



Ciência Rural

ISSN: 0103-8478

cienciarural@mail.ufsm.br

Universidade Federal de Santa Maria

Brasil

Arantes de Oliveira Roque, Antoniane; Menezes Souza, Zigomar; Silva Araújo, Fernando; Rocha  
Vasconcelos da Silva, Gilka

Atributos físicos do solo e intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distrófico sob controle de  
tráfego agrícola

Ciência Rural, vol. 41, núm. 9, septiembre, 2011, pp. 1536-1542

Universidade Federal de Santa Maria

Santa Maria, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33119939024>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## Atributos físicos do solo e intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distrófico sob controle de tráfego agrícola

**Soil physical attributes and least limiting water range of a Distrofic Red Latossol under agricultural traffic control**

**Antoniane Arantes de Oliveira Roque<sup>I\*</sup> Zigomar Menezes Souza<sup>I</sup> Fernando Silva Araújo<sup>I</sup>  
Gilka Rocha Vasconcelos da Silva<sup>I</sup>**

### RESUMO

Com a adoção da colheita mecanizada no sistema de manejo da cana-de-açúcar, surge a preocupação da compactação do solo e seus efeitos danosos na disponibilidade de água às plantas. Uma recente técnica de manejo da mecanização agrícola denominada controle de tráfego representa uma alternativa para o cultivo de cana-de-açúcar, pois separa as zonas de tráfego das zonas em que há crescimento das plantas, concentrando a passagem de pneus em linhas delimitadas. O presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito do controle de tráfego em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, sobre a qualidade física do solo, no sistema de cana colhida mecanicamente sem queima (cana-crua). A pesquisa foi desenvolvida em área cultivada com cana-de-açúcar com os seguintes tratamentos: com colheita mecanizada tradicional; com controle de tráfego – aumento de bitola; com controle de tráfego – aumento de bitola e piloto automático. Foi avaliada a densidade do solo, a macro e a microporosidade do solo nas camadas de 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30m de profundidade, na linha de plantio, no enterrado e sob o rodado da cultura da cana-de-açúcar, bem como, o intervalo hídrico ótimo na camada de 0,00-0,20m de profundidade. O trabalho foi realizado dentro de um experimento trifatorial, com parcelas subdivididas no delineamento em blocos ao acaso. O intervalo hídrico ótimo permitiu verificar que os manejos com controle de tráfego apresentaram uma maior disponibilidade de água às culturas.

**Palavras-chave:** manejo do solo, piloto automático, tráfegabilidade, cana-de-açúcar.

### ABSTRACT

The adoption of mechanized harvesting associated to the sugarcane handling system generates ground compaction which affects the water availability to the plants. The recent

handling technique named traffic control is viewed as an alternative for sugarcane mechanization, in which traffic space is separated from plant growing spaces, concentrating the tires path in delimited lines. This study aimed to evaluate the effect of traffic control in areas cultivated with sugarcane, regarding the soil physical quality, and the mechanical harvesting system with no straw burning (raw sugarcane). The project was developed in area cultivated with sugarcane including the following treatments: with traditional mechanized harvesting; with traffic control – augmented span; with traffic control - augmented span and automatic driving. The soil physical attributes evaluated were the density, the macro and microporosity in layers from 0.00-0.10, 0.10-0.20 and 0.20-0.30m deep, in the row in enterrado under the wheels of sugarcane culture, as well as the least Limiting water range from 0.00 to 0.20m depth. The research was carried under a tri-factorial experimental design, with parcels subdivided into random block-type delineation. The minimum limiting water range verified that the management systems with traffic control had presented greater water availability to sugarcane crop.

**Key words:** soil management, automatic tractor guidance, traffic control.

### INTRODUÇÃO

A modernização da agricultura, com o aumento do peso do maquinário e implementos agrícolas, bem como da intensidade de uso do solo, principalmente em áreas sob cultivo de cana de açúcar, é a principal causa da compactação do solo, trazendo prejuízos para a produtividade das culturas e contribuindo com processos erosivos.

<sup>I</sup>Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 13083-875, Campinas, SP, Brasil. E-mail: antoniane@yahoo.com.br. \*Autor para correspondência.

