

Efeitos de sistemas de preparo do solo no potencial matricial de um Latossolo Vermelho (Oxisol)

Effects of soil tillage systems in the matric potential on Latossolo Vermelho (Oxisol)

ALVES, M. C.¹; PAZ GONZALEZ, A.²; ALMEIDA, V. P.³ & OLIVEIRA, S. A.¹

ABSTRACT

The present work aimed to investigate which was the soil tillage system that better fits for conditions of intensive agriculture, on the region of Selvíria – MS. The main objective of this paper was to study the conservation and availability of water in the soil profile. In order to evaluate the soil matric potential in field conditions, readings were accomplished, using tensiometers with a mercury gauger. Matric potential was measured at 0.10 m depth, during the vegetative period of *Triticum aestivum* L. and at four depths 0.10; 0.20; 0.30 e 0.40 m during the vegetative period of *Phaseolus vulgaris* L. The study areas were located in the municipal district of Selvíria, MS, Brazil. The used experimental set-up was entirely random designed, with treatments disposed in strips; three treatments and four repetitions were used. In the different treatments, soil matric potential was determined. Result allow to conclude that the water matric potential was highest for no-tillage and minimum tillage; however, it was also shown that these two tillage systems, allowed to conserve more water in the soil, when compared to the conventional tillage. In the last cycle of the *Phaseolus vulgaris* L. crop, no-tillage presented smaller storage of water in the soil, compared to the minimum tillage.

Key words: water retention, soil water storage, no-tillage, minimum tillage, conventional tillage, Oxisol

(1) Faculdade de Engenharia. Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho". Av. Brasil, 56, Cx. Postal 31. 15.385-000. Ilha Solteira-SP-Brasil.

(2) Facultad de Ciencias. Universidad de A Coruña. A Zapateira s/n. 15071. A Coruña.

(3) Escola Agrotécnica Federal de Rio Verde. Cx. Postal 66. 75901-970. Rio Verde-GO-Brasil.

INTRODUÇÃO

A grade pesada tem sido um impleximento de preparo do solo de uso generalizado, no estado do Mato Grosso do Sul, Brasil, por ser de alto rendimento operacional em relação a outros. Mas a profundidade do solo preparado diminui com o tempo, devido a compactação, trazendo várias conseqüências, como por exemplo: o aumento da densidade do solo, alterações na distribuição do tamanho de poros e no movimento e retenção de água no solo.

Em função do manejo a que está submetido, o solo é passível tanto de degradação quanto de melhoramento em seu potencial produtivo, visto que esse recurso natural está inserido em um ecossistema e, portanto, sujeito a variações dos demais componentes, tais como a água, o relevo, a macro e a micro-fauna e flora, os quais podem ser afetados pelo homem.

Um manejo inadequado do solo, ocasionando erosão acelerada, provoca perdas de produtividade (DEDECEK, 1987). É fundamental, portanto, que se apliquem sistemas de exploração agrícola visando não somente ao controle das perdas de solo como também o maior aproveitamento da água, evitando-se taxas excessivas de escoamento superficial e evaporação. Para atender a esses múltiplos objetivos, surgiu o plantio direto, que, de acordo com MUZILLI (1983), foi difundido em nosso meio, mais como medida de controle de erosão do que como sistema de cultivo propriamente dito.

No sistema de plantio direto, a movimentação do solo é restrita à linha de semeadura, mas a ocorrência sistemática do tráfego causa compactação na superfície

do solo. Com isso, as modificações na estrutura do solo podem levar a redução do conteúdo de água disponível e/ou má aeração (VOORHEES, 1983), com consequência direta sobre a produtividade das culturas. Segundo LAL *et al.* (1989), a compactação em sistemas de mínima movimentação do solo pode contribuir parcialmente com as possíveis reduções de produtividade das culturas nesse sistema.

A compactação altera as propriedades físicas do solo, geralmente com aumento na densidade do solo, redução na porosidade total e na porosidade de aeração (CARTER, 1990). O efeito da compactação sobre a porosidade e densidade é maior na superfície do solo (ALLMARAS *et al.*, 1982) e pode levar à redução na capacidade de retenção e no conteúdo de água disponível.

