

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB TIPOS DE TRANSBORDOS EM
COLHEITA MECANIZADA DE CANA CRUA**

ANTONIO HIGINO FREDERICO PEREIRA

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2014**

ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB TIPOS DE TRANSBORDOS EM COLHEITA MECANIZADA DE CANA CRUA

ANTONIO HIGINO FREDERICO PEREIRA
Engenheiro Agrônomo

Orientador: PROF. Dr. ANTÔNIO CARLOS TADEU VITORINO

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

P436a	<p>Pereira, Antonio Higino Frederico. Atributos físicos do solo sob tipos de transbordos em colheita mecanizada de cana crua. / Antonio Higino Frederico Pereira. – Dourados, MS : UFGD, 2014. 54f.</p> <p>Orientador: Antonio Carlos Tadeu Vitorino. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados.</p> <p>1. Manejo. 2. IHO. 3. <i>Saccharum spp.</i> 4. Mecanização. I. Título.</p> <p>CDD – 633.61</p>
-------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD.

©Todos os direitos reservados. Permitido a publicação parcial desde que citada a fonte.

ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB TIPOS DE TRANSBORDOS EM COLHEITA MECANIZADA DE CANA CRUA

Por

Antônio Higino Frederico Pereira

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de
MESTRE EM AGRONOMIA

Aprovado em: 26/05/2014



Prof. Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino
Orientador – UFGD/FCA



Prof. Dr. Munir Mauad
UFGD/FCA



Prof. Dr. Anderson Cristian Bergamin
UNIR/Departamento de Agronomia

DEDICO.

A minha família!!! Em especial minha esposa, Caroline Pereira que deu todo suporte para alcançar este dentre vários objetivos em nossas vidas e minhas duas filhas Isabelly e Isadora, por simplesmente existirem na minha vida e mesmo nas negativas de brincar e nos divertirmos me agraciavam com beijos e abraços, minhas princesas!!! Meus pais, Antonio de Souza Pereira e Conceição Frederico. Ao Leandro Duarte e Luiz Lima, que contribuíram para meu desenvolvimento pessoal e profissional bem como permitiram que eu pudesse alcançar este sonho Aos colegas de trabalho da Bunge Brasil – Usina Monteverde A todos meus familiares e amigos!!!!

AGRADECIMENTOS

A Deus, esta Luz que ilumina o meu caminho e me ajuda a seguir.

Ao meu orientador Prof. Antonio Carlos Tadeu Vitorino “Totó”, pela inteligência, confiança e profissionalismo.

Ao programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFGD, pela oportunidade, e a secretária Lúcia pela atenção e paciência.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFGD, pelo aprimoramento no conhecimento.

Ao Prof. Dr. Anderson Bergamin da UNIR/Departamento de Agronomia pela atenção especial com que me atendeu.

Aos amigos do Laboratório de Física dos Solos, Eber Prado, Heverton Ponce, Douglas Martins, Marcos Garbiate, e pós graduação, Daniele Piereti, Érica Araújo, Franklin, Lara Endres e Elton.

A Bunge Brasil – Usina Monte Verde, que autorizou a realização deste curso nas pessoas de Luiz Lima e Leandro Duarte.

Aos meus amigos de coordenação, José Geraldo da Silva, Filipe Nicoloti, Leandro Sobreira, Daniel Stoffel, Davi Oliveira, Marcelo Aguilar e Leandro Benedetti e aos meus colegas de trabalho que foram minhas mãos e olhos no campo, Clodoaldo Nogueira, José Ricieri, José Rodolfo Borges e Juliana Fernandes pela grande compreensão durante as ausências e por executar nossas atividades com bastante precisão e segurança.

Aos amigos que sempre me incentivaram, Prof. Dr. Munir Mauad, Dr. Harley Oliveira e família, Dra. Adriana Stoffel, Dr. Fabrício Pereira e família, e ao amigo que em 2003 me mostrou o caminho da pós graduação, Marcelo Antoniol Fontes.

Ao meu sogro Claudiomir de Pauli e sogra Eliana de Pauli, pelo apoio e pelo carinho recebido.

A toda minha Família.

A todos, que presente ou em pensamento, de alguma forma contribuíram para que esses momentos fossem vividos.

Muito obrigado!!!!

SUMÁRIO

	PÁGINA
RESUMO GERAL.....	VI
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	01
2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	04
3 ARTIGO 1.....	06
INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO DE UM LATOSSOLO SOB COLHEITA MECANIZADA DE CANA CRUA COM DIFERENTES TRANSBORDOS	
3.1 Resumo.....	06
3.2 Abstract.....	07
3.3 Introdução.....	08
3.4 Material e métodos.....	09
3.5 Resultados e Discussões.....	17
3.6 Conclusões.....	23
3.7 Referências bibliográficas.....	24
4 ARTIGO 2	28
CAPACIDADE DE SUPORTE DE CARGA DE UM LATOSSOLO SOB COLHEITA MECANIZADA DE CANA CRUA COM DIFERENTES TRANSBORDOS	
4.1 Resumo.....	28
4.2 Abstract.....	29
4.3 Introdução.....	30
4.4 Material e métodos.....	32
4.5 Resultados e Discussões.....	35
4.6 Conclusões.....	42
4.7 Referências bibliográficas.....	43
5 CONCLUSÕES GERAIS.....	47