O crescimento do setor sucro-alcooleiro no estado de São Paulo tem sido sustentado com a utilização intensiva de máquinas e implementos agrícolas (SOUZA et al., 2005). No contexto da agricultura mecanizada, o controle de tráfego agrícola surge como uma alternativa para o cultivo de cana-de-açúcar, pois minimiza os efeitos adversos da mecanização agrícola, separando as zonas de tráfego daquelas em que há crescimento das plantas e concentrando a passagem de pneus em linhas delimitadas, assim, uma área menor será atingida, embora mais intensamente. Quando manejado de forma apropriada, o controle de tráfego pode resultar em aumentos de até 25% na produção (TULLBERG, 2000). Previne a compactação mecânica e diminui a resistência do solo à penetração (BRAUNACK et al., 2006), propiciando condições para o crescimento de raízes, para a infiltração de água e para a aeração do solo.

Nesse contexto, o uso do intervalo hídrico ótimo (IHO) para avaliação da qualidade física e estrutural do solo vem se destacando, pois esse indicador integra o efeito do potencial matricial, aeração e resistência do solo à penetração das raízes num único atributo, possibilitando estabelecer as condições de umidade do solo limitantes ao crescimento das plantas (SILVA et al., 1994).

A amplitude do IHO indica o risco de exposição das culturas ao estresse físico do solo e a magnitude na qual a condição estrutural restringe o crescimento e desenvolvimento das plantas (SILVA & KAY, 1997). Solos com estrutura preservada apresentam restrições apenas em termos de déficit hídrico. Entretanto, quando a compactação atinge níveis excessivos, a aeração se torna deficiente sob condições de elevados conteúdos de água, e a resistência do solo à penetração pode restringir o crescimento das plantas com o secamento do solo (LAPEN et al., 2004). Nesse cenário, o IHO significa grande avanço nos estudos de biofísica do solo, sendo o indicador de qualidade física e estrutural do solo que melhor se correlaciona com o crescimento das plantas (TORMENA et al., 2007; PEREIRA et al., 2010).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do controle de tráfego em áreas cultivadas com cana-de-açúcar sobre a qualidade física do solo, no sistema de cana colhida mecanicamente sem queima (cana-crua).

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Usina São Martinho, município de Pradópolis, SP ( $21^{\circ}18'67''$  de latitude sul e  $48^{\circ}11'38''$  de longitude oeste, com 630m

de altitude). O clima é o mesotérmico de inverno seco (Cwa), pelo critério de classificação climática de Köppen. A área é de topografia plana e o solo foi classificado em um Latossolo Vermelho distrófico típico alício, textura argilosa A moderado (EMBRAPA, 2006).

A área do experimento foi plantada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) em 2007, correspondente à renovação do canavial com a primeira colheita (cana planta ou primeiro corte), ocorrida em 2008 e o segundo corte, em 2009. Foi realizada calagem na área, com calcário dolomítico 32% de CaCO<sub>3</sub> (2,5Mg ha<sup>-1</sup>). A área recebeu adubação mineral com nitrato de amônio, na quantidade de 0,31Mg ha<sup>-1</sup>, e orgânica com vinhaça, na quantidade de 100m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, após o plantio. No plantio, foram aplicados 20Mg ha<sup>-1</sup> de torta de filtro, utilizando-se plantadora modelo PCP, com peso de 8,0Mg, distribuídos em quatro pneus de alta flutuação. A colhedora de cana-de-açúcar utilizada no experimento foi a de modelo 7700 da Case, com 335cv (246kW) de potência bruta e 18,5Mg de peso, distribuídos em duas esteiras. Os transbordos, com peso médio de 8,0Mg, distribuídos em quatro pneus de alta flutuação, tinham a capacidade para carregar até 10Mg de cana-de-açúcar. O trator utilizado na tração dos transbordos, modelo Magnum MX da Case, com 240cv (176kW) de potência, com 10,65Mg de peso, distribuídos em dois pneus dianteiros R30 e dois pneus traseiros R38, ambos com pressão de inflação de 117kPa.

A área experimental foi dividida em 12 parcelas, cada uma delas com 14 linhas de plantio com espaçamentos de 1,5m, o que totalizou 21m de largura e 50m de comprimento. Os tratamentos foram: colheita mecanizada tradicional (T); corte mecanizado com controle de tráfego (aumento de bitola para 3,0m) (CT) e corte mecanizado com controle de tráfego e uso do piloto automático (PA). Para o sistema de autodirecionamento do trator, foi utilizado o piloto automático marca timble AG252 com precisão de 0,001m e sistema RTK (tempo real cinemático). Nesse tratamento, o veículo dava início ao percurso pré-alinhado a uma linha de referência previamente georreferenciada na orientação das linhas de plantio. Ocorreram duas passagens do maquinário entre as linhas da cultura na colheita, com uma frequência de seis passadas de trator no primeiro ano.