A capacidade do solo em promover ao sistema radicular condições físicas adequadas para o crescimento e desenvolvimento das plantas é denominada qualidade física do solo. A estrutura do solo pode ser alterada pelas práticas de manejo, influenciando a produtividade das culturas por meio das modificações na disponibilidade de água, na difusão de oxigênio e na resistência do solo à penetração das raízes. A quantificação e a compreensão do impacto dessas práticas sobre a qualidade física do solo são fundamentais no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (DEXTER & YOUNGS, 1992). A relação entre a estrutura do solo e a produtividade das culturas ainda é pouco compreendida, considerando as dificuldades em quantificar os vários atributos físicos do solo ligados à estrutura. A variabilidade espacial e temporal da estrutura é um dos fatores que

dificultam essa quantificação (DEXTER, 1988). Além disso, alguns atributos físicos do solo variam conjuntamente.

As condições físicas do solo na zona radicular, as quais estão relacionadas com a estrutura do solo, são determinadas pela disponibilidade de água, pela aeração, pela temperatura e pela resistência que a matriz do solo oferece à penetração das raízes (HAMBLIN, 1985). Os atributos físicos do solo diretamente relacionados com o crescimento das plantas são: a retenção de água, a aeração e a resistência à penetração das raízes (LETEY, 1985). Valores limites dessas propriedades em relação ao crescimento das plantas têm sido documentados na literatura. GRABLE & SIEMER (1968) definem uma porosidade de aeração mínima de 10 %, para que a difusão de oxigênio atenda à demanda do sistema radicular. TAYLOR *et al.* (1966) consideram que os valores de resistência à penetração acima de 2,0 MPa são impeditivos ao crescimento e funcionamento do sistema radicular. VIEHMEYER & HENDRICKSON (1927) tomaram como água disponível a quantidade de água existente entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murchamento permanente (PMP). O conceito de água disponível entre os potenciais de -0,01 MPa (CC) e -1,5 MPa (PMP), no solo da zona radicular, tem sido utilizado no desenvolvimento de estratégias de manejo do solo (CASSEL & NIELSEN, 1986), apesar das críticas (RITCHIE, 1981).

A água disponível incorpora uma ampla variação de tamanhos de poros e a sua utilização como indicador da qualidade do solo para o crescimento das plantas revela que, dentro desta faixa de potenciais, não ocorrem limitações por aeração

e/ou resistência do solo. No entanto, tal condição depende da estrutura do solo (HAMBLIN, 1985).

Segundo BOLLER *et al.* (1993), atualmente em virtude do estágio de degradação dos solos agrícolas e dos baixos preços alcançados pelos produtos no mercado, torna-se evidente a necessidade do desenvolvimento de sistemas de manejo do solo que apresentem custos compatíveis com os preços que o produto poderá atingir no mercado e permitam obter elevados níveis de produção de grãos, sem comprometer a futura capacidade produtiva dos solos, a médio e longo prazo.

Os solos de serra têm sido classicamente descritos como portadores de boas características físicas. Realmente, a análise do perfil de um solo de área virgem dos cerrados revela boas características, como baixa densidade do solo, alta permeabilidade, baixa resistência à penetração de raízes e boa aeração; todavia, ao lado dessas características favoráveis às atividades agrícolas, encontram-se outras desfavoráveis, como baixa capacidade de retenção de água, além da baixa fertilidade (LUCHIA-RI JR. *et al.*, 1985).

O melhor aproveitamento da água capilar pode tornar-se fundamental para a melhoria das produções e das condições do solo, pois à medida que é submetido a muitos ciclos de umedecimento e seca-gem, o solo pode ter suas propriedades físicas prejudicadas, como por exemplo, um aumento na densidade do solo (FASS-BENDER, 1982). Por melhor aproveitamento de sua água capilar entende-se a sua manutenção no solo ou a redução de sua perda por evaporação.

Em um experimento conduzido por FOLEY *et al.* (1991) sobre um Alfissol e um Oxisol da Austrália, constatou-se que o cultivo com aração e posterior período de pousio melhorou a infiltração da água, devido ao rompimento de selamentos superficiais de ambos solos. A manutenção de restos culturais na superfície, para minimizar o impacto das chuvas e dificultar o escorimento superficial da água acumulada, foi iniciada por FOLLE & SEIXAS (1985).

Uma das formas de minimizar a alteração da estrutura do solo seria reduzir seu preparo, podendo-se chegar ao plantio direto. ARZENO *et al.* (1993) estudando o efeito de diferentes sistemas de preparo, sobre a água em um Latossolo Roxo, verificou que durante a colheita da aveia preta, a umidade do solo foi sempre elevada no sistema sem preparo. Entretanto, CENTURION & DEMATTÊ (1985) verificaram que nos períodos de menores precipitações quando o potencial mátrico da água no solo está mais na dependência de forças de adsorção, os valores mais elevados de umidade do solo foram observados nos sistemas convencionais (aração, gradagem pesada e niveladora) e superpreparo (duas arações, gradagens pesada e niveladora).

