
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	0,97b	1,13a	1,05	1,03b	1,09a	1,06	
Média geral	1,05						
CV (%)	15,7						

Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si a 5 % pelo teste tukey.

Quadro 6. Valores médios de densidade máxima medida pelo tomógrafo nos tratamentos estudados na região da semente

Teor de água no solo	Roda de borracha			Roda lisa			Média
	Facão	Disco	Média	Facão	Disco	Média	
kg kg ⁻¹	g cm ⁻³						
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	1,26a	1,38b	1,32	1,34a	1,43b	1,38	
Média geral	1,35						
CV (%)	9,5						

Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si a 5 % pelo teste Tukey.

mecanismos compactadores, afirmaram que o formato do elemento compactador tem influência sobre o meio ambiente do solo próximo à semente.

O mecanismo de abertura do sulco tipo disco duplo apresentou valores de densidade ($1,41 \text{ g cm}^{-3}$) significativamente superiores aos mecanismos tipo facão ($1,30 \text{ g cm}^{-3}$). É provável que o primeiro mecanismo tenha causado espelhamento na lateral do sulco, o que influenciou os valores de densidade do solo. O maior valor de densidade do solo encontrado no disco duplo dificultou a passagem de água até à semente, interferindo na porcentagem de germinação. Resultados semelhantes foram encontrados por Righes et al. (1984), indicando que os sulcadores tipo disco duplo aumentam a compactação no fundo do sulco, quando comparados com os do tipo haste, embora mobilizem menor quantidade de solo.

O valor de densidade do solo medido pelo método do anel volumétrico antes do plantio foi de $1,14 \text{ g cm}^{-3}$ e, pelo método da tomografia com o mecanismo tipo disco duplo, de $1,41 \text{ g cm}^{-3}$. Pressupõe-se que esse aumento de densidade tenha sido ocasionado pela ação da ferramenta no solo, em decorrência do maior detalhamento da variação da densidade ao longo do perfil do solo, enquanto o anel volumétrico expressou um valor médio pouco representativo neste caso (Pedrotti, 1996).

CONCLUSÕES

1. O mecanismo de abertura do sulco tipo disco duplo apresentou maiores valores de densidades média e máxima, avaliada por tomografia computadorizada.

2. O método da tomografia computadorizada mostra-se aplicável na determinação da densidade do solo na região da semente, de difícil avaliação por métodos convencionais.

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

4. No mecanismo sulcador tipo facão houve maior porcentagem de emergência de plantas.

5. Os mecanismos de compactação não interferiram na porcentagem de emergência de plantas.

LITERATURA CITADA

- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS – ASAE. ASAE Standards S313.2. St. Joseph, 1998. p.820-821.
- 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. R. Eng. Agric., 19:226-237, 1999.
- CASÃO JUNIOR, R. & SIQUEIRA, R. Resultados das avaliações do desempenho de semeadoras-adubadoras de plantio direto na costa oeste paranaense. Londrina, IAPAR, 2003. 132p.
- CHAUDHRY, M.A. & BAKER, C.J. Effects of drill coultter design on soil moisture status on emergence of wheat seedlings. Soil Till. Res., 2:131-142, 1982.
- 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. R. Bras. Ci. Solo, 16:161-167, 1992.
- FONSECA, M.G.C. Plantio direto de forrageiras: Sistema de produção. Guaíba, RS: Agropecuária, 1997. 101p.
- 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. Eng. Agric., 9:147-153, 2001.
- HUMMEL, J.W.; GRAY, L.E. & NAVE, W.R. Soybean emergence from field seedbed environments, Trans. Am. Soc. Agron. Eng., 24:872-878, 1981.
- IQBAL, M.; MARLEY, S.J.; ERBACH, D.C. & KASPAR, T.C. An evaluation of seed furrow smearing. Trans. Am. Soc. Agron. Eng., 41:1243-1248, 1998.
- JOSCHKO, M.; MULLER, P. C.; KOTZKE, K.; DOHRING, W. & LARINK, O. Earthworm burrow system development assessed by means of X-ray computed tomography. Geoderma, 56:209-221, 1993.
- MACEDO, I.A. Construção e uso de um tomógrafo com resolução micrométrica para aplicações em ciências do solo e do ambiente. São Carlos, Universidade de São Paulo, 1997. 129p. (Tese de Doutorado)
- MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Sci., 2:176-177, 1962.
- MANTOVANI, E.C.; BERTAUX, S. & ROCHA, F.E.C. Avaliação da eficiência operacional de diferentes semeadoras-adubadoras de milho. Pes. Agropec. Bras., 27:1579-1586, 1992.
- MEAD, J.A.; BALMER, A.L. & CHAN, K.Y. Effect of seedbed conditions on sowing point performance. Soil Till. Res., 22:13-25, 1992.
- NAIME, J.M. Um novo método para estudos dinâmicos, *in situ*, da infiltração da água na região não-saturada do solo. São Carlos, Universidade de São Paulo, 2001. 146p. (Tese de Doutorado)
- NARS, H.M. & SELLES, F. Seedlings emergence as influenced by aggregate size, bulk density, and penetration resistance of the seedbed. Soil Till. Res., 34:61-76, 1995.
- PEDROTTI, A. Avaliação da compactação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. Pelotas., Universidade Federal de Pelotas, 1996, 79p. (Tese de Mestrado)
- 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. Eng. Agric., 5:209-217, 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. *R. Eng. Agric.*, 17:71-78, 1997b.
- 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. *R. Ci. Tec. Agropec.*, 12:1-6, 2003.
- 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, FATEC, 1984. 100p.
- TESSIER, S.; HYDE, G.M.; PAPENDICK, R.I. & SAXTON, K.E. No till seeders effects on seed zone properties and wheat emergence. *Trans. Am. Soc. Agron. Eng.*, 34:729-733, 1991.
- 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 Technol.*, p.313-321, 1989.
- WILKINS, D.E.; MUILENBURG, G.A. & ALLMARAS, R.R. Grain-drill opener effects on wheat emergence. *Trans. Am. Soc. Agron. Eng.*, 26:651-656, 1983.