Foram coletadas amostras com estrutura preservada, 40 dias após a colheita, para determinação dos atributos físicos do solo. Foram abertas trincheiras no sentido perpendicular às linhas de plantio, nas quais as amostras foram coletadas nas camadas de 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30m de profundidade. Para a avaliação da área compactada, foram feitas coletas em três diferentes pontos, tendo sido uma no local em que o

rodado do trator deve trafegar, linha do rodado (R), uma na linha de plantio (LP) e outra no enterrroado (ER). Três trincheiras por parcela foram abertas aleatoriamente, com coleta de amostras em três profundidades em cada ponto de coleta. Para determinação do IHO, foram retiradas 24 amostras em cada tratamento nas profundidades de 0,00-0,20m, dos locais R, ER e LP, de maneira alternada, buscando-se a maior variedade possível de densidade do solo.

A densidade do solo, micro e macroporosidade, foi determinada utilizando a mesa de tensão (EMBRAPA, 1997). Para determinar o intervalo hídrico ótimo (IHO), foi utilizado o método descrito por SILVA et al. (1994) e TORMENA et al. (1998). A resistência do solo à penetração (RP) foi determinada em laboratório nas amostras coletadas com os cilindros volumétricos, utilizando um penetrômetro eletrônico modelo MA-933, com velocidade constante de 0,0005mm s<sup>-1</sup>, equipado com uma célula de carga de 200N, haste com cone de 0,003m de diâmetro de base e semi-ângulo de 30°. As determinações foram realizadas em amostras indeformadas submetidas a diferentes tensões de água no solo (0; 0,006; 0,01; 0,033; 0,05; 0,1; 0,2 e 1,5MPa) em câmara de pressão de Richards. Para cada amostra, foram obtidos 96 valores, eliminando-se os valores iniciais e finais, considerando-se apenas os 0,03m centrais do cilindro de 0,05m. Os valores de resistência do solo à penetração foram ajustados a um modelo não-linear proposto por LEÃO & SILVA (2004), que correlaciona a resistência do solo à penetração com a densidade e umidade do solo.

O trabalho foi realizado dentro de um experimento trifatorial (tratamentos x pontos de coleta x profundidade) com parcelas subdivididas no delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições – subparcelas nos locais de amostragem e subsubparcelas em profundidade. Quanto à casualização, o fator tratamento foi casualizado nas parcelas principais, separadamente dentro de cada bloco, o fator ponto de coleta foi avaliado em cada subdivisão (subparcelas) de cada parcela principal (tratamentos) e o fator profundidade foi avaliado em profundidades diferentes em cada subparcela com três repetições (trincheiras), o que totalizou 324 observações. Os dados foram submetidos à análise de variância, de acordo com o teste F, a 5% de probabilidade e, no caso de existência de significância nas interações ou nos fatores principais, foi aplicado o teste de Tukey também, a 5% de probabilidade, com uso do SAS (SCHLOTZHAVER & LITTELL, 1997).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação dos tratamentos com as três diferentes camadas do solo avaliadas não apresentou diferença significativa ( $P<0,05$ ) para a densidade do solo, macroporosidade e microporosidade do solo (Tabela 1). Esse resultado discorda dos obtidos por SOUZA et al. (2005), os quais verificaram que o sistema de cana colhida mecanicamente apresentou menor densidade do solo e maior porosidade do solo, quando comparado ao sistema convencional, sob corte queima da cultura, após o quinto corte. Tais resultados podem estar relacionados com o tempo de adoção dos manejos estudados, que foi de dois anos, corroborando o observado por ASSIS & LANÇAS (2005), os quais verificaram que o sistema plantio direto com 1, 4 e 5 anos de implantação apresentou valores dos atributos físicos do solo (porosidade e agregação) semelhantes ao sistema de preparo convencional em um Nitossolo Vermelho distroférrico. Somente o tratamento com 12 anos de plantio direto apresentou estes atributos mais próximos dos valores da área de mata nativa.

