

Impacto do manejo nos atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho sob cerrado, no município de Selvíria, Estado do Mato Grosso do Sul

Monica Martins da Silva^{1*}, Marlene Cristina Alves², Antônio de Pádua Sousa³ e Flávia Carvalho Silva Fernandes¹

¹Departamento de Ciências Exatas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (Esalq), Universidade de São Paulo (USP), Av. Pádua Dias 11, Cx. Postal 9, 13418-900, Piracicaba, São Paulo, Brasil. ²Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Av. Brasil Centro, 56, Cx. Postal 31, 15385-000, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil. ³Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciência Agrárias (FCA), Universidade Estadual Paulista (Unesp), Fazenda Experimental Lageado, Cx. Postal 237, 18603-970, Botucatu, São Paulo, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: monicams@esalq.usp.br

RESUMO. Verificou-se a influência da semeadura direta, convencional e quatro plantas de cobertura na condutividade hidráulica saturada, infiltração, retenção, armazenamento de água e potencial mátrico em um Latossolo Vermelho de cerrado cultivado com milho, na Unesp de Ilha Solteira, Estado de São Paulo. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos casualizados, no esquema em faixas com parcelas subdivididas, com 4 blocos. As parcelas foram constituídas pelas plantas de cobertura: *Mucuna aterrima*, *Pennisetum americanum*, *Crotalaria juncea* e *Cajanus cajan* e área de pousio, e as subparcelas pelos sistemas de semeadura direta (SD) e convencional (SC). Nas camadas de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m nas tensões entre 6 e 100 kPa, a SC obteve maior armazenamento de água no solo; apesar da SC (0 - 0,20 m) apresentar maior armazenamento de água, comparado à SD, o mesmo foi menos eficiente em disponibilizar água às plantas; a SD apresentou maior uniformidade de distribuição de água no perfil do solo.

Palavras-chave: condutividade hidráulica do solo saturado, infiltração, retenção água no solo, armazenamento de água no solo, potencial mátrico.

ABSTRACT. The impact of management on the physical and hydrological attributes of a dark-red latosol under cerrado in Selvíria, State of Mato Grosso do Sul. This research work studied the influence of no-tillage, conventional tillage and four ground cover plants on the saturated hydraulic conductivity, infiltration, retention, storage of water and matric potential in a DARK-RED LATOSOL under cerrado, cultivated with maize. The study was conducted at Unesp of Ilha Solteira, State of São Paulo. A completely randomized design was used with subdivided parcels (randomized block design), with five treatments and four repetitions. The parcels were constituted of the following ground cover plants: *Mucuna aterrima*, *Pennisetum americanum*, *Crotalaria juncea*, *Cajanus cajan* and an area of spontaneous vegetation. As for the parcels subdivisions, the systems of soil management implemented were no-tillage (NT) and conventional tillage (CT). In the layers of 0.0-0.10 and 0.10-0.20 m, for tensions between 6 and 100 kPa, the CT system made the soil achieve greater water storage. Although CT (0 - 0.20 m) presented greater water storage compared to the NT, the same was less efficient in making the stored water available to the plants. The NT presented greater uniformity of water distribution in the profile of the soil.

Key words: hydraulic conductivity of saturated soil, infiltration, soil water retention, water storage in the soil, matric potential.

Introdução

A água é um dos elementos mais importantes na superfície terrestre e fator fundamental na produção vegetal. Sua falta ou excesso afetam de maneira decisiva o desenvolvimento das plantas e, por isso, seu manejo racional é um imperativo na maximização

da produção agrícola (Reichardt, 1985). Para desenvolver seu papel em relação às plantas, o solo comporta-se como um reservatório de água, no qual as plantas se beneficiam à medida de suas necessidades. Por outro lado, o manejo periódico e inadequado do solo causa danos a sua estrutura,

diminui a rugosidade superficial, a porosidade total, modifica o tamanho dos agregados, o que pode promover alterações consideráveis em fatores relacionados à dinâmica da água no sistema solo-planta. Em tempos em que o solo e a água se tornam fatores limitantes à produção em certas regiões do mundo, é muito importante manejar de forma coerente estes recursos (Oliveira, 1997). Assim, estudos têm sido conduzidos com a expectativa de se obter melhora nessas características do solo, as quais podem condicionar aumento da retenção de água pelo mesmo.

A semeadura direta, devido à mínima mobilização do solo e à manutenção de resíduos culturais na superfície, diminuem significativamente as perdas de solos e de água por erosão hídrica, atendendo ao aspecto conservacionista do solo. Os fatores que determinam a redução da erosão hídrica na semeadura direta podem provocar modificações na estrutura e na porosidade do solo quanto à infiltração de água e do crescimento radicular, resultando em condições distintas daquelas apresentadas pelos sistemas convencionais (Sá, 1993).

Algumas características do solo relacionadas com o transporte de água são afetadas pelo sistema de cultivo e são dinâmicas (Derpsch, 1997; Scapini *et al.*, 1998). Na semeadura direta, a densidade da camada superficial do solo tende a aumentar, causando redução na porosidade total, devido à diminuição dos macroporos e aumento dos microporos. Entretanto, os valores mais elevados de densidade observados em diferentes tipos de solo não causaram problemas para o crescimento de raízes (Anjos *et al.*, 1994). Segundo Derpsch *et al.* (1991), a maior densidade do solo na semeadura direta pode ser favorável por aumentar a retenção de água. Além disso, a infiltração de água é maior na semeadura direta quando comparada ao preparo convencional por proporcionar maior cobertura do solo e com isso reduzir o encrostamento e aumentar a estabilidade dos agregados na camada superficial. Na semeadura direta, a condutividade hidráulica do solo saturado tende a ser maior, o que favorece a infiltração de água. Da mesma forma, a retenção de água é maior nesse sistema (Carvalho *et al.*, 1999). Por outro lado, Derpsch *et al.* (1991), utilizando infiltrômetros de anéis para a avaliação das influências das características dos perfis dos solos sobre a infiltração, verificaram maior taxa de infiltração no preparo convencional do solo e a menor na semeadura direta, sendo este resultado relativo à proporção de macroporos.