BENATTI *et al.* (1984) constatou que no plantio direto, o Latossolo Roxo estudado, apresentou, quase sempre, maior disponibilidade de água na profundidade de 0,30 m. Essa característica se mostrou mais evidente nos períodos com menor pluviosidade.

SIDIRAS *et al.* (1983) estudando os efeitos de três sistemas de preparo do solo (plantio direto, escarificação e preparo convencional), no comportamento da umidade do solo e no rendimento de soja,

durante três anos, concluíram que na capacidade de campo (- 0,033 MPa), o solo cultivado com soja em plantio direto apresentou, na camada, de 0,00–0,20 m, uma diferença 4-5% superior no teor de água em relação ao preparo convencional. O rendimento médio da soja no plantio direto foi de 33% superior ao obtido no convencional.

Tendo em vista a importância do manejo adequado do solo e da água no sistema solo-água-planta-atmosfera, desenvolveu-se este trabalho que teve como objetivo investigar qual o sistema de preparo do solo que melhor se adapta as condições de agricultura intensiva, na região de Selvíria – MS, Brasil, enfocando a conservação da água no solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira, da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", situada no município de Selvíria (MS), Brasil. A área tem por definição as coordenadas geográficas 20° 22' de latitude sul e 51° 22' de longitude oeste de Greenwich. Encontra-se localizada nas proximidades da bacia do rio Paraná, tendo como altitude 335 m.

A classificação do solo da área experimental foi realizada por DEMATTÊ (1980), como sendo um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso, álico. De acordo com a EMBRAPA (1999) é um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, argiloso.

O clima da região foi classificado como Aw, segundo o sistema de Köppen, apre-

sentando chuvas no verão e seca no inverno, com precipitação média anual de 1.300 mm, distribuída entre outubro e março, e temperatura média anual de 23,5°C. A vegetação natural predominante na região é o cerrado.

O solo da área experimental foi desmatado em 1978, desde então estava sendo utilizado com o preparo convencional, portanto, há 16 anos e, os preparos conservacionistas foram implantados em 1990.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com os tratamentos dispostos em faixas. Estudou-se três tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos constaram de sistemas de preparo do solo: preparo convencional (preparo com uma gradagem pesada e duas gradagens leves, profundidade atingida 15 cm); cultivo mínimo (preparo com escarificador e uma gradagem leve, escarificador com sete dentes, espaçados de 30 cm, trabalhando a 0,30 m de profundidade); plantio direto (sem preparo do solo). O experimento foi instalado em maio de 1990 e as culturas utilizadas foram: feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), milho (*Zea mays* L.), soja (*Glycine Max* L.) e trigo (*Triticum aestivum* L.).

Para avaliar o potencial matricial da água no solo, no campo, usou-se tensiômetros com manômetros de mercúrio, num período de 2 meses (06 de agosto a 07 de outubro de 1993), na profundidade de 0,10 m, sendo o trigo a cultura instalada e, em outro ano, também por um período de 2 meses (de 15 de agosto a 17 de outubro de 1994), nas profundidades

de 0,10; 0,20; 0,30 e 0,40 m, sendo o feijão a cultura instalada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 1 estão os resultados encontrados para o potencial matricial da água no solo para a profundidade de 0,10 m, no período de 06 de agosto a 07 de outubro de 1993, quando o solo estava sendo cultivado com a cultura do trigo. Pode-se observar que o tratamento com plantio direto apresentou na maior parte do período em estudo, um valor menor, em módulo, de potencial matricial de água no solo (manteve o solo com maior umidade), seguido pelo cultivo mínimo e preparo convencional. A reduzida mobilização mecânica e a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo quando sob plantio direto, cria condições favoráveis ao armazenamento de água. Estes resultados podem estar relacionados a proteção do solo proporcionada pelos resíduos das culturas, influenciando na taxa de evaporação da água, de acordo com ALVES *et al.* (1993). Este aumento de umidade se dá também devido a melhor infiltração de água neste sistema. GRIFFITH *et al.* (1977) relata que mais de 50% da superfície do solo deverá permanecer coberta com resíduos para haver aumentos significativos da umidade do solo. Vale ressaltar que, na região onde foi desenvolvido este trabalho, o inverno é seco e o verão chuvoso com temperaturas elevadas, o que dificulta a formação de cobertura morta espessa.