RESUMO GERAL

Com a crescente demanda dos produtos da cana-de-açúcar, o setor sucroenergético brasileiro investiu na expansão dos canaviais e na construção de novas usinas. Paralelo a isso, o setor intensificou a mecanização da lavoura em função da escassez de mão-de-obra, aumento nos custos de produção e, também, da legislação ambiental de alguns estados produtores, que obriga a eliminação do uso do fogo como método facilitador do corte da cana-de-açúcar, promovendo grande crescimento na mecanização. Objetivou-se com este trabalho avaliar o intervalo hídrico ótimo e a capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho distroférico sob a influência de diferentes transbordos utilizados na colheita mecanizada de cana. O estudo foi realizado na área da Fazenda Dallas no município de Ponta Porã - MS, no ano agrícola de 2012/13. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com cinco repetições. Os tratamentos utilizados foram colheita de cana crua com: T1 Colhedora sem transbordo; T2 Colhedora com dois transbordos com capacidade de 10 Mg cada; T3 Colhedora com transbordo de capacidade de 20 Mg e T4 Colhedora e caminhão transbordo com capacidade de 20 Mg (10 Mg cada compartimento). Exceto o T1, os demais tratamentos estavam carregados com 20 Mg de cana crua. Por meio da coleta de amostras de solo foram determinadas a compressibilidade, resistência à penetração, densidade, macroporosidade e intervalo hídrico ótimo. Observou-se que os equipamentos de transbordo utilizados na colheita de cana crua promovem diminuição do intervalo hídrico ótimo, reduzindo a qualidade estrutural do solo. O caminhão transbordo causou maior impacto nos atributos físicos do solo estudados. A capacidade de suporte de carga do solo não foi alterada pelos tratamentos, pois a pressão exercida pela colhedora (T1) é maior que a pressão de préconsolidação do solo. A diminuição da qualidade estrutural dos solos submetidos à colheita mecanizada de cana crua deve-se a pressão exercida pelos equipamentos no solo e a área de contato entre os pneus e o solo.

Palavras-chave: manejo, IHO, *Saccharum* spp, mecanização, compactação.

INTRODUÇÃO GERAL

O setor sucroenergético apresenta grande importância econômica e social, sendo o Brasil, o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. O Mato Grosso do Sul é o quinto estado com maior área no país apresentando uma área cultivada de aproximadamente 630 mil hectares com produtividade média de 70,4 toneladas de cana por hectare (BIOSUL, 2014).

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) tem um papel importante na economia brasileira desde o período dos engenhos coloniais, assumindo grande importância socioeconômica, sendo a terceira cultura em área plantada no Brasil, ficando atrás somente do milho e da soja. Seus produtos, açúcar, etanol, aguardente e, mais recentemente, a eletricidade e os bioplásticos exercem papel fundamental na economia nacional e internacional.

Na região Centro-Sul do Brasil, a safra canavieira estende-se de abril a outubro (HORII, 2004), período que se caracteriza como sendo de baixa intensidade pluvial. Por outro lado, observa-se uma tendência de redução do período de entressafra (SEVERIANO et al., 2009), o que condiciona tráfego de máquinas para colheita em condições de elevados conteúdos de água no solo. Em condições inadequadas para o tráfego, a sustentabilidade agrícola e ambiental pode ser colocada em risco, por comprometer diretamente a qualidade estrutural do solo (OLIVEIRA et al., 2003).

Em áreas canavieiras, a compactação tem ocorrido especialmente em virtude das operações de manejo que envolvem o tráfego de máquinas, muitas vezes quando o solo está em condições inadequadas de umidade alterando sua qualidade física e afetando assim, o crescimento e desenvolvimento das plantas, diminuindo a produtividade no decorrer dos anos (SOUZA et al., 2006). Assim, a determinação da umidade no solo antes da realização das operações mecanizadas torna-se indispensável, pelo fato de essa governar a capacidade de suporte de carga do solo (KONDO e DIAS JÚNIOR, 1999).

A pressão exercida na superfície do solo pelo tráfego de máquinas, normalmente, aumenta a densidade do solo e diminui a porosidade total, sobretudo a macroporosidade (TSEGAYE e HILL, 1998), sendo mais grave quando as operações de preparo do solo e tráfego de máquinas são realizadas aplicando-se pressões superiores à capacidade de suporte de carga, para um dado teor de umidade no solo (DIAS JUNIOR e PIERCE, 1996; DIAS JUNIOR, 2000).

As alterações que interferem negativamente nos atributos físicos dos solos intensificam o processo de compactação dos mesmos e podem trazer como consequência a queda de produtividade das culturas (OLIVEIRA et al., 2004). Sendo assim, o estabelecimento de indicadores que possam apoiar melhores manejos por refletirem as condições físicas do solo são muito importantes.

Um indicador de qualidade física proposto é a curva de compressibilidade do solo, que pode ser usada para minimizar a degradação física do solo oriunda do seu manejo inadequado. Sua utilização é dada para mostrar alterações na estrutura do solo (DIAS JUNIOR e PIERCE, 1996). Na curva de compressão encontram-se duas regiões distintas: a curva de compressão secundária, na qual ocorrem as deformações elásticas e recuperáveis e a curva de compressão virgem, na qual ocorrem as deformações plásticas, não recuperáveis (DIAS JUNIOR e PIERCE, 1995). É na região da curva de compressão secundária que o solo deve ser trabalhado ou trafegado para que não ocorra compactação adicional (DIAS JUNIOR e PIERCE, 1996).

Para avaliar a capacidade de suporte de carga dos solos, o ensaio de compressão uniaxial tem sido utilizado para se obter a pressão de preconsolidação (σ_p) a partir da curva de compressão do solo (SANTOS, 2006). O desenvolvimento destes modelos de capacidade de suporte de carga é de suma importância para o manejo de práticas agrícolas, indicando a máxima pressão que o solo suporta em diferentes umidades sem causar compactação adicional.

A degradação da estrutura do solo, pelo uso de máquinas agrícolas nas várias etapas do processo de produção em condições inadequadas de umidade, tem sido o principal responsável por acarretar perdas no potencial produtivo das culturas (IMHOFF et al., 2001; CHAMEN et al., 2003). Com a obtenção de modelos de capacidade de suporte de carga, verifica-se que o melhor momento para as práticas de manejo do solo, em termos de conteúdo de água no solo, é distinto entre as culturas, ocorrendo aumento na capacidade de carga do solo com a redução do conteúdo de água e aumento da densidade do solo (BERGAMIN et al., 2010).