A semeadura direta, por ser um sistema

conservacionista de preparo do solo contribui significativamente para diminuição da erosão. Por ser um processo de semeadura em solo não revolvido, no qual a mobilização é efetuada apenas na linha de semeadura, mantendo os restos culturais da cultura anterior na superfície, protege o solo contra a chuva e permite maior infiltração de água no perfil. O solo coberto com resíduos culturais apresenta melhora em sua estrutura na camada superficial, devido ao aumento de umidade e de matéria orgânica e à proteção contra chuva e enxurrada (De Maria e Castro, 1993).

Os diferentes sistemas de manejo de solos têm a finalidade de criar condições favoráveis ao desenvolvimento das culturas. Todavia, o preparo do solo em condições inadequadas de umidade e o uso de máquinas cada vez maiores e pesadas para essas operações pode levar a modificações na estrutura do solo, causando-lhe maior ou menor compactação, que poderá interferir na densidade do solo, na porosidade, na infiltração de água no solo e no desenvolvimento radicular das culturas, e, conseqüentemente, reduzir sua produtividade (De Maria *et al.*, 1999).

Segundo Hillel (1970), quanto maior o teor de argila, maior o conteúdo de água no solo sob dada tensão. Ribon (2000), estudando as propriedades físicas de um latossolo e um argissolo cultivados com seringueira e submetidos a vários manejos, verificou que, independente do manejo empregado, o latossolo reteve uma maior quantidade de água em relação ao argissolo em todas as tensões aplicadas, confirmando a influência da textura sobre a retenção de água no solo, sendo os solos com maior teor de argila aqueles que retêm maior conteúdo de água.

Ainda Lal (1994), avaliando diversos sistemas de preparo do solo, concluiu que em sistemas onde houve mobilização mínima do solo, houve maior armazenamento de água ao longo do ciclo da cultura.

Dalmago *et al.* (2002), estudando a disponibilidade de água no solo em sistemas de semeadura direta e semeadura convencional, verificaram que a semeadura direta mantém, por um período mais prolongado, maior disponibilidade de água no solo, ou seja, potencial mátrico menos negativos em relação ao convencional.

Segundo Stone e Moreira (1998), na semeadura direta sob irrigação, a cobertura vegetal do solo e a presença de raízes mortas aumentam em conjunto a rugosidade e a infiltração de água no solo. Assim, esse fato aliado à maior estabilidade estrutural faz com que infiltre maior quantidade de água reduzindo a perda de água por escoamento superficial. Além disso, o que verifica-se também nesta situação, é um

maior armazenamento de água no solo, que em conjunto com temperaturas mais estáveis, têm garantido maiores volumes de água disponível às plantas no perfil do solo sob semeadura direta. Estes autores realizaram pesquisa com feijão irrigado e verificaram menor tensão mátrica de água no solo e menor variação no tratamento sob semeadura direta, o que significa dizer que sempre houve mais água disponível para as plantas e menor variação no seu conteúdo.

O objetivo deste trabalho foi estudar a influência da semeadura direta, convencional e quatro plantas de cobertura na condutividade hidráulica do solo saturado, infiltração, retenção, armazenamento de água e potencial mátrico em um latossolo vermelho de cerrado cultivado com milho na região de Selvíria, Estado do Mato Grosso do Sul.

Material e métodos

Localização e caracterização da área experimental

O presente trabalho foi conduzido na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp, localizada no Município de Selvíria, Estado do Mato Grosso do Sul, apresentando como coordenadas geográficas 51° 22' de longitude Oeste de Greenwich e 20° 22' de latitude Sul, com altitude de 335 m.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho (Souza, 2000), cuja análise granulométrica consta na Tabela 1. A precipitação e a temperatura médias anuais são de 1.370 mm e 23,5°C, respectivamente, e a média anual da umidade relativa do ar varia entre 70% e 80 %.

Histórico da área experimental

O experimento teve início no ano agrícola de 1997/1998 (Carvalho, 2000), com a cultura do milho (*Zea mays* L.) no verão e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) no inverno, tendo continuidade nos anos de 1998/1999 (Carvalho, 2000), 1999/2000 (Almeida, 2001), 2000/2001, 2001/2002 (Suzuki, 2002).

Tabela 1. Análise granulométrica do latossolo vermelho estudado.

Preparos	Camada (m)	Granulometria (g kg ⁻¹)		
		argila	areia	Silte
Semeadura convencional	0,0-0,10	430,2	461,7	108,1
	0,10-0,20	444,5	458,9	96,6
	0,20-0,40	484,2	412,6	103,2
Semeadura direta	0,0-0,10	483,3	4415,6	75,1
	0,10-0,20	400,5	502,8	96,7
	0,20-0,40	463,4	466,9	69,7

Para o presente trabalho, foi acompanhado o ano agrícola de 2002/2003, sendo utilizado o período

referente à cultura de verão (milho).

O solo foi preparado inicialmente em 1997 com uma aração e duas gradagens e, em seguida, semeado o feijão. Após a colheita do feijão, em setembro, realizou-se o preparo do solo aplicando-se na área destinada à semeadura direta o herbicida glyphosate (2.400 g ha⁻¹ do i. a.), herbicida para dessecação, e na área destinada ao preparo convencional feita uma gradagem pesada e duas gradagens niveladoras.