Na interação dos tratamentos estudados com os locais de coleta das amostras de solo, houve diferença significativa ( $P<0,05$ ) para os valores de densidade do solo, macroporosidade e microporosidade do solo (Tabela 1). No manejo sobre PA, observaram-se maiores valores para a densidade do solo no rodado, diferindo das posições da linha de plantio e enterrroado, demonstrando que o PA foi um eficaz manejo, mitigando restrições ao desenvolvimento da cultura, visto que densidades altas na linha de plantio inibem o desenvolvimento radicular das culturas. Todos os sistemas tiveram menor Ds na linha de plantio. Tais resultados são concordantes com os obtidos por CORRECHEL et al. (1999), quando avaliaram a influência da posição relativa à linha de cultivo sobre a densidade do solo em dois sistemas de manejo em um Latossolo sob cultivo de milho e observaram menores valores desta variável na linha de plantio, em comparação com a entrelinha.

A macroporosidade do solo apresentou comportamento semelhante ao observado para densidade do solo, com menores valores de macroporosidade em todos os sistemas de manejo estudados, observados no local do rodado (Tabela 1). Esse resultado corrobora os valores encontrados para microporosidade, os quais comportaram inversamente a macroporosidade, com menores valores de microporosidade observados no local da linha de plantio.

Nos diferentes sistemas de manejo avaliados, verificou-se que todos os tratamentos

Tabela 1 - Atributos físicos do solo para os tratamentos controle de tráfego, piloto automático e colheita mecânica tradicional, em diferentes locais de amostragem e nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30m.

Tratamentos	Local			Camadas (m)		
	LP <sup>1</sup>	ER <sup>2</sup>	R <sup>3</sup>	0,00 - 0,10	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30
Densidade do solo (Mg m <sup>-3</sup> )						
Controle de tráfego	1,08 Aa	1,11 Aab	1,21 Ab	1,25 Aa	1,28 Aa	1,27 Aa
Piloto automático	1,07 Aa	1,12 Aa	1,23 Ab	1,26 Aa	1,22 Aa	1,25 Aa
Tradicional	1,08 Aa	1,16 Aab	1,25 Ab	1,24 Aa	1,23 Aa	1,26 Aa
Macroporosidade (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )						
Controle de tráfego	0,11 Aa	0,11 Aa	0,08 Ab	0,06 Aa	0,05 Aa	0,05 Aa
Piloto automático	0,10 Aab	0,12 Aa	0,09 Ab	0,05 Aa	0,06 Aa	0,06 Aa
Tradicional	0,10 Aab	0,11 Aa	0,08 Ab	0,04 Aa	0,05 Aa	0,05 Aa
Microporosidade (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )						
Controle de tráfego	0,39 Aa	0,41 Aab	0,44 Ab	0,50 Aa	0,50 Aa	0,50 Aa
Piloto automático	0,39 Aa	0,43 Aab	0,44 Ab	0,50 Aa	0,56 Aa	0,48 Aa
Tradicional	0,41 Aa	0,43 Aa	0,44 Aa	0,52 Aa	0,51 Aa	0,50 Aa

<sup>1</sup>linha de plantio; <sup>2</sup>entrerrodado; <sup>3</sup>rodado. Valores seguidos pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

apresentaram valores de macroporosidade do solo, em todas as profundidades e locais de coleta, inferiores ou próximos a 0,10m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (Tabela 1), concordando com relatado por ARAUJO et al. (2010). Esse resultado evidencia o efeito do tráfego de máquinas pesadas nos tratos culturais e, principalmente, na colheita da cana-de-açúcar, confirmando os resultados obtidos por STRECK et al. (2004). Para CARVALHO et al. (1991), a macroporosidade é o atributo mais afetado pelo cultivo contínuo de cana-de-açúcar.

Não houve diferença significativa (P<0,05) para interação dos manejos estudados com as camadas de solo e os locais de coleta das amostras para os valores de densidade do solo, macroporosidade e microporosidade do solo. Os valores dos potenciais na capacidade de campo (CC) e do ponto de murcha permanente (PMP) nos limites críticos de potenciais de água no solo aumentaram de acordo com a densidade do solo, em todos os sistemas de manejo (Figura 1), corroborando TORMENA et al. (1998) e LEÃO et al. (2004). Os valores de resistência do solo à penetração (RP) aumentam com a densidade do solo, provavelmente, pelo fato de que para manter a RP igual a 2,0MPa é necessário aumentar o teor de água do solo, a fim de compensar a maior fricção entre as partículas resultantes do aumento da densidade (TORMENA et al., 2008).