Alexandrou e Earl (1998) relataram que a pressão de preconsolidação tem relação significativa com a densidade inicial para solo arenoso, fato não observado para solos argiloso devido à dominância de coesão e menor fricção. Segundo Lebert e Horn (1991), a influência da densidade na pressão de preconsolidação é reduzida com aumento do teor de argila.

Outro indicador de qualidade física dos solos é o intervalo hídrico ótimo (IHO) que pode ser utilizado na identificação das principais limitações físicas do solo e por meio deste pode-se ainda adotar melhores técnicas de manejo (BERGAMIN et al., 2010). Para Silva et al. (1994), o IHO é um bom indicador da qualidade física do solo pois incorpora em um único parâmetro, as limitações ao crescimento das plantas por aeração, água disponível e resistência do solo à penetração.

O IHO é definido pelo limite superior e inferior dos conteúdos de água no solo, considerados limitantes ao crescimento radicular. O limite superior é o menor valor entre o conteúdo de água na porosidade de aeração de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (GRABLE e SIEMER, 1968) e o conteúdo de água retido na capacidade de campo, tensão de 0,01 MPa (REICHARDT, 1988); e o limite inferior é o maior valor entre o conteúdo de água retido no ponto de murcha permanente, na tensão de 1,5 MPa (SAVAGE et al., 1996) e o conteúdo de água a partir do qual a resistência do solo à penetração é crítica ao crescimento radicular, ou seja, quando atinge 2,0 MPa (TAYLOR et al., 1966).

Devido a essas características, o IHO representa grande avanço nos estudos da qualidade física do solo, sendo este considerado o indicador que melhor se correlaciona ao crescimento das plantas (TORMENA et al., 2007). Nesse sentido, o monitoramento do processo de produção da cana-de-açúcar, por meio do uso de indicadores das condições físicas do solo, de forma a dar sustentabilidade ao processo produtivo, assume importância peculiar no levantamento da qualidade ambiental. Tal conjunto de procedimentos visa minimizar a degradação do solo e do meio ambiente na região Centro-Oeste do Brasil, onde diversas usinas estão sendo instaladas e o pacote tecnológico usado não foi desenvolvido e/ou ajustado para condições locais.

Assim, neste trabalho serão apresentados dois artigos. O primeiro artigo avalia o efeito dos diferentes transbordos utilizados na colheita mecanizada de cana crua no IHO de um Latossolo Vermelho distroférico muito argiloso. O segundo artigo avalia o efeito dos diferentes transbordos utilizados na colheita mecanizada de cana crua na capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho distroférico muito argiloso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDROU, A. EARL, R. The relationship among the pre-compaction stress, volumetric water content and initial dry bulk density of soil. **Journal of Agricultural Engineering Research**. V.71, p.75-80, 1998.

BERGAMIN, A.C.; VITORINO, A.C.T.; FRANCHINI, J.C.; SOUZA, C.M.A.; SOUZA, F.R. Compactação em um Latossolo Vermelho distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.3, p.681-691, 2010.

BIOSUL. **Perspectivas da safra 2014/2015**. Disponível em: <<http://www.canaldoprodutor.com.br/comunicacao/noticias/biosul-apresenta-perspectivas-da-safra-20142015.html>>. Acesso em Abril de 2014.

CHAMEN, T.; ALAKUKKU, L.; PIRES, S.; SOMMER, C.; SPOOR, G.; TIJINK, F; WEISSKOPF, P. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: A review. Part 2. Equipment and field practices. **Soil and Tillage Research**, v.73, p.161-174, 2003.

DIAS JUNIOR, M.S.; PIERCE, F.J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. **Soil Technology** , Lansing, v.8, n.2, p. 139-151, 1995.

DIAS JUNIOR, M.S.; PIERCE, F.J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. Revisão de literatura, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, p,175-182, 1996.

DIAS JÚNIOR, M.S. Compactação do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.V.; SCHAEFER, C.E.G.R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa,. v.1, n.4, p.55-94, 2000.

GRABLE, A.R.; SIEMER, E.G. Effects of bulk density aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.32, n.2, p.180-186, 1968.

HORII, J. A cana-de-açúcar como matéria-prima. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v.1, n.1, p.88-93, 2004.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; DIAS JUNIOR, M.S.; TORMENA, C.A. Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.11-18, 2001.

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

LEBERT, M.; HORN, R. A method to predict the mechanical strength of agricultural soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.19, n.2-3, p.275-286, 1991.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JÚNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.2, p.291-299, 2003.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. Viçosa, v.28, n.2, p.327-336, 2004.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, n.13, p.211-216, 1988.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.102, n.2, p.242-254, 2009.

SANTOS, G. A. **Capacidade de suporte de carga de um Latossolo cultivado com cafeeiros sob métodos associados de controle de plantas daninhas**. Lavras: UFLA, 115p. 2006. (Tese-Doutorado)

SAVAGE, M.J.; RITCHIE, J.T.; LAND, W.L.; DUGAS, W.A. Lower limit of soil water available. **Agronomy Journal**, Madison, v.88, n.5, p.844-851, 1996.

SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, G.C.; CURI, N.; DIAS JUNIOR, M. Potencial de uso e qualidade estrutural de dois solos cultivados com cana-de-açúcar em Goianésia (GO). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.1, p.159-168, 2009.

SILVA, A.P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n.6, p.1775-1781, 1994.

SOUZA, Z.M.; BEUTLER, A.N.; PRADO, R.M.; BENTO, M.J.C. Efeito de sistemas de colheita de cana-de-açúcar nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho. **Científica**, Jaboticabal, v.34, n.1, p. 31-38, 2006.

TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M.; PARKER JR., J.J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, Baltimore, v.102, n.1, p.18-22, 1966.

TORMENA, C.A.; ARAÚJO, M.A.; FIDALSKI, J.; COSTA, J.M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.2, p.211-219, 2007.

TSEGAYE, T.; HILL, R.L. Intensive tillage effects on spatial variability of soil test, plant growth, and nutrient uptake measurements. **Soil Science**, Baltimore, v.163, n.2, p.155-165, 1998.

ARTIGO 1

INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO DE UM LATOSSOLO SOB COLHEITA MECANIZADA DE CANA CRUA COM DIFERENTES TRANSBORDOS

RESUMO

A utilização de equipamentos com maiores capacidades de operação e transporte tem sido empregada na colheita mecanizada de cana crua, visando melhor eficiência de colheita. Estes equipamentos, devido à sua massa, somada à massa de cana que transportam, têm sido considerados como importantes causadores da compactação do solo e consequentemente impactam negativamente a produtividade da cultura. Objetivou-se com este trabalho avaliar o intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférico sob colheita mecanizada de cana crua de primeiro corte com diferentes transbordos. O estudo foi realizado na área da Fazenda Dallas no município de Ponta Porã - MS, no ano agrícola de 2012/13. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com cinco repetições. Os tratamentos utilizados foram colheita de cana crua com: T1 - colhedora sem transbordo; T2 - colhedora mais dois transbordos com capacidade de 10 Mg cada; T3 - colhedora e transbordo com capacidade de 20 Mg; T4 colhedora e caminhão transbordo com dois compartimentos com capacidade de 10 Mg cada. Cada unidade experimental recebeu duas passadas da colhedora e duas passadas dos rodados dos transbordos. As amostras de solo foram coletadas a 0,40 m da linha de cultivo. Exceto o T1, os demais tratamentos estavam carregados com 20 Mg de cana crua. Amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas em cilindros, centralizados nas profundidades de 0,10 e 0,20 m para determinação do intervalo hídrico ótimo. Observou-se que todos os tratamentos afetaram de forma negativa o IHO na profundidade de 0,10 m enquanto na profundidade de 0,20 m não houve redução significativa. Os tratamentos T2, T3 e T4 proporcionaram impactos semelhantes na qualidade física do solo.

Palavras-chave: resistência do solo à penetração, densidade do solo, IHO, porosidade.

LEAST LIMITING WATER RANGE OF OXISOL IN HARVESTING OF SUGARCANE RAW WITH DIFFERENT TRANSHIPMENTS

ABSTRACT

Use of devices with higher capacities and transport operation has been employed in mechanized harvesting of sugarcane, to better harvesting efficiency. These devices, due to its mass, plus the mass of cane carrying, have been considered as important causes of soil compaction and consequently negatively impact the crop. The objective of this study was to evaluate the least limiting water range of an Oxisol under mechanized sugarcane harvesting first cut with different transshipments. The study was conducted in the area of Finance Dallas in Ponta Porã - MS in crop year 2012/13. The experimental design was randomized blocks with five replications. The treatments were harvesting green cane with: T1 - harvester without transshipment; T2 - combine two transshipment capacity of 10 Mg each; T3 - harvester and transshipment capacity of 20 Mg; T4 harvester and truck transshipment with two compartments with a capacity of 10 Mg each. Each experimental unit received two of the harvester and two passes of the wheel sets of transshipments. Soil samples were collected at 0.40 m in row. Except T1, the other treatments were loaded with 20 Mg of sugarcane. Soil samples were collected with preserved structure in cylinders, centered at depths of 0.10 and 0.20 m for determination of limiting water range. It was observed that all the treatments affected negatively the IHO at the depth of 0.10 m while the 0.20m no significant reduction. T2, T3 and T4 treatments showed similar impacts on soil physical quality.

Keywords : resistance to penetration , density, LLWR

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana de açúcar, apresentando atualmente uma estimativa de 8 milhões de hectares de área plantada, com produção anual de 34 milhões de toneladas de açúcar e 25 bilhões de litros de etanol, de acordo com a União da Indústria de Cana de Açúcar (ÚNICA, 2014).

A modernização da agricultura, acompanhada pelo 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, tem sido a principal causa da compactação do solo, trazendo prejuízos para a produtividade das culturas e contribuindo com processos erosivos (ROQUE et al., 2011).

Diferentes sistemas de manejo e cultivo alteram a estrutura do solo, que por sua vez, interferem em uma série de atributos físicos, químicos e biológicos. Modificações na estrutura do solo podem ocorrer em virtude do tráfego de máquinas e do uso frequente de equipamentos agrícolas (BERGAMIN et al. 2010a; SANTOS et al., 2010; SOUZA et al., 2012).

Em áreas canavieiras, a compactação tem ocorrido muitas vezes em virtude das operações de manejo que envolve o tráfego de máquinas estando o solo em condições inadequadas de umidade (SEVERIANO et al., 2008). A compactação dos solos em agrossistemas canavieiros tem sido atribuída principalmente à colheita mecanizada em condições de elevados conteúdos de água no solo (PANKHURST et al., 2003).

O uso e manejo inadequado do solo podem provocar a compactação do mesmo, aumentando sua densidade e resistência do solo à penetração, com redução da macroporosidade e conseqüente redução da produtividade das culturas (STONE e SILVEIRA, 2001; COLLARES et al., 2006; BERGAMIN et al., 2010a; BERGAMIN et al., 2010b). O aumento da compactação modifica as curvas características de água no solo e reduz sua condutividade hidráulica, diminuindo a disponibilidade de água às plantas (DEXTER, 2004).