Em seguida, procedeu-se à semeadura das plantas de cobertura e em dezembro realizou-se o manejo destas, das quais na área destinada à semeadura direta fez-se a dessecação das plantas de cobertura e, nas áreas do preparo convencional, as plantas de cobertura foram roçadas. Posteriormente realizou-se uma gradagem pesada e duas niveladoras e semeada a cultura do milho.

No ano agrícola de 2002/2003, ou seja, durante a condução da presente pesquisa, realizou-se as mesmas atividades citadas anteriormente, sendo que, em maio de 2002, foi semeada a cultura de inverno (feijão), em 17 de setembro, as plantas de cobertura e em 13 de dezembro foi semeada a cultura de verão (milho). A colheita do milho ocorreu em 17 de abril de 2003.

Este procedimento de manejo do solo está sendo utilizado desde a implantação do experimento em 1997/1998, portanto, há cinco anos.

Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram constituídos pela combinação de quatro plantas de cobertura e área de pousio (vegetação espontânea) e dois sistemas de semeadura.

As parcelas foram constituídas por quatro plantas de cobertura: mucuna-preta (*Mucuna aterrima*), milheto (*Pennisetum americanum*), crotalária (*Crotalaria juncea*) e guandu (*Cajanus cajan*) e área com vegetação espontânea (pousio). As subparcelas foram constituídas pelos sistemas de semeadura direta e convencional (preparo do solo com grade aradora e grade niveladora). Cada subparcela teve a dimensão de sete metros de largura por seis metros de comprimento e foram espaçadas uma das outras por uma distância de sete metros.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, no esquema em faixas com parcelas subdivididas, com quatro blocos.

Avaliou-se a condutividade hidráulica do solo saturado no campo com o permeâmetro de Guelph, segundo Reynolds e Elrick (1985), a qual foi calculada a partir dos valores do fluxo constante de infiltração segundo modelo matemático proposto por Vieira *et al.* (1988):

$$Q = \left(\left(\frac{2\pi H^2}{C} \right) + \pi a^2 \right) * Kfs + \left(\frac{2\pi H}{C} \right) * \Psi_m$$

Em que:

Q= é o fluxo constante, (cm³ cm⁻³)

Kfs= é a condutividade hidráulica do solo saturado no campo, (cm s⁻¹)

H= é a carga hidráulica utilizada (cm)

C= é um fator de geometria, (cm cm⁻¹)

a= é o raio do orifício onde as medições foram feitas, (cm).

Ψ_m = é o potencial mátrico do fluxo, (cm² s⁻¹)

A solução da equação gera valores de Kfs em mm h⁻¹. As avaliações foram feitas nas profundidades de 0,10; 0,20 e 0,40 m empregando-se duas cargas hidráulicas, de 0,03 e 0,06 m (Reynolds e Elrick, 1985). Os resultados para a infiltração e condutividade hidráulica foram classificados de acordo com Soil Survey Staff (1993).

Para determinar a retenção de água, a densidade do solo e a macroporosidade, foram utilizadas amostras indeformadas de solo coletadas das camadas 0,00 – 0,10; 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m, utilizando um extrator tipo Uhland. Para a macroporosidade (tensão de 6 kPa), utilizou-se uma mesa de tensão (Embrapa, 1997). Para verificar a retenção de água, utilizou-se a mesa de tensão (6 kPa) e a câmara de Richards (50, 100 e 200 kPa) (Libardi, 2000).

O monitoramento do potencial mátrico de água no solo foi realizado nas profundidades de 0,10, 0,20 e 0,40 m, sendo realizado no período em que a cultura do milho requer mais água, isto é, no florescimento. O mesmo foi efetuado nas áreas onde foram cultivadas anteriormente uma leguminosa e uma gramínea, sendo escolhidos a crotalária e o milheto. O período de avaliação foi, portanto, de 18 de janeiro a 27 de fevereiro de 2003. Foi obtido por transformações das leituras diárias dos tensiômetros (em centímetros de coluna de mercúrio) instalados na área experimental, o potencial mátrico, cuja expressão que o calcula é assim descrita:

$$\Psi_m = -12,6 H + H_s + H_c$$

Em que:

Ψ_m = potencial mátrico (tensão) de água no solo, (cca)

H= altura da coluna de mercúrio, (cm)

Hs= distância entre a superfície do solo e o centro da cápsula porosa, (cm)

Hc= distância entre a superfície do solo e o nível superior da cubeta de mercúrio, (cm)

O armazenamento de água foi determinado nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, utilizando-se as mesmas amostras indeformadas, nas quais se avaliou a retenção de água. Para o cálculo, utilizou-se o seguinte modelo matemático:

$$A = (\theta_6 - \theta_{100}) * p$$

Em que:

A = armazenamento de água, (mm)

θ_6 = teor de água no solo com base em volume na tensão de 6 kPa

θ_{100} = teor de água no solo com base em volume na tensão de 100 kPa

p= profundidade do solo em estudo, (mm).

O intervalo de armazenamento de água utilizado, ou seja, do conteúdo de água do solo à tensão de 6 kPa até 100 kPa, é devido à maioria das culturas, durante seu período crítico, precisarem de um conteúdo mínimo de água no solo que corresponda a um potencial total de água no solo de no máximo 100 kPa, pois, a partir disto, resulta em decréscimo significativo da produtividade.

Resultados e discussão

Infiltração de água no solo

Na Tabela 2, constam os valores de F para a infiltração de água no solo nas profundidades de 0,10; 0,20 e 0,40 m.

Tabela 2. Valores de F, coeficiente de variação (CV) e diferença mínima significativa (DMS) para infiltração de água no solo nas profundidades de 0,10, 0,20 e 0,40 m.