Independentemente dos manejos, a RP foi superior ao PMP em quase toda a extensão de valores de densidade, semelhante aos resultados de IMHOFF et al. (2001) e BENJAMIM et al. (2003), o que confirma os estudos de CARTER et al. (1999), sugerindo que

sistemas de manejo com mínimo revolvimento do solo ampliam as possibilidades de limitações ao crescimento das plantas pela RP, de modo que esta assume importância no controle da disponibilidade de água e da qualidade física do solo.

Para os três tratamentos estudados, o IHO teve a resistência do solo à penetração como limite inferior com levea restrição por aeração no PA e CT (Figura 1). Tal comportamento deve-se, provavelmente, ao fato de que, com o aumento da densidade, ocorre decréscimo da PA a 0,10m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, indicando também uma redução dos poros de maior diâmetro. Esses resultados são similares aos obtidos por SILVA et al. (1994), TORMENA et al. (2007) e PEREIRA et al. (2010) na determinação do IHO.

A partir do conhecimento do IHO do solo, encontrou-se a densidade do solo em que o IHO é zero, denominada densidade do solo crítica para o crescimento das plantas, as quais foram de 1,11Mg m<sup>-3</sup> para a T, 1,17Mg m<sup>-3</sup> para o PA e 1,18Mg m<sup>-3</sup> para o CT, indicando que, provavelmente, a não aplicação das técnicas de controle de tráfego (testemunha) implicou condições de densidade do solo restritivas ao crescimento radicular.

Os valores do IHO não se diferenciaram entre os tratamentos a partir de densidade do solo igual a 1,18Mg m<sup>-3</sup>. Esse resultado revela que os valores máximos de densidade dos tratamentos não influenciaram o comportamento hídrico do solo, sugerindo que, para valores de densidade do solo superiores a esses, o IHO é determinado por propriedades intrínsecas ao solo. Resultados obtidos