A avaliação da qualidade física em áreas cultivadas com cana-de-açúcar tem sido realizada por meio de atributos físicos como a porosidade do solo (GARBIATE et al., 2011), estabilidade de agregados (SOUZA et al., 2006), densidade do solo (CARVALHO et al., 2011) e infiltração de água no solo (TOMASINI et al., 2010). No entanto, preconiza-se que a avaliação da qualidade física do solo deva integrar diferentes propriedades num reduzido

número de parâmetros que expresse o ambiente físico a que as plantas são submetidas (SILVA et al., 1994; TORMENA et al., 1998).

Assim, para a implantação de culturas, faz-se necessário o conhecimento dos atributos físicos do solo para que se possa manejá-lo e usá-lo de maneira adequada (SINGH e MALHI, 2006).

Um parâmetro importante no monitoramento da compactação do solo e na prevenção de perdas de produtividade é o intervalo hídrico ótimo (IHO) (BEUTLER et al., 2004), o qual incorpora em um único parâmetro, as complexas e dinâmicas interações entre resistência do solo à penetração, aeração e disponibilidade de água, que alteram diretamente o crescimento e desenvolvimento das plantas (SILVA et al., 1994). A utilização do IHO permite identificar, por meio da quantificação e da integração dos dados relativos à água disponível, aeração e resistência do solo à penetração, as restrições impostas pela degradação estrutural à qualidade física do solo para o crescimento das plantas (ARAÚJO 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).

Neste contexto objetivou-se com este estudo avaliar a influência da colheita mecanizada da cana crua com diferentes transbordos, sobre o IHO de um Latossolo Vermelho distroférico.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em área da Fazenda Dallas no município de Ponta Porã - MS, no ano agrícola de 2012/2013. O local situa-se em latitude de 22°24'58"S, longitude de 55°05'30"W e altitude de 410 m. O clima é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen. A região apresenta precipitação pluvial média anual de 1.400 mm e as temperaturas médias anuais variam de 18°C a 25°C nos meses mais frio e mais quente, respectivamente (PEIXOTO, 2002). O solo na área do experimento foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico, cuja textura, determinada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997) foi 601 g kg⁻¹ de argila, 219 g kg⁻¹ de silte e 180 g kg⁻¹ de areia.

O delineamento experimental foi de blocos casualizados com cinco repetições. A implantação do experimento ocorreu com o plantio de cana-de-açúcar (*Saccharum ssp*) em 2012, correspondente com a primeira colheita (cana planta ou primeiro corte), ocorrida em Agosto de 2013.

A área foi preparada para o plantio de cana de açúcar, gradagem pesada com discos de 34" recortados, subsolagem com subsolador canavieiro à profundidade de 0,45 m e gradagem média com discos de 28" recortados. O plantio foi realizado em abril de 2012, sendo totalmente mecanizado. A variedade plantada foi RB 85 5156, de ciclo super precoce. Aos cem dias após o plantio foi feito o nivelamento do solo por meio de hastes subsoladoras e conjuntos de grades, deixando o solo totalmente nivelado.

Os tratamentos foram: T1 - Colhedora sem transbordo; T2 - Colhedora e trator acoplado com dois transbordos com capacidade de 10 Mg cada; T3 - Colhedora e trator acoplado com transbordo com capacidade de 22 Mg; e T4 - Colhedora e caminhão com dois transbordos com capacidade de 10 Mg cada. Exceto no T1, nos demais tratamentos os equipamentos de transporte da cana colhida estavam carregados com 20 Mg de cana-de-açúcar. A velocidade de colheita foi de 5 Km/h.

A colhedora de cana-de-açúcar utilizada no experimento foi a de modelo 3520, com 335cv de potência bruta e 17 Mg de massa, distribuídos em duas esteiras (Figura 1). Um dos transbordos utilizados no experimento, deteve massa de 8,0 Mg, distribuída em quatro pneus de alta flutuação modelo 600/50-22,5 com pressão de inflação de 0,38 MPa, com capacidade para carregar até 10Mg de cana-de-açúcar, sendo utilizado dois transbordos acoplados ao trator com massa total do conjunto carregado de 46 Mg (Figura 2). O outro transbordo que foi utilizado com capacidade para carregar até 22 Mg de cana, com massa média de 12,5 Mg distribuídos em oito pneus, sendo quatro pneus dianteiros modelo 550/45-

22,5 com pressão de inflação de 0,29 MPa e outros quatro pneus traseiros modelo 600/50-22,5 com pressão de inflação de 0,38 MPa, sendo considerados de alta flutuação com massa total do conjunto carregado de 43 Mg (Figura 3).



Figura 1. Colhedora 3520, com 335cv de potência bruta e 17 Mg de massa,



Figura 2. Transbordos, com massa de 8,0 Mg cada compartimento, distribuídos em quatro pneus de alta flutuação modelo 600/50-22,5 com pressão de inflação de 0,38 MPa, com capacidade para carregar até 10Mg em cada compartimento com massa total do conjunto carregado de 46 Mg.



Figura 3. Transbordo com capacidade para carregar até 22 Mg de cana-de-açúcar, com massa média de 12,5 Mg distribuídos em oito pneus de alta flutuação, sendo quatro pneus dianteiros modelo 550/45-22,5 com pressão de inflação de 0,29 MPa e os quatro pneus traseiros modelo 600/50-22,5 com pressão de inflação de 0,38 MPa com massa total do conjunto carregado de 43 Mg.



Figura 4. Caminhão modelo 2628 com massa de 17 Mg distribuídos em dez pneus de baixa flutuação modelo 1000/R20 com pressão de inflação de 0,76 MPa com dois transbordos com capacidade de 10 Mg cada com massa total do conjunto carregado de 37 Mg.