Causas da variação	Valores de F para infiltração de água		
	0,10 m	0,20 m	0,40 m
Preparo (P)	25,01 *	7,51 ^{ns}	5,30 ^{ns}
CV %	72,03	159,57	120,04
Planta de cobertura (PC)	0,58 ^{ns}	2,02 ^{ns}	0,43 ^{ns}
P*PC	1,1 ^{ns}	2,03 ^{ns}	1,79 ^{ns}
CV %	128,42	83,01	69,39
DMS Tukey a 5 %			
Preparo (P)	1,33	5,22	9,78
Planta de cobertura (PC)	2,67	3,06	6,37
P*PC	2,62	2,99	6,23
PC*P	3,78	4,32	9,00

n.s. não significativo; * significativo a 5 %

Na Tabela 3, observa-se que na profundidade de 0,10 m houve diferença estatística entre os preparos, sendo a semeadura direta o preparo que promoveu menor infiltração de água, contrariando os resultados encontrados por Andrade *et al.* (2002).

Segundo Abrão *et al.* (1979), isso se deve à maior mobilização do solo na semeadura convencional, pois absorve a água mais rapidamente na camada

mobilizada e mais lentamente nas profundas. Contudo, na semeadura direta existem canais formados pela decomposição das raízes e pela ação dos organismos do solo que mantêm uma velocidade de infiltração mais uniforme durante um tempo maior (Eltz *et al.*, 1989).

Tabela 3. Valores médios de infiltração de água no solo (mm h^{-1}) obtidos nos preparos de solo estudados.

Preparos de solo	Infiltração de água		
	Profundidade (m)		
	0,10	0,20	0,40
Semeadura convencional	1,95 A	3,74 A	7,80 A
Semeadura direta	0,40 B	0,42 A	2,57 A
Plantas de cobertura			
Milheto	1,81 A	1,34 A	5,80 A
Pousio	1,36 A	1,51 A	3,73 A
Crotalária	0,52 A	2,68 A	6,25 A
Mucuna	1,05 A	3,57 A	4,81 A
Guandu	1,12 A	1,32 A	5,36 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo Teste de Tukey a 5%.

Algumas características do solo relacionadas com o transporte de água são afetadas pelo sistema de cultivo e são dinâmicas (Derpsch, 1997; Scapini *et al.*, 1998), já que, na semeadura direta, a densidade da camada superficial do solo tende a aumentar, causando redução na porosidade total, devido à diminuição dos macroporos e aumento dos microporos, e, dessa forma, os valores de infiltração de água tendem a diminuir.

Outro aspecto a ser considerado, segundo Ferreira (2000), é o tempo de implantação da semeadura direta. Este autor, ao estudar a infiltração de água e a condutividade hidráulica saturada em solos sob semeadura direta, um a seis anos e outro a quatorze, com vários estados de compactação, verificou que, na área onde a semeadura direta está a mais tempo e com rotação de culturas, a infiltração de água foi quatro vezes maior em relação à área com menor tempo de implantação desse sistema, levando-se a inferir que os resultados encontrados na área em estudo são também devido ao pouco tempo de implantação da semeadura direta, ou seja, cinco anos.

Nas profundidades de 0,20 e 0,40 m, não houve diferença estatística para a infiltração de água entre os preparos do solo, concordando com Souza e Alves (2003), os quais, estudando a influência de diferentes tipos de uso e manejo sobre as modificações do movimento de água de um latossolo vermelho sob cerrado, não verificaram diferenças estatísticas entre a semeadura direta e a convencional. Outra explicação para esse fato, provavelmente, é devido ao alto coeficiente de variação de 159,47% e 120,04%, respectivamente, concordando com os resultados obtidos por Andrade (1997) e devido à variabilidade espacial do solo. Segundo Sharma e Luxmoore (1979)

alguns estudos sobre variabilidade espacial das propriedades hidrodinâmicas do solo de parcelas agrícolas indicaram que os solos, mesmo de aparência homogênea, apresentam considerável variabilidade, no espaço, das suas propriedades físicas.

Os valores de infiltração foram considerados muito lentos nas profundidades de 0,10 e 0,20 m para ambos os preparos e na profundidade de 0,40 m para a semeadura convencional foi classificado como lento, segundo classificação do Soil Survey Staff (1993). Um aspecto a ser considerado sobre a baixa permeabilidade da água nesse solo são os valores de macroporosidade, os quais estão abaixo do limite crítico de aeração de $0,10 \text{ m}^{-3} \text{ m}^{-3}$ considerado impeditivo para o crescimento das raízes (Grable e Siemer, 1968), apresentando na camada de 0,10 m $0,08$ e $0,09 \text{ m}^{-3} \text{ m}^{-3}$, na camada de 0,20 m $0,07$ e $0,08 \text{ m}^{-3} \text{ m}^{-3}$ e na camada de 0,40 m $0,11$ e $0,14 \text{ m}^{-3} \text{ m}^{-3}$ de macroporos na semeadura direta e convencional, respectivamente. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Derpsch *et al.* (1991), os quais, utilizando infiltrômetros de anéis para a avaliação das influências das características dos perfis dos solos sobre a infiltração, verificaram maior taxa de infiltração no preparo convencional do solo e a menor na semeadura direta, sendo este resultado relativo à proporção de macroporos.

Além disso, pode-se considerar os altos valores de densidade do solo, isto é, $1,45$ e $1,49 \text{ kg m}^{-3}$ na camada de 0,10 m, $1,47$ e $1,57 \text{ kg m}^{-3}$ na camada de 0,20 m e $1,32$ e $1,35 \text{ kg m}^{-3}$ na camada de 0,40 m na semeadura direta e convencional, respectivamente.