Durante o primeiro mês de avaliação (agosto/93), verificou-se que o preparo convencional apresentou valores de potencial matricial, em módulo, maiores do que

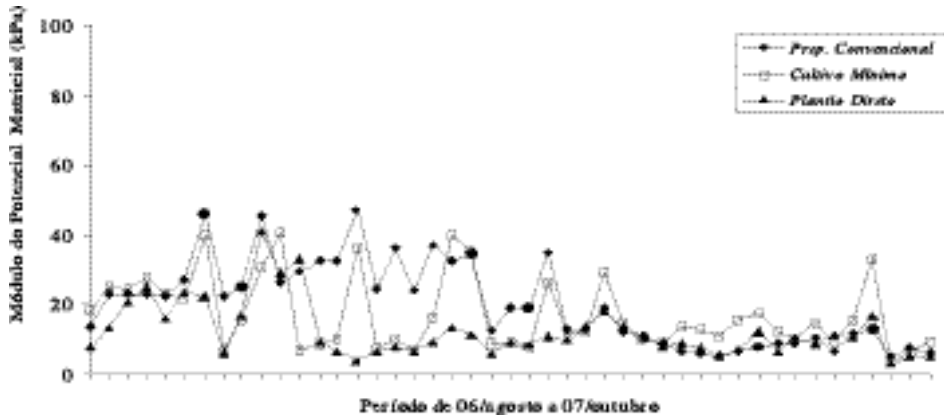


Figura 1. Potencial matricial na profundidade de 0,10 m, no período de 06 de agosto 07 de outubro de 1993, para os tratamentos com os sistemas de preparo do solo, durante o ciclo do trigo

o plantio direto e o cultivo mínimo, o que indica menor armazenamento de água. A cultura do trigo foi semeada no início de junho, portanto estando há um mês no campo quando iniciou-se a avaliação do potencial matricial. O acompanhamento do potencial matricial foi realizado do segundo ao quarto mês da cultura no campo, exatamente correspondendo ao período que a mesma requer maior quantidade de água. Este período, que corresponde a floração e formação de grãos, é o que define a produção da cultura. Convm ressaltar que durante o desenvolvimento da cultura do trigo, o potencial matricial foi avaliado na profundidade de 0,10 m.

Os resultados quanto ao armazenamento de água nos sistemas de preparos de solo estudados estão de acordo com os verificados por CASTRO *et al.* (1985) e ARZENNO *et al.* (1993). Os autores verificaram que no sistema de preparo convencional os menores valores de água disponível, ocorreram no sistema de preparo convencio-

nal, enquanto que no plantio direto os valores sempre foram maiores. O preparo com escarificador (cultivo mínimo) mostrou uma posição intermediária.

A maior capacidade de retenção de água, aliada a menor perda de água por evaporação, fazem com que os sistemas de plantio direto e preparo reduzido do solo apresentem mais água disponível às plantas que o sistema convencional.

Pode-se observar na figura 1, no período mais crítico, o potencial matricial para o plantio direto ficou ao redor de [10 kPa] enquanto para o preparo convencional esteve aproximadamente a [35 kPa]. MARSHALL & HOLMES (1988) apresentam o valor de potencial matricial igual a [10 kPa] como sendo o valor quando o solo está com o conteúdo de água próximo da capacidade de campo.

A cultura do trigo devido ao seu espaçamento e densidade de semeadura, quando desenvolvida, proporciona uma alta cobertura da superfície do solo, o que provavelmente depois do quarto mês

de implantada, favoreceu o comportamento semelhante, quanto ao armazenamento de água nos três sistemas de preparo. No início do período de desenvolvimento da cultura, a cobertura morta na superfície do solo no sistema de plantio direto contribuiu para menores perdas de água por evaporação.

Nas figuras 2, 3, 4, e 5 encontram-se os dados referentes ao potencial matricial da água no solo obtidos para as profundidades de 0,10; 0,20; 0,30 e 0,40 m, respectivamente, no período de 15 de agosto a 17 de outubro quando estava instalada a cultura do feijão. Verificou-se de forma geral que o comportamento do potencial matricial da água no solo, comparando-se os sistemas de preparo, foi semelhante em todas as profundidades. O plantio direto e o cultivo mínimo foram os tratamentos que mantiveram o solo mais úmido, ou seja, com o valor, em módulo, do potencial matricial menor (solo mais úmido).

Comportamento semelhante foi verificado neste trabalho quando analisou-se o potencial matricial durante o período crítico para a cultura do trigo.