Após a coleta das amostras com estrutura preservada, estas levadas ao laboratório e preparada para serem submetidas à saturação por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingirem cerca de dois terços da altura do cilindro metálico para posterior estabilização do teor de água. As 35 amostras de cada tratamento e profundidade foram divididas em sete grupos de cinco amostras, sendo cada grupo submetido aos seguintes potenciais matriciais: -0,006; -0,01; -0,033; -0,066; -0,1; -0,3 e -1,5 MPa, utilizando mesa de tensão (-0,006 MPa) e câmara de Richards para os demais potenciais, conforme Klute (1986) (Figura 5).



Figura 5. Saturação das amostras por elevação gradual da lâmina de água.

Fonte: Pereira, A.H.F.

Quando as amostras atingiram o equilíbrio nos referidos potenciais, essas foram pesadas e logo em seguida encaminhadas para, a determinação da resistência do solo à penetração, utilizando um penetrógrafo eletrônico com velocidade constante de penetração de 1 cm min^{-1} , com diâmetro de base da haste de 4 mm e semiângulo de 30° , desenvolvido por Serafim et al.(2008). Os valores obtidos nos 5 mm superiores e inferiores da amostra foram descartados, visando eliminar o efeito da periferia da amostra (BRADFORD, 1986).

A frequência de leituras de resistência do solo à penetração correspondeu à coleta de um valor a cada 0,25 s, obtendo-se 600 leituras por amostra, sendo utilizado o valor médio. Após a determinação da resistência do solo à penetração, as amostras foram levadas à estufa a 105-110 °C, por 48 h, para determinar a umidade volumétrica e a densidade do solo pelo método do anel volumétrico. A macroporosidade foi obtida como proposto em Embrapa (1997).

O IHO foi determinado com base nos procedimentos descritos em Silva et al. (1994). Os valores críticos de umidade associados com o potencial matricial, resistência do solo à penetração e porosidade de aeração, representados, respectivamente, pelo teor de água na capacidade de campo (θ_{CC}), potencial de -0,01 MPa (REICHARDT, 1988); pelo teor de água no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), potencial de -1,5 MPa (SAVAGE et al., 1996); pelo teor de água volumétrico no solo em que a resistência do solo à penetração (θ_{RP}) atinge 2,0 MPa (TAYLOR et al., 1966); e pelo teor de água volumétrico em que a porosidade de aeração (θ_{PA}) é de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (GRABLE e SIEMER, 1968) (Figura 6).



Figura 6. Câmaras de Richards .

Fonte: Pereira, A.H.F.

Para obter os valores de θ_{CC} e θ_{PMP} , utilizou-se o modelo matemático do tipo [$\theta = \exp^{(a+bDs)}\Psi^c$], proposto por Silva et al. (1994), para ajuste dos dados originais, o qual incorpora a variável densidade do solo na função empregada por Ross et al. (1991), em que

θ é a umidade volumétrica do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); D_s é a densidade do solo (Mg m^{-3}); Ψ é o potencial matricial (MPa); e as letras “a”, “b” e “c” são os parâmetros empíricos de ajuste do modelo.

Os valores de RP de todas as amostras com θ e D_s conhecidas foram ajustados matematicamente, utilizando o modelo do tipo $[\text{RP} = d\theta^e D_s^f]$, proposto por Busscher (1990), em que RP é a resistência do solo à penetração (MPa); θ é a umidade volumétrica do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); D_s é a densidade do solo (Mg m^{-3}); e as letras “d”, “e” e “f” são os parâmetros empíricos de ajuste do modelo. Por meio dessa equação foi possível determinar o valor crítico de θ para que a RP não ultrapassasse 2,0 MPa (θ_{RP}), em função da D_s . Para isso, substituiu-se RP na equação pelo valor de 2,0 MPa, considerado como limitante para efeito de cálculo do IHO.

O valor de θ_{PA} foi obtido aplicando o modelo do tipo $[\theta_{\text{PA}} = (1 - (D_s/D_p)) - 0,10]$, em que θ_{PA} é o teor de água volumétrico do solo em que a porosidade de aeração é de 0,10 $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$; D_s é a densidade do solo (Mg m^{-3}); D_p é a densidade de partículas (Mg m^{-3}), sendo adotado o valor de 2,65 Mg m^{-3} como densidade média de partículas.

Na determinação dos limites superiores do IHO, considerou-se o θ_{CC} , ou aquele em que a θ_{PA} é considerada adequada ao crescimento e desenvolvimento da cultura. Como limites inferiores foram considerados o θ_{PMP} ou aquele correspondente à θ_{RP} limitante ao crescimento e desenvolvimento das plantas. Após o cálculo dos limites superiores e inferiores do IHO, determinou-se a densidade crítica do solo (D_{sc}), que é a densidade do solo em que o IHO se iguala a zero, ou seja, quando o limite superior do IHO equivale numericamente ao limite inferior (SILVA et al., 1994).

Os ajustes dos modelos matemáticos e obtenção dos parâmetros “a”, “b”, “c”, “d”, “e” e “f”, foram realizados pelo método de regressão não linear, por meio do programa computacional Statistica 7.0 (STATSOFT, 2007).

As curvas ajustadas de retenção de água apresentaram coeficientes de determinação (R^2) que foram submetidos ao teste F de acordo com Blainski et al. (2009) e Blainski et al. (2012).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os coeficientes de ajuste da equação de retenção de água no solo são apresentados nos Quadros 1 e 2. Todas as curvas ajustadas de retenção de água no solo apresentaram coeficientes de determinação (R^2) significativos a 1% pelo teste F.

Segundo Blainski et al. (2009) e Blainski et al. (2012) é possível afirmar que os coeficientes do ajuste da curva de retenção de água no solo (Quadros 1 e 2) foram estatisticamente significativos ($p < 0,01$), pois o intervalo de confiança dos coeficientes não inclui o valor igual a zero, exceto o coeficiente “b” que não foi significativo nos tratamentos T1 e T4 e o coeficiente “c” no tratamento T1, na profundidade de 0,10 m (Quadro 1).