Ainda, verificou-se que não houve diferença estatística para a infiltração de água no solo entre as plantas de cobertura, o que pode ser atribuído ao alto coeficiente de variação, além da alta resistência mecânica à penetração, que variou de $2,18$ a $3,01 \text{ MPa}$, valores acima do limite crítico de $2,0 \text{ MPa}$, sugerido por Tormena (1998). Estes resultados aliados aos baixos valores de macroporosidade e altos valores de densidade do solo, os quais dificultam o crescimento de raízes, possivelmente afetaram a infiltração de água no solo.

Condutividade hidráulica do solo saturado

Na Tabela 4, constam os valores de F para a condutividade hidráulica do solo saturado nas profundidades de 0,10, 0,20 e 0,40 m.

A condutividade hidráulica saturada (K_s) (Tabela 5), segundo limites propostos por Klute e Dirksen (1986), foi baixa em todas as profundidades estudadas, apresentando coeficiente de variação de 40,76%, 133,21% e 131,35 % nas profundidades de 0,10, 0,20 e 0,40 m,

respectivamente, concordando com a grande variabilidade desta determinação obtida por outros autores (Queiroz, 1995; Van Es *et al.*, 1999). Provavelmente, devido aos altos valores de coeficiente de variação e a variabilidade do solo, a Ks não foi diferente estatisticamente entre os sistemas de preparo do solo nas profundidades de 0,20 e 0,40 m. Na profundidade de 0,10 m, houve diferença estatística para a Ks entre os preparos do solo, sendo maior na semeadura convencional, provavelmente devido ao revolvimento do solo nessa camada durante o preparo, levando a maior porosidade total do solo.

Tabela 4. Valores de F, coeficiente de variação (CV) e diferença mínima significativa (DMS) para condutividade hidráulica do solo saturado nas profundidades de 0,10, 0,20 e 0,40 m.

Causas da variação	Valores de F para condutividade hidráulica		
	0,10 m	0,20 m	0,40 m
Preparo (P)	89,18 *	10,27 ^{ns}	4,00 ^{ns}
CV %	40,76	133,21	131,35
Planta de cobertura (PC)	0,78 ^{ns}	1,51 ^{ns}	0,36 ^{ns}
P*PC	0,96 ^{ns}	1,85 ^{ns}	3,60 *
CV %	123,03	105,65	90,50
DMS Tukey a 5 %			
Preparo (P)	0,92	4,97	7,54
Planta de cobertura (PC)	3,11	4,44	5,85
P*PC	3,05	4,34	5,72
PC*P	4,40	6,27	8,27

n.s. não significativo; * significativo a 5 %

Tabela 5. Valores médios de condutividade hidráulica do solo saturado (mm h⁻¹) obtidos nos preparos de solo estudados.

Preparos de solo	Condutividade hidráulica (mm h ⁻¹)		
	Profundidade (m)		
	0,10	0,20	0,40
Semeadura convencional	2,43 A	4,22 A	5,40 A
Semeadura direta	0,42 B	0,52 A	1,90 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Na Tabela 6, consta o desdobramento da interação entre preparo do solo e planta de cobertura para a condutividade hidráulica na profundidade de 0,40 m. Verifica-se que não houve diferença significativa entre as plantas de cobertura dentro de cada preparo do solo, porém, observa-se que entre os preparos a área onde foi cultivado o milho sob semeadura direta promoveu menor condutividade hidráulica em relação ao convencional. Isso pode estar relacionado à variabilidade do solo, pois o efeito do preparo que atinge a camada mais superficial não chega às mais profundas. Além disso, as características do processo de movimentação tridimensional da água podem ser influenciadas pelas tubulações biológicas, ou seja, galerias de insetos, como formigas e cupins.

De forma geral, verifica-se que a semeadura direta obteve resultados semelhantes à convencional, devido, possivelmente, à presença de macroporos verticais ao longo do perfil, resultantes da decomposição de raízes nesse sistema conservacionista. Abreu *et al.* (2000), estudando o efeito de sistemas de manejo em propriedades hídricas do solo, observaram valores de condutividade hidráulica semelhantes para o solo sob semeadura direta cultivado com soja e cultivo mínimo cultivado com crotalária.

Tabela 6. Desdobramento da interação entre plantas de cobertura e preparo do solo para condutividade hidráulica do solo saturado (mm h⁻¹) na profundidade de 0,40 m.

Plantas de cobertura	Condutividade hidráulica (mm h ⁻¹)	
	Semeadura direta	Semeadura convencional
Milheto	0,15 b A	9,77 a A
Pousio	2,25 a A	5,01 a A
Crotalária	1,31 a A	5,99 a A
Mucuna	0,73 a A	5,67 a A
Guandu	5,05 a A	0,58 a A

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo Teste de Tukey a 5%.