Na figura 2 observa-se o comportamento do potencial matricial na profundidade de 0,10 m, durante o período do segundo ao quarto mês da cultura do feijão de inverno. Comparando-se as amplitudes de variação do potencial matricial, na mesma profundidade de avaliação, das culturas de trigo (figura 1) e feijão (figura 2), verifica-se que na cultura do feijão, os valores atingidos foram maiores (em módulo). Isto é, o solo encontrava-se mais seco.

O feijão é cultivado em espaçamento maior e densidade de semeadura menor do que a cultura do trigo, portanto, propor-

cionando uma cobertura vegetal da superfície do solo menor, o que leva a maiores perdas de água por evaporação. No início de seu ciclo pode-se, então, notar o efeito significativo dos sistemas de plantio direto e cultivo mínimo sobre o preparo convencional, em todas as profundidades (figuras 2, 3, 4 e 5).

Enquanto o plantio direto e o cultivo mínimo apresentam potencial matricial em média igual a $|15 \text{ kPa}|$, o preparo convencional apresenta o valor de $|50 \text{ kPa}|$, para a profundidade de 0,10 m (figura 2); de $|15 \text{ kPa}|$ e $|35 \text{ kPa}|$ para profundidade de 0,20 m (figura 3); de $|15 \text{ kPa}|$ e $|40 \text{ kPa}|$ para a profundidade de 0,30 m (figura 4), respectivamente para o plantio direto e cultivo mínimo e, preparo convencional.

Na profundidade de 0,40 m (figura 5), o plantio direto superou os outros dois sistemas, apresentando menor valor de potencial matricial (em módulo), significando maior armazenamento de água, e mantendo o valor de potencial matricial de $|15 \text{ kPa}|$, obtido desde a profundidade de 0,10 m, mostrando portanto uma uniformidade de armazenamento de água na camada de 0 – 0,40 m. O cultivo mínimo ficou numa posição intermediária e, o preparo convencional com menor armazenamento, apresentando potencial matricial ao redor de $|25 \text{ kPa}|$, na profundidade de 0,40 m.

Estes resultados estão concordantes com os verificados por SIDIRAS *et al.* (1983), BENATTI *et al.* (1984) ARZENO *et al.* (1993). Os autores verificaram que na camada de 0 – 0,30 m o plantio direto apresentou maior disponibilidade de água. Incluso quando na capacidade de campo,

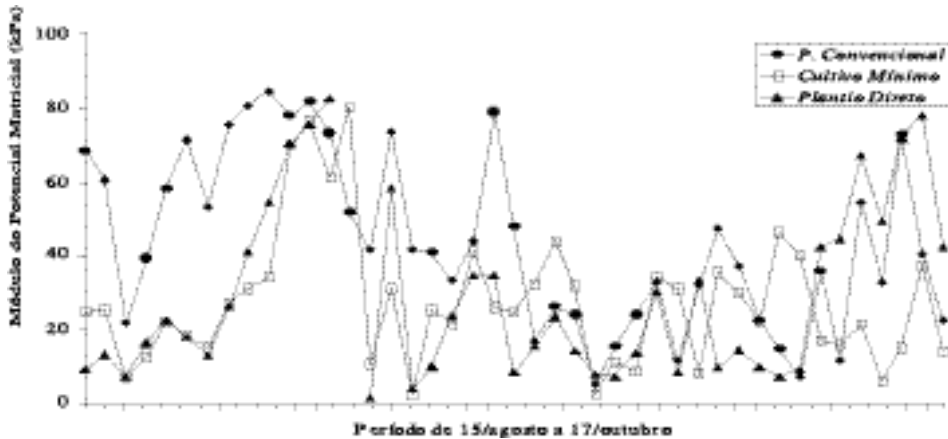


Figura 2. Potencial matricial na profundidade de 0,10 m, no período de 15 de agosto a 17 de outubro de 1994, para os tratamentos com os sistemas de preparo do solo, durante o ciclo do feijão.