QUADRO 1. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de retenção de água no solo [$\theta = \exp^{(a+bD_s)}\Psi^c$], com respectivos coeficientes de determinação (R^2), na profundidade de 0,10 m de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido aos diferentes tratamentos.

Coeficientes	Valor estimado	Intervalo de confiança		Valor estimado	Intervalo de confiança	
		Li	Ls		Li	Ls
		T1			T2	
a	-1,9741	-2,2903	-1,6579	-1,7079	-2,0896	-1,3262
b	0,2686	-0,2579	0,7951	0,3176	0,0579	0,5773
c	-0,0160	-0,0732	0,0412	-0,0548	-0,0715	-0,0381
R^2	0,83**			0,85**		
		T3			T4	
a	-1,6195	-2,2135	-1,0254	-1,4174	-2,0983	-0,7365
b	0,1663	0,0873	0,2453	0,2067	-0,1441	0,5577
c	-0,0631	-0,1208	-0,0054	-0,0625	-0,01246	-0,0004
R^2	0,81**			0,79**		

θ : teor de água no solo ($m^3 m^{-3}$); D_s : densidade do solo ($Mg m^{-3}$); Ψ : potencial de água no solo (MPa); Li e Ls: limite inferior e superior do intervalo de confiança 95%, respectivamente; **: significativo pelo teste “F” a 1%. T1 – Colhedora sem transbordo; T2 - Colhedora e trator acoplado com dois transbordos de 10 Mg cada; T3 - Colhedora e trator acoplado com transbordo com capacidade de 22 Mg; e T4 - Colhedora e caminhão com dois transbordos com capacidade de 10 Mg cada. OBS: Exceto o T1; os demais tratamentos estavam carregados com 20 Mg de cana crua.

Na profundidade de 0,20 m os coeficientes “b” e “c” não foram significativos para o T3, além do coeficiente “a” para o T4 (Quadro 2).

Nos Quadros 3 e 4 são apresentados os coeficientes de ajuste da curva de resistência do solo à penetração. O intervalo de confiança dos coeficientes “d”, “e” e “f” do ajuste da curva de resistência do solo à penetração não inclui valor igual a zero,

possibilitando afirmar que estes foram estatisticamente significativo ($p < 0,01$), como descrito por Blainski et al. (2009) e Blainski et al. (2012), exceto o coeficiente “d” nos tratamentos T3 e T4 na profundidade de 0,10 m (Quadro 3).

QUADRO 2. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de retenção de água no solo [$\theta = \exp^{(a+bD_s)}\Psi^c$], com respectivos coeficientes de determinação (R^2), na profundidade de 0,20 m de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido aos diferentes tratamentos.

Coeficientes	Valor estimado	Intervalo de confiança		Valor estimado	Intervalo de confiança	
		Li	Ls		Li	Ls
		T1			T2	
a	-1,3235	-1,9532	-0,0693	-1,5087	-2,0321	-0,9853
b	0,2141	0,0155	0,4128	0,1752	0,0215	0,3289
c	-0,0583	-0,1127	-0,0039	-0,1368	-0,2355	-0,0381
R^2	0,78**			0,75**		
		T3			T4	
a	-1,4378	-1,8732	-1,0024	-0,9271	-1,8563	0,0021
b	-0,07224	-0,1576	0,0129	0,5057	0,0259	0,9855
c	-0,0470	-0,0885	0,0056	-0,0240	-0,0366	-0,0156
R^2	0,81**			0,80**		

θ : teor de água no solo ($m^3 m^{-3}$); D_s : densidade do solo ($Mg m^{-3}$); Ψ : potencial de água no solo (MPa); Li e Ls: limite inferior e superior do intervalo de confiança 95%, respectivamente; **: significativo pelo teste “F” a 1%. T1 – Colhedora sem transbordo; T2 - Colhedora e trator acoplado com dois transbordos de 10 Mg cada; T3 - Colhedora e trator acoplado com transbordo com capacidade de 22 Mg; e T4 - Colhedora e caminhão com dois transbordos com capacidade de 10 Mg cada. OBS: Exceto o T1; os demais tratamentos estavam carregados com 20 Mg de cana crua.

Observa-se na Figura 7 as variações dos potenciais matriciais nos limites críticos correspondentes à capacidade de campo (-0,01 MPa), à porosidade de aeração de $10 m^3 m^{-3}$, ao ponto de murcha permanente (-1,5 MPa) e à resistência do solo à penetração de 2,0 MPa, para cada valor de densidade do solo nos tratamentos avaliados nas profundidades de 0,10 m e 0,20 m.

Verifica-se que os valores de θ_{cc} e θ_{pmp} nos limites críticos dos potenciais de água no solo aumentaram de acordo com a D_s (Figura 1), de forma similar aos resultados de Bergamin et al. (2010) e Garbiate et al. (2011) que trabalharam com a mesma classe de solo.

Segundo Kertzman (1996), em Latossolos argilosos a compactação ou o aumento da D_s afeta o espaço poroso interagregado, reduzindo o diâmetro dos poros maiores, de modo a se tornarem mais eficientes na retenção de água em elevados potenciais (θ_{cc}). Tal redução do diâmetro dos poros maiores pode também ser percebida na figura 7, ao analisar a

tendência da curva de porosidade de aeração, que diminui com a Ds sendo prejudicial para as condições estudadas.

QUADRO 3. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de resistência do solo à penetração ($RP = d\theta^e Ds^f$), com respectivos coeficientes de determinação (R^2), na profundidade de 0,10 m de um Latossolo Vermelho distroférrico, submetido aos diferentes tratamentos.