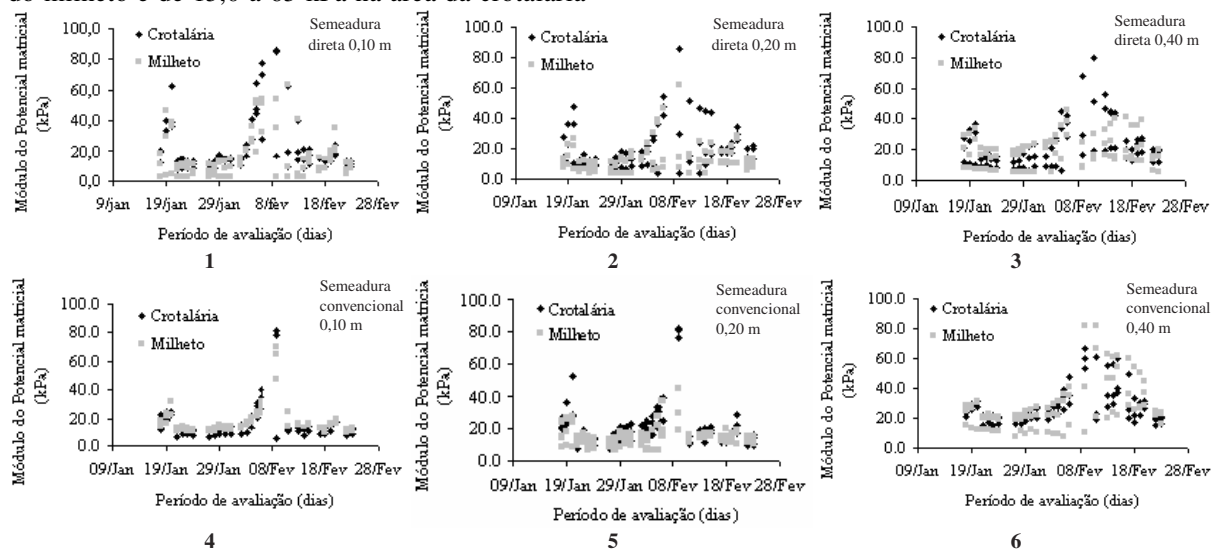
Potencial mátrico

A dispersão dos valores do potencial mátrico consta nas Figuras 1 a 6. Para a profundidade de 0,10 m na semeadura direta, observa-se que o potencial mátrico do solo variou de 0,1 a 65,0 kPa na área onde anteriormente ao milho foi cultivado o milho como planta de cobertura e, na área onde foi cultivada a crotalária, este variou de 10,0 a 83,0 kPa (Figura 1). Nesta mesma profundidade, porém, para a semeadura convencional, observou-se que o potencial mátrico variou de 0,8 a 79 kPa na área do milho e de 0,3 a 83,0 kPa na área da crotalária (Figura 4).

Na Figura 2, observa-se que o potencial mátrico do solo na profundidade de 0,20 m na semeadura direta, variou de 0,2 a 62,0 kPa no local onde estava o milho. anteriormente ao milho e, na área da crotalária, este variou de 0,2 a 90,0 kPa. Já, na semeadura convencional para esta mesma profundidade o potencial mátrico variou de 0,7 a 42,0 kPa na área do milho e de 0,8 a 82,0 na área da crotalária (Figura 5).

Observando-se a Figura 3, verifica-se que o potencial mátrico do solo sob semeadura direta na profundidade de 0,40 m, na área onde anteriormente ao milho foi cultivado o milho, variou de 0,3 a 48,0 kPa e, na área da crotalária, variou de 0,5 a 81,0 kPa. Na semeadura convencional, nesta mesma profundidade, o

potencial mátrico variou de 0,8 a 80,0 kPa na área do milho e de 15,0 a 65 kPa na área da crotalária (Figura 6).



Figuras 1 a 6. Dispersão dos valores de potencial mátrico do solo (kPa) em função da planta de cobertura e manejo do solo.

Esses resultados mostram que, sob semeadura direta, o potencial mátrico do solo foi menor na área onde anteriormente foi cultivado o milho em relação à área da crotalária, nas três profundidades de estudo. Esse resultado pode estar ligado à maior produção de matéria seca do milho (5.589 kg ha^{-1}) em relação a crotalária (2.998 kg ha^{-1}), contribuindo com uma maior cobertura do solo e conseqüentemente com uma menor perda de água por evaporação e escoamento superficial.

Na semeadura convencional do solo, verificou-se a mesma tendência do potencial mátrico de água no solo, em relação à semeadura direta na profundidade de 0,10 m e 0,20 m, ou seja, a área do milho promoveu menor potencial mátrico. Entretanto, na profundidade de 0,40 m, houve menor potencial mátrico de água no solo na área onde foi cultivada a crotalária. Segundo Barley (1954), plantas de cobertura com sistema radicular de diâmetro maior, ao se decomporem, deixam canais que podem melhorar o movimento da água. Sendo a crotalária uma leguminosa com sistema radicular bastante agressivo e aliado ao revolvimento do solo na semeadura convencional, pode-se inferir que houve maior potencial mátrico na camada superficial, devido à maior infiltração inicial de água, e na profundidade de 0,40 m o menor potencial pode ser atribuído à matéria orgânica oriunda da decomposição de suas raízes, que, de acordo com Miyasaka *et al.* (1983), atingem grandes profundidades. Indiretamente, tanto pela exsudação quanto após sua decomposição, as raízes fornecem materiais

orgânicos estabilizantes e deposições de carbono abaixo da superfície, materiais estes de grande importância para a estrutura do solo (Perfect *et al.*, 1990) e, assim, contribuindo para um menor potencial mátrico de água no solo.

Além disso, esses resultados podem estar ligados ao pico máximo do potencial mátrico no dia 8 de fevereiro, que devido à falta de precipitação pluviométrica e problemas técnicos com o sistema de irrigação, não foi possível irrigar a área no momento adequado. Conseqüentemente, o potencial mátrico de água no solo elevou-se, voltando a diminuir quando começou a chover a partir do dia 10 (26,4 mm) do mesmo mês.

Analisando todos os resultados, verifica-se ainda que a semeadura direta proporcionou um conteúdo de água mais homogêneo no perfil do solo, ocorrendo o contrário com a semeadura convencional.

Armazenamento de água no solo

Na Tabela 7, constam os valores de F para o armazenamento de água do solo nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m.

Observando-se os valores médios de armazenamento de água (água compreendida entre a tensão de 6 e 100 kPa) na Tabela 8, verifica-se que houve diferença estatística entre os sistemas de preparo do solo nas camadas de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m, sendo a semeadura convencional o preparo que promoveu maior armazenamento de água pelo solo, discordando dos resultados obtidos por Abrão *et al.* (1979), os quais, trabalhando com seis sistemas de

preparo do solo, não observaram diferenças significativas entre os tratamentos, quanto ao armazenamento de água.