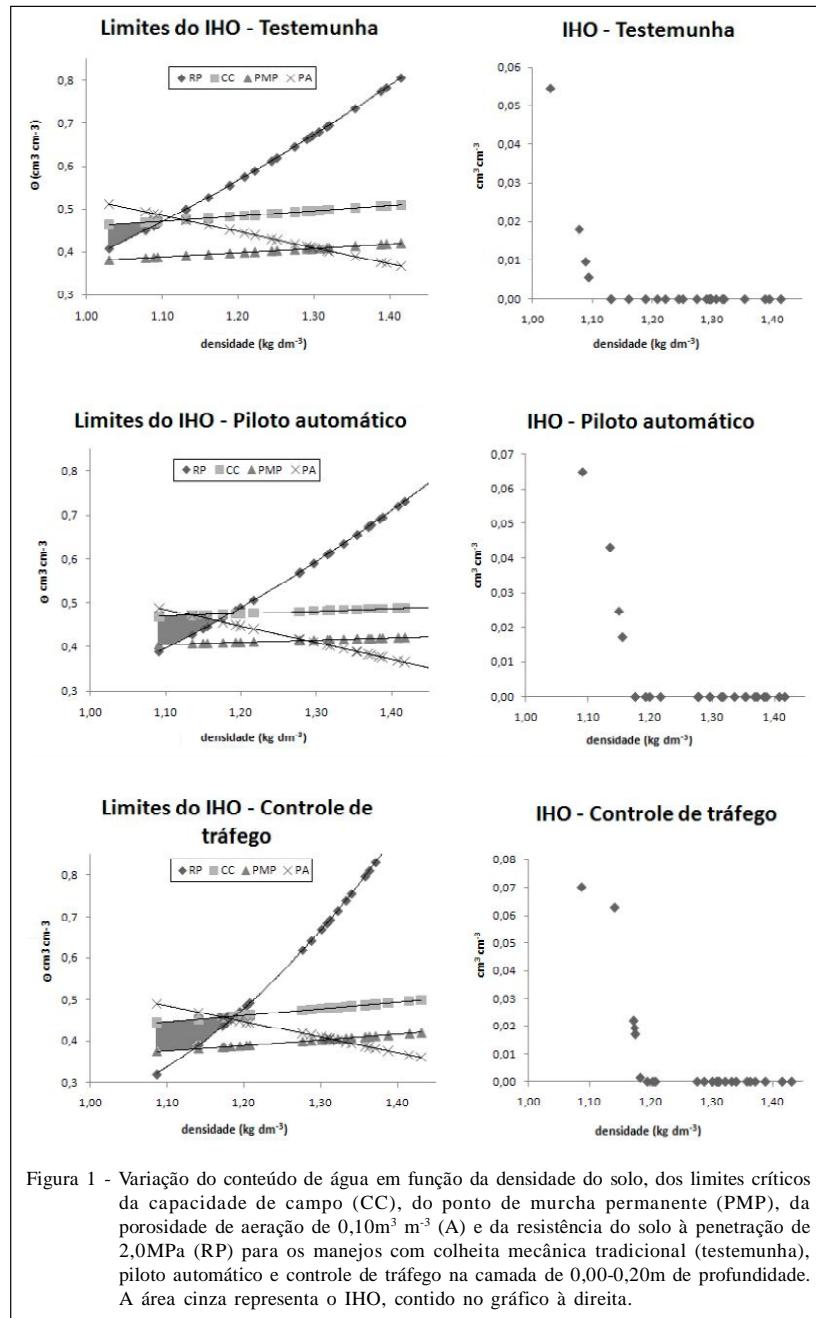


Figura 1 - Variação do conteúdo de água em função da densidade do solo, dos limites críticos da capacidade de campo (CC), do ponto de murcha permanente (PMP), da porosidade de aeração de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  (A) e da resistência do solo à penetração de  $2,0 \text{ MPa}$  (RP) para os manejos com colheita mecânica tradicional (testemunha), piloto automático e controle de tráfego na camada de  $0,00$ - $0,20 \text{ m}$  de profundidade. A área cinza representa o IHO, contido no gráfico à direita.

por TORMENA et al. (2002), os quais estudaram a variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférreo em sistema de plantio direto, são semelhantes aos valores de densidade crítica do solo.

O gráfico do IHO para os tratamentos com piloto automático e controle de tráfego são

semelhantes, apresentando o CT maior disponibilidade de água às plantas (Figura 1). O gráfico do tratamento T apresentou os valores mais baixos para o IHO, indicando que o uso das técnicas de controle de tráfego permite reduzir os efeitos adversos ao solo devido à passagem dos maquinários sobre a linha de plantio da cultura de cana-de-açúcar. Resultados semelhantes

foram observados por TORMENA et al. (1998) estudando a variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distrófico e, por SEVERIANO et al. (2008), em área cultivada com cana-de-açúcar, afirmando que o Latossolo Vermelho-Amarelo nas condições de estudo, em razão de sua estrutura granular, mostrou-se mais suscetível à compactação, necessitando de adequação no tráfego de máquinas.

## CONCLUSÃO

O tráfego das máquinas agrícolas diminui a macroporosidade do solo e aumenta a densidade e a microporosidade do solo na linha de rodado em relação à linha de planta, demonstrando o efeito do maquinário na degradação da qualidade física do solo.

O intervalo hídrico ótimo mostrou-se sensível às alterações ocorridas no solo em detrimento dos sistemas de manejo estudados. Os tratamentos com controle de tráfego apresentaram maior amplitude de disponibilidade de água às culturas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento da pesquisa (2008/09232-3) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de produtividade ao segundo autor.