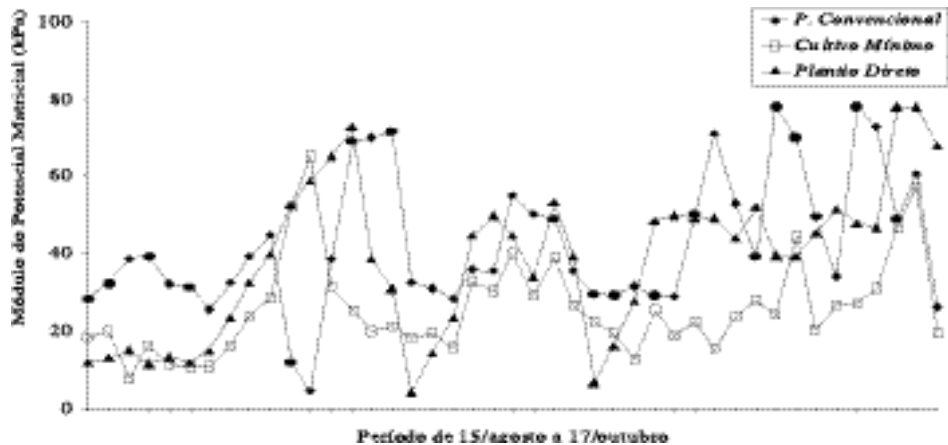


Figura 3. Potencial matricial na profundidade de 0,20 m, no período de 15 de agosto a 17 de outubro de 1994, para os tratamentos com os sistemas de preparo do solo, durante o ciclo do feijão.

nos três sistemas de preparo estudados (plantio direto, cultivo mínimo-escarificador e preparo convencional), o plantio direto superou de 4 – 5% o teor de água em relação ao preparo convencional.

Observando-se as figuras 2, 3, 4, e 5 verifica-se que no início do período estu-

do o plantio direto apresentou valores de potencial matricial (em módulo) mais baixo e no final do período o potencial matricial (em módulo) apresentou-se maior, isto é, mais negativo (solo mais seco), comparado ao cultivo mínimo. Isto provavelmente ocorreu porque no final do

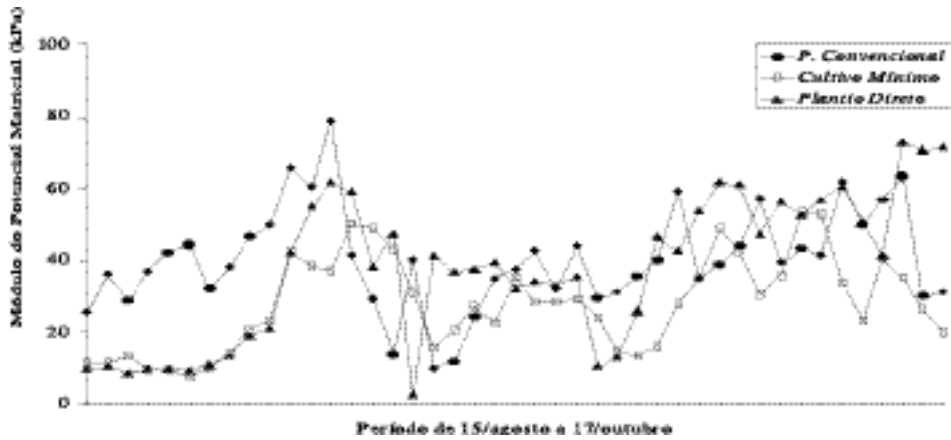


Figura 4. Potencial matricial na profundidade de 0,30 m, no período de 15 de agosto a 17 de outubro de 1994, para os tratamentos com os sistemas de preparo do solo, durante o ciclo do feijão.

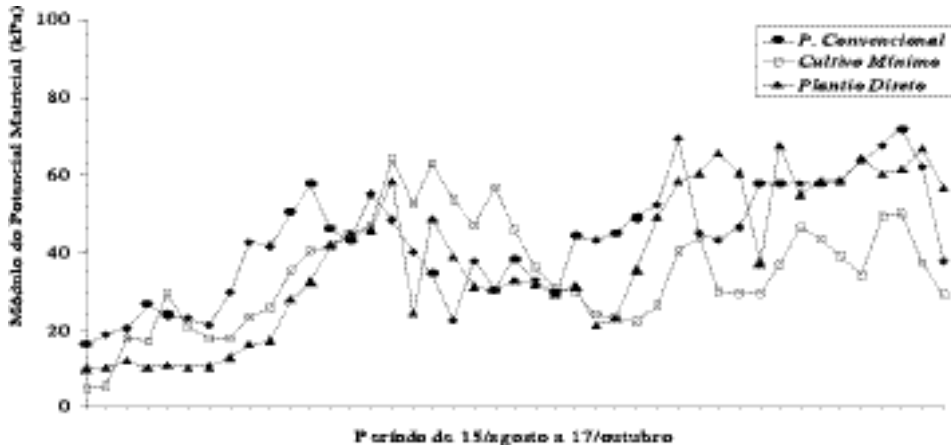


Figura 5. Potencial matricial na profundidade de 0,40 m, no período de 15 de agosto a 17 de outubro de 1994, para os tratamentos com os sistemas de preparo do solo, durante o ciclo do feijão.

período estudado (outubro), os resíduos da cultura anterior (milho) já estavam na sua maioria decompostos, deixando a superfície mais exposta a radiação solar, aumentando a evaporação. Este efeito pode ter sido menor no cultivo mínimo devido a quebra na capilaridade proporcionada por

este sistema de preparo, mais a ação conjunta dos resíduos de culturas parcialmente incorporados.