Tabela 7. Valores de F, coeficiente de variação (CV) e diferença mínima significativa (DMS) para armazenamento de água nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m.

Causas da variação	Valores de F para armazenamento de água		
	0,0-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m
Preparo (P)	13,53 **	40,43 **	3,93 ns
CV %	34,79	17,53	31,97
Planta de cobertura (PC)	0,68 ns	1,09 ns	0,83 ns
P*PC	1,01 ns	1,11 ns	0,57 ns
CV %	33,75	16,04	30,32
DMS Tukey a 5 %			
Preparo (P)	3,17	2,62	12,77
Planta de cobertura (PC)	4,50	3,51	17,74
P*PC	4,46	3,47	17,57
PC*P	6,37	4,96	25,09

n.s. não significativo; ** significativo a 1 %

Tabela 8. Valores médios de armazenamento de água (mm) obtidos nos preparos de solo e plantas de cobertura estudados.

Preparos de solo	Armazenamento de água (mm)		
	Camadas (m)		
	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
Semeadura direta	7,23 B	12,23 B	35,72 A
Semeadura convencional	10,89 A	17,46 A	43,68 A
Plantas de cobertura			
Milheto	8,70 A	15,64 A	45,35 A
Pousio	9,84 A	13,54 A	41,98 A
Crotalária	8,26 A	15,05 A	36,68 A
Mucuna	8,32 A	14,40 A	36,23 A
Guandu	10,19 A	15,60 A	38,27 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo Teste de Tukey a 5%.

Oliveira (1997), estudando o efeito de cinco sistemas de preparo do solo na retenção e armazenamento de água durante as fases fenológicas da cultura do milho, não verificou diferença estatística entre a semeadura direta, cultivo mínimo e plantio convencional para o armazenamento de água. Zimmermann (2001), estudando as alterações no crescimento e no rendimento de plantas de milho relacionadas com as variações no armazenamento, disponibilidade e extração de água do solo em dois sistemas de cultivo, verificou que a semeadura direta e a semeadura convencional não diferiram quanto ao armazenamento e à disponibilidade de água no solo às plantas de milho. Lampurlanés *et al.* (2002), estudando os efeitos de manejos do solo no armazenamento de água durante o período de pousio em dois solos em La Segarra, região semi-árida da Espanha, verificaram que não houve diferença estatística para a eficiência de armazenamento de água entre a semeadura direta, cultivo mínimo e escarificador.

O maior armazenamento de água no solo promovido pela semeadura convencional pode estar relacionado à pulverização deste, devido à

mobilização intensa, causando formação de agregados finos com capacidade de armazenar maior volume de água entre as tensões analisadas (6 e 100 kPa). Silva *et al.* (1986) observaram que à medida que se reduzia o diâmetro médio dos poros, ocorria aumento na retenção de água a 0,01 e 0,1 MPa, e um aumento da água disponível entre estas tensões.

Conclusão

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que: a) considerando as camadas de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m nas tensões entre 6 e 100 kPa, o sistema de semeadura convencional obteve maior armazenamento de água no solo; b) apesar do sistema de semeadura convencional na camada de 0 - 0,20 m, nas tensões entre 6 e 100 kPa apresentar maior armazenamento de água, comparado ao sistema de semeadura direta, o mesmo foi menos eficiente em disponibilizar a água armazenada às plantas; c) o sistema de semeadura direta apresentou uma maior uniformidade de distribuição de água no perfil do solo.

Referências

- ABRÃO, P.U.R. *et al.* Efeitos dos sistemas de preparo periódico do solo sobre características de um Latossolo Roxo distrófico. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 3, n. 3, p. 169-172, 1979.
- ABREU, S.L. *et al.* Propriedades hídricas afetadas por sistema de manejo de um Argissolo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13., 2000, Ilhéus. *Resumos... Ilhéus*: Universidade Federal de Bahia, 2000. 1 CD-ROM.
- ALMEIDA, V.P. *Sucessão de culturas em preparo convencional e plantio direto em Latossolo Vermelho sob vegetação de cerrado*. 2001. Dissertação (Mestrado Agronomia/Sistemas de Produção)–Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2001.
- ANDRADE, A.R.S. *Características físico-hídricas da estação experimental da Embrapa Algodão. Variabilidade espacial*. 1997. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal da Paraíba. Disponível em: <<http://www.deag.ufpb.br/~copeag/Pdfs/Resumos/Id/38.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2003.
- ANDRADE, C.L.T. *et al.* Impacto do manejo em alguns atributos e na dinâmica da água no solo. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. *Resumos... Florianópolis*: Multimídia Prox, 2002. 1 CD-ROM.
- ANJOS, J.T. *et al.* Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 8, n. 1, p. 139-145, 1994.