## REFERÊNCIAS

- ARAUJO, F.S. et al. Physical quality of a Yellow Latosol under integrated crop livestock system. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.34, n.3, p.717-723, 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832010000300013&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832010000300013&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 17 fev. 2011. doi: 10.1590/S0100-06832010000300013.
- ASSIS, R.L.; LANÇAS, K.P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distrófico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.29, n.4, p.515-522, 2005. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832005000400003&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832005000400003&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 15 ago. 2010. doi: 10.1590/S0100-06832005000400003.
- BENJAMIN, J.G. et al. Quantifying effects of soil conditions on plant growth and crop production. *Geoderma*, Amsterdam, v.116, n.1, p.137-148, 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 20 jul. 2010. doi:10.1016/S0016-7061(03)00098-3.
- BRAUNACK, M.V. et al. Effect of harvest traffic position on soil conditions and sugarcane (*Saccharum officinarum*) response to environmental conditions in Queensland, Australia. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v.89, n.1, p.103-121, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 20 jul. 2010. doi:10.1016/j.still.2005.07.004.
- CARVALHO, S.R. et al. Tassement des sols ferrallitiques Podzólico Vermelho Amarelo sous culture de canne à sucre (état de Rio de Janeiro, Brésil): apport d'une analyse de la porosité associée à une connaissance détaillée de la phase minérale. *Cahiers ORSTOM Série Pedologie*, Paris, v.26, n.1, p.195-212, 1991.
- CARTER, M.R. et al. Characterizing equilibrium physical condition near the surface of a fine sandy loam under conservation tillage in a humid climate. *Soil Science*, Baltimore, v.164, n.2, p.101-110, 1999.
- CORRECHEL, V. et al. Influência da posição relativa à linha de cultivo sobre a densidade do solo em dois sistemas de manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.23, n.1, p.165-173, 1999.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, CNPS, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- IMHOFF, S. et al. Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.25, n.1, p.11-18, 2001.
- LAPEN, D.R. et al. Least limiting water range indicators of soil quality and corn production, Eastern Ontario, Canada. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v.78, n.1, p.151-170, 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 20 jul. 2010. doi:10.1016/j.physletb.2003.10.071.
- LEÃO, T.P.; SILVA, A.P. A simplified Excel® algorithm for estimating the least limiting water range of soils. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.61, n.6, p.649-654, 2004. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-90162004000600013&lng=pt&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162004000600013&lng=pt&nrm=iso&tlng=en)>. Acesso em: 20 jul. 2010. doi: 10.1590/S0103-90162004000600013.
- LEÃO, T.P. et al. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, n.3, p.415-423, 2004. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-0683200400030002&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-0683200400030002&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt)>. Acesso em: 20 jun. 2009. doi: 10.1590/S0100-06832004000300002.
- PEREIRA, F.S. et al. Physical quality of an Oxisol cultivated with maize submitted to cover crops in the pre-cropping period. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.34, n.1, p.211-217, 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832010000100021&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832010000100021&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 20 jul. 2010. doi: 10.1590/S0100-06832010000100021.
- SCHLOTZHAVER, S.D.; LITTELL, R.C. *SAS: system for elementary statistical analysis*. 2.ed. Cary: SAS, 1997. 905p.
- SEVERIANO, E.C. et al. Pressão de preconsolidação e intervalo hídrico ótimo como indicadores de alterações estruturais de um latossolo e de um cambissolo sob cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.32, n.4, p.1419-905p.
- SEVERIANO, E.C. et al. Pressão de preconsolidação e intervalo hídrico ótimo como indicadores de alterações estruturais de um latossolo e de um cambissolo sob cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.32, n.4, p.1419-

- 1427, 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832008000400006&lng=pt&nrm=iso&tlang=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832008000400006&lng=pt&nrm=iso&tlang=pt)>. Acesso em: 20 jul. 2010. doi: 10.1590/S0100-06832008000400006.
- SILVA, A.P. et al. Characterization of the least limiting water range. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.58, n.6, p.1775-1781, 1994.
- SILVA, A.P., KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soil from properties and management. *Soil Science -Society of America Journal*, Madison, v.61, n.1, p.877-883, 1997.
- SOUZA, Z.M. et al. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.40, n.3, p.271-278, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v40n3/a11v40n3.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2009. doi: 10.1590/S0100-204X2005000300011.
- STRECK, C.A.S. et al. Modificações das propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.34, n.3, p.755-760, 2004. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782004000300016&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782004000300016&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 20 jul. 2010. doi: 10.1590/S0103-84782004000300016.
- TORMENA, C.A. et al. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.22, n.4, p.573-581, 1998.
- TORMENA, C.A. et al. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.59, n.4, p.795-801, 2002. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-90162002000400026&lng=pt&nrm=iso&tlang=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162002000400026&lng=pt&nrm=iso&tlang=pt)>. Acesso em: 05 fev. 2009. doi: 10.1590/S0103-90162002000400026.
- TORMENA, C.A. et al. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférico em sistemas de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.31, n.2, p.211-219, 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832007000200003&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832007000200003&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 20 jul. 2010. doi: 10.1590/S0100-06832007000200003.
- TORMENA, C.A. et al. Quantification of the soil physical quality of a tropical oxisol using the S index. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.65, n.1, p.56-60, 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-90162008000100008&lng=pt&nrm=iso&tlang=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162008000100008&lng=pt&nrm=iso&tlang=en)>. Acesso em: 20 fev. 2009. doi: 10.1590/S0103-90162008000100008.
- TULLBERG, J.N. Wheel traffic effects on tillage draught. *Journal of Agricultural Engineering Research*, Amsterdam, v.75, n.4, p.375-382, 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 20 jul. 2010. doi:10.1006/jaer.1999.0516.