No início do período o plantio direto pode ter superado o cultivo mínimo, por ter a superfície do solo com maior porcentagem de cobertura morta. VIEIRA

(1981) verificou que o solo sob plantio direto pode conter até 15% a mais de umidade que o preparo convencional, na profundidade de 0 - 0,05 m, em períodos de estiagem. Essa é uma das razões porque o plantio direto apresenta menor variação de produção, mostrando as suas vantagens com relação a conservação de água (BELVINS *et al.*, 1971; SIDIRAS *et al.*, 1983).

Pesquisas no sentido de investigar a relação armazenamento de água versus sistemas de preparo do solo versus produtividade das culturas deverão ser desenvolvidas, para verificar a melhor recomendação do ponto de vista do sistema de preparo. Pois, apesar do plantio direto no final do período ter apresentado menor conservação de água do que o cultivo mínimo, este fato pode não ter influenciado na produtividade, por estar na fase final do ciclo da cultura. Portanto, sendo verdadeira esta hipótese, tanto um como o outro poderia ser recomendado, sendo neste caso, os aspectos sócio-econômicos, o fator mais relevante para a decisão da adoção do sistema de preparo.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados encontrados para o tipo de solo e sistemas de preparo do solo estudados, pode-se chegar as seguintes conclusões:

1. Os sistemas de plantio direto e cultivo mínimo apresentaram potencial matricial da água no solo, em módulo, menor numericamente, portanto, conservando mais água no solo, comparados ao preparo convencional;

2. Com a cultura do trigo, o armazenamento de água a 0,10 m de profundidade foi maior na plantio direto, durante todo o período analisado, do que nos cultivos mínimos e preparo convencional;

3. Com a cultura do feijão, no final do período estudado (outubro) o plantio direto apresentou menor armazenamento de água no solo (potencial matricial mais negativo), comparado ao cultivo mínimo;

4. O plantio direto, no início de desenvolvimento da cultura do feijão, manteve homogeneidade no armazenamento de água nas profundidades de solo analisadas;

5. Analisando todo o período, o cultivo mínimo apresentou um comportamento do potencial matricial da água com tendência a ser, em módulo, menor, (solo mais úmido), portanto, no período total de estudo proporcionando maior armazenamento de água no solo.