- BARLEY, K.P. Effect of root growth and decay on the permeability of a synthetic sandy loam. *Soil Sci.*, Baltimore, v. 78, n. 1, p. 205-210, 1954.
- CARVALHO, E.J.M. *et al.* Comportamento físico-hídrico de um Podzólico Vermelho-amarelo câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 34, n. 2, p. 257-265, 1999.
- CARVALHO, M.A.C. *Adubação verde e sucessão de culturas em semeadura direta e convencional em Selvíria-MS*. 2000. Tese (Doutorado em Agronomia/Produção Vegetal)–Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2000.
- DALMAGO, G.A. *et al.* Alterações na disponibilidade de água no solo em sistemas de semeadura direta e convencional. 2002. Disponível em <<http://www.fepagro.rs.gov.br/milho2002/milho/MILHO-T01.PDF>>. Acesso em 09 out. 2003.
- DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M. Fósforo, potássio e matéria orgânica em um Latossolo Roxo, sob sistemas de manejo com milho e soja. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 17, n. 3, p. 471-477, 1993.
- DE MARIA, I.C. *et al.* Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 703-709, 1999.
- DERPSCH, R. Agricultura sustentável. In: SATURNINO, H.M.; LANDERS, J.N. (Ed.). *O meio ambiente e o plantio direto*. Brasília: Serviço de Produção de Informações/Embrapa, 1997, p. 29-48.
- DERPSCH, R. *et al.* Comparação entre diferentes métodos de preparo do solo. In: DERPSCH, R. *et al.* (Ed.). *Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo*. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ)/Londrina: lapar, 1991, p. 71-116.
- ELTZ, F.L.F. *et al.* Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 13, n. 2, p. 259-267, 1989.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo (Rio de Janeiro, RJ). *Manual de Metodologia de Análise do solo*. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997.
- FERREIRA, F.P. Condutividade hidráulica saturada, infiltração de água e compactação do solo no sistema plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13., 2000, Ilhéus. *Resumos...* Ilhéus: Universidade Federal da Bahia, 2000, 1 CD-ROM.
- GRABLE, A.R.; SIEMER, E.F. Effects of bulk density, aggregate size and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 32, n. 1, p. 180-186, 1968.
- HILLEL, D. Solo e água: fenômenos e princípios. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1970.
- KLUTE, A.; DIRKSEN, C. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. In: KLUTE, A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. part 1, p.687-732.
- LAL, R. Water management in various crop production systems related to soil tillage. *Soil Tillage Res.*, Amsterdam, v. 30, n. 24, p. 169-185, 1994.
- LAMPURLANÉS, J. *et al.* Tillage effects on water storage during fallow, and on barley root growth and yield in two contrasting soils of the semi-arid Segarra region in Spain. *Soil Tillage. Res.*, Amsterdam, v. 65, n. 2, p. 207-220, 2002.
- LIBADI, P.L. *Dinâmica da água no solo*. 2. ed. Piracicaba: O autor, 2000.
- MIYASAKA, S. *et al.* *Adubação orgânica, adubação verde e rotação de culturas no Estado de São Paulo*. Campinas: Fundação Cargill, 1983.
- OLIVEIRA, P.M. de. *Efeitos de sistemas de preparo periódico do solo, na retenção e armazenamento de água, durante as fases fenológicas da cultura do milho (Zea Mays L.)*. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Irrigação e Drenagem)–Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.
- PERFECT, E. *et al.* Factors influencing soil structural stability within a growing season. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 54, n. 1, p. 173-179, 1990.
- QUEIROZ, J.E. *Parâmetros hidrodinâmicos de um solo de várzea para fins de drenagem subterrânea*. 1995. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)–Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.
- REICHARDT, K. *Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera*. 4. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1985.
- REYNOLDS, W.D.; ELRICK, D.E. In situ measurement of field-saturated hydraulic conductivity, sorptivity, and the α - parameter using the Guelph permeameter. *Soil Sci.*, Baltimore, v. 140, n. 4, p. 292-302, 1985.
- RIBON, A.A. *Propriedades físicas de um Latossolo e Podzólico cultivados com seringueira (Hevea brasiliensis) submetidos a práticas de manejos no planalto ocidental*. 2000. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Ciência do Solo)–Faculdade de Ciências Agrônomicas e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2000.
- SÁ, J.C.M. *Manejo da fertilidade do solo no plantio direto*. Castro: Fundação ABC, 1993.
- SHARMA, M.L.; LUXMOORE, R.J. Soil spatial variability and its consequences on simulated water balance. *Water Res. Res.*, Washington, DC, v. 15, n. 5, p. 567-573, 1979.
- SCAPINI, C. A. *et al.* Evolução da estabilidade estrutural de solo degradado por dois anos de preparo convencional e plantio direto contínuo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12., 1998, Fortaleza. *Resumos...* Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 1998, p. 177-178.
- SILVA, A.P. *et al.* Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 10, n. 2, p. 91-95, 1986.

- SOIL SURVEY STAFF. *Soil survey manual*. Washington: Soil Conservation Service – United States Department of Agriculture. Gov. Print. Office, 1993, 437 p. (Handbook, 18).
- SOUZA, Z.M. *Propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro de Selvíria-MS sob diferentes usos e manejos*. 2000. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Sistemas de Produção)–Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2000.
- SOUZA, Z.M.; ALVES, M.C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. *Rev. Bras. Eng. Agric. Amb.*, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 18-23, 2003.
- STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. A irrigação no Plantio Direto. *Direto no Cerrado*, Brasília, n. 8, p. 5-6, 1998.
- SUZUKI, L.E.A.S. *Influência de adubos verdes na recuperação de propriedades físicas de um latossolo vermelho de cerrado*. 2002. Trabalho de Graduação (Agronomia)-Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2002.
- TORMENA, C.A. *Caracterização e avaliação do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo*. 1998. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.
- VAN ES, H.M. et al. Integrated assessment of space, time, and management-related variability of soil hydraulic properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 63, n. 6, p. 1599-1608, 1999.
- VIEIRA, S.R. Spatial variability of hydraulic properties in a highly structured clay soil. In: WIERANGA, P.J.; BACHELET, D. (Ed.). *Off flow and transport models for the unsaturated zone*. Las Cruces: Department of Agronomy and Horticulture, New Mexico State University, 1988. p. 471-483. (Research Report 88-SS-04).
- ZIMMERMANN, F.L. *Crescimento de plantas de milho e armazenamento de água no solo em dois sistemas de cultivo*. 2001. Dissertação (Mestrado em Agronomia)–Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

Received on April 14, 2005.

Accepted on December 07, 2005.