Recibido: 25-II-02
Aceptado: 18-VI-02

REFERÊNCIAS

- ALLMARAS, R. R.; WARD, K.; DOUGLAS, C. L. & EKIN, L.G. (1982). Long term cultivation effect on hydraulic properties of Walla-Walla silt loam. *Soil Tillage Research*, **2**: 265-279.
- ALVES, M. C. & LOMBARDI NETO, F. (1993). Efeitos de Sistemas de Rotação de Culturas com Plantio Direto no Comportamento da Água no solo. In: *Congresso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*, 12. Anais..., Salamanca, Espanha, Sociedade Española de La Ciencia del Suelo, Tomo III, pp.: 1227-34.
- ARZENO, J. L.; CASTRO, O. M. & VIEIRA, S. R. (1993). Effects of different tillage systems and vegetation cover on soil water in a Red Latosol (Oxisol). *Actas del 12 Congreso Latinoamericano de La Ciencia del Suelo*. Anais... Salamanca, (Espanha) 19 a 26 de septiembre de 1993 (Editada by Gallardo Lancho, J. F.), Madrid, pp.: 36-44.
- BELVINS, R. L.; COOK, D.; PHILLIPS, S. H. & PHILLIPS, R. E. (1971). Influence of no-tillage on soil moisture. *Agronomy Journal*, **63**: 593-96.
- BENATTI Jr. R.; MOREIRA, C. A. & FRANÇA, G. V. (1984). Avaliação dos efeitos dos sistemas de cultivo na produção de milho e nas propriedades edáficas em Latossolo Roxo no Estado de São Paulo. *Rev. Bras. Ci. Solo*, **8**: 139-144.
- BOLLER, W.; KLEIN, V. A & DALLMEYER, A U. (1993). Semeadura de milho em solo sob preparo reduzido. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Campinas, **17** (1): 291-297.
- CARTER, M.R. (1990). Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies of fine sandy loam. *Can. Journal Soil Science*, **70**: 425-433.
- CASSEL, D. K. & NIELSEN, D. R. (1986). Field capacity and available water capacity. In: Klute, A, ed. *Methods of soil analysis*. 2 ed. Madison, ASA- SSSA. pp.: 901-926.
- CASTRO, O. M.; VIEIRA, S. R. & MARIA, I. C. (1985). Sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. *Rev. Bras. Ci. Solo*, **9**: 263-266.
- CENTURIÓN, J. F. & DEMATTÊ, J. L. I. (1985). Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. *Rev. Bras. Ci. Solo*, **9**: 263-266.
- DEDECEK, R. A. (1987). Efeitos das perdas e deposições de camadas de solo na produtividade de um latossolo vermelho-escuro dos Cerrados. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Campinas, **11** (3): 323-328.
- DEMATTÊ, J. L. I. (1980). *Levantamento detalhado dos solos do "Campus experimental de Ilha Solteira"*. Piracicaba: Departamento de solos, Geologia e Fertilidade ESALQ/USP. pp.: 11-31.
- DEXTER, A. R. (1988). Advances in characterization of soil structure. *Soil Till. Res.*, **11**: 199-238.
- DEXTER, A. R. & YOUNGS, I. M. (1992). Soil Physics toward 2000. *Soil Till. Res.*, **24**: 101-106.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. (1999). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPQ. 412 pp.
- FASSBENDER, H. W. (1982). Química de suelos, com ênfases em suelos de América Latina. San Jose: IICA, 422 pp.
- FOLEY, J. L.; LOCH, R. L.; GLANVILLE, S. F. & CONNOLLY, R. D. (1991). Effects of tillage, stubble and rainfall energy on infiltration. *Soil and Tillage Research*, Queensland, **20**: 45-55.
- FOLLE, S. M. & SEIXAS, J. M. (1985). Mecanização Agrícola. In: *Solos dos Cerrados* São Paulo: Nobel, pp.: 385-408.
- GRABLE, A. R. & SIEMER, E. G. (1968). Effects of bulk density, aggregate size and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **32**: 180-186.
- GRIFFITH, D. R.; MANNERING, J. V. & MOLDENHAUER, W. C. (1977). Conservation tillage in the eastern Corn Belt. In: *Conservation tillage: problems and potentials*. Ankeny: Soil Conservation of America. P.20-8 (Special Publications n-20).
- HAMBLIN, A. P. (1985). The influence of soil structure on water movement, crop root growth and water uptake. *Adv. Agron.*, **38**: 95-158.
- LAL, R.; LOGAN, T. J. & FAUSEY, N. R. (1989). Long term tillage and wheel traffic effects on a poorly drained Mollic Ocharaqualf in Northwest Ohio. I. Soil physical properties, root distribution and grain yield of corn and soybean. *Soil till. Res.*, **14**: 341-355.
- LETEY, J. (1985). Relationship between soil physical properties and crop production. *Adv. Soil Sci.*, **1**: 277-294.
- LUCHIARI, Jr. A.; RESENDE, M.; RITCHEY, K. D.; FREITAS, Jr. E. & SOUZA, P. I. M. (1985).

- Manejo de aproveitamento de água. In: *Solos dos Cerrados*. São Paulo: Nobel. pp.: 285-320.
- MARSHALL, T. J. & HOLMES, J. W. (1988). *Soil Physics*. 2ª ed. Cambridge University Press, Victoria, Australia, 374 pp.
- MUZILLI, O. (1983). Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, **7** (1): 95-102.
- RITCHIE, J. T. (1981). Soil water availability. *Plant Soil*, **58**: 327-338.
- SIDIRAS, N.; DERPSCH, R. & MONDARDO, A. (1983). Influência de diferentes sistemas de preparo do solo na variação da umidade e rendimento da soja, em Latossolo Roxo distrófico (Oxisol). *Rev. Bras. Ci. Solo, Campinas*, **7** (1): 103-106.
- TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M. & PARKER Jr., J. J. (1966). Soil strength-root penetration relations to medium to coarse textured soil materials. *Soil Sci.*, **102**: 18-22.
- VIEHMEYER, F. J. & HENDRICKSON, A. H. (1927). Soil moisture conditions in relation to plant growth. *Plant Physiol.*, **2**: 71-78.
- VIEIRA, M. J. (1981). Propriedades físicas do solo. In: *Plantio direto no Estado do Paraná*. Londrina: IAPAR, pp.: 19-32.
- VOORHEES, W. B. (1983). Relative effectiveness of tillage and natural forces in alleviation wheel induced soil compaction. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **42**: 129-133.