Coeficientes	Valor estimado	Intervalo de confiança		Valor estimado	Intervalo de confiança	
		Li	Ls		Li	Ls
		T1			T2	
d	0,1010	0,0148	0,1871	0,0358	0,0241	0,0475
e	-2,5540	-2,8856	-2,2224	-1,3959	-1,8967	-0,8950
f	6,9411	5,8796	8,0025	4,4311	1,8565	7,0058
R^2	0,87**			0,86**		
		T3			T4	
d	0,0489	-0,0221	0,1200	0,0056	-0,0002	0,0114
e	-2,9856	-4,0125	-1,9587	-2,4738	-3,0151	-1,9324
f	3,5547	1,8254	5,2840	5,9907	4,0954	7,8859
R^2	0,80**			0,83**		

RP: resistência do solo à penetração (MPa); θ : teor de água no solo ($m^3 m^{-3}$); Ds: densidade do solo ($Mg m^{-3}$); Li e Ls: limite inferior e superior do intervalo de confiança 95%, respectivamente; **: significativo pelo teste “F” a 1%. %. T1 – Colhedora sem transbordo; T2 - Colhedora e trator acoplado com dois transbordos de 10 Mg cada; T3 - Colhedora e trator acoplado com transbordo com capacidade de 22 Mg; e T4 - Colhedora e caminhão com dois transbordos com capacidade de 10 Mg cada. OBS: Exceto o T1; os demais tratamentos estavam carregados com 20 Mg de cana crua.

Na profundidade de 0,20 m o coeficiente “d” no tratamento T3 e o coeficiente “e” no tratamento T4 não foram significativos (Quadro 4).

Em baixos potenciais, a relação positiva entre θ_{PMP} e Ds deve-se à maior massa de partículas com elevada superfície de adsorção, uma vez que a compactação geralmente não afeta a microporosidade. Maiores Ds aumentam a aproximação das partículas sólidas e o atrito interno entre as partículas, aumentando os valores de compressibilidade do solo e consequentemente à compactação principalmente nas camadas superficiais (ARAÚJO-JUNIOR et al., 2011; PACHECO e CANTALICE, 2011; SOUZA et al., 2012).

Em valores de Ds mais elevados, o IHO foi reduzido em todos os tratamentos na profundidade de 0,10 m (Figura 10), sendo o limite superior a porosidade de aeração (θ_{PA}) que decresce à medida que a densidade do solo aumenta e o limite inferior a resistência do solo a penetração (θ_{RP}) que aumenta à medida que a densidade do solo aumenta. Essa redução no IHO em Ds elevada está relacionada ao fato de que os valores da θ_{CC} , θ_{PMP} e θ_{RP} aumentaram e os valores do θ_{PA} reduziram, podendo causar IHO nulo, quando ocorre o

encontro entre seus limites inferiores e superiores. Resultados semelhantes também foram obtidos por Silva et al.(1994), Leão et al. (2006), Tormena et al. (2007), Serafim et al. (2008a) e Lima et al.(2012).

QUADRO 4. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de resistência do solo à penetração ($RP = d\theta^e Ds^f$), com respectivos coeficientes de determinação (R^2), na profundidade de 0,20 m de um Latossolo Vermelho, submetido aos diferentes tratamentos.

Coeficientes	Valor estimado	Intervalo de confiança		Valor estimado	Intervalo de confiança	
		Li	Ls		Li	Ls
		T1			T2	
d	0,0425	0,0182	0,0667	0,2476	0,1254	0,3698
e	-2,1633	-2,5412	-1,7854	-1,6011	-2,9872	-0,2149
f	3,0659	0,0079	6,1240	4,5468	2,0877	7,0059
R^2	0,81**			0,77**		
		T3			T4	
d	0,0601	-0,0255	0,1457	0,0691	0,0148	0,1234
e	-2,7749	-3,2257	-2,3241	-2,2810	-4,5632	0,0012
f	2,7950	0,5687	5,0213	3,6454	0,9657	6,3250
R^2	0,83**			0,82**		

RP: resistência do solo à penetração (MPa); θ : teor de água no solo ($m^3 m^{-3}$); Ds: densidade do solo ($Mg m^{-3}$); Li e Ls: limite inferior e superior do intervalo de confiança 95%, respectivamente; **: significativo pelo teste "F" a 1%. T1 - Colhedora sem transbordo; T2 - Colhedora e trator acoplado com dois transbordos de 10 Mg cada; T3 - Colhedora e trator acoplado com transbordo com capacidade de 22 Mg; e T4 - Colhedora e caminhão com dois transbordos com capacidade de 10 Mg cada. OBS: Exceto o T1; os demais tratamentos estavam carregados com 20 Mg de cana crua.

Para Lima et al. (2012) solos com menor qualidade estrutural apresentam redução no IHO primeiramente pela θ_{PA} . Kaiser et al. (2009) trabalhando em sistema de plantio direto citou que nesse sistema a resistência do solo à penetração tem sido o limite inferior do IHO e a aeração o limite superior, pois, observa-se aumento da Ds e redução da macroporosidade.

O tratamento T1, mesmo apresentando menor massa total que os demais tratamentos, promoveu redução do IHO em intensidade similar aos demais tratamentos. Este fato deve-se a pressão exercida pela colhedora de cana que foi acima da capacidade suportada por este tipo de solo, provocando aumento da Ds e a diminuição da porosidade de aeração. A θ_{RP} pode ser um indicativo do grau de compactação do solo (LIMA et al., 2012), uma vez que ocorre aumento da resistência do solo à penetração com o aumento da Ds, aliado ao aumento da coesão entre as partículas (TORMENA et al., 2007). Nessa condição, observam-se restrições ao crescimento das raízes (BERGAMIN et al., 2010a; BERGAMIN et al., 2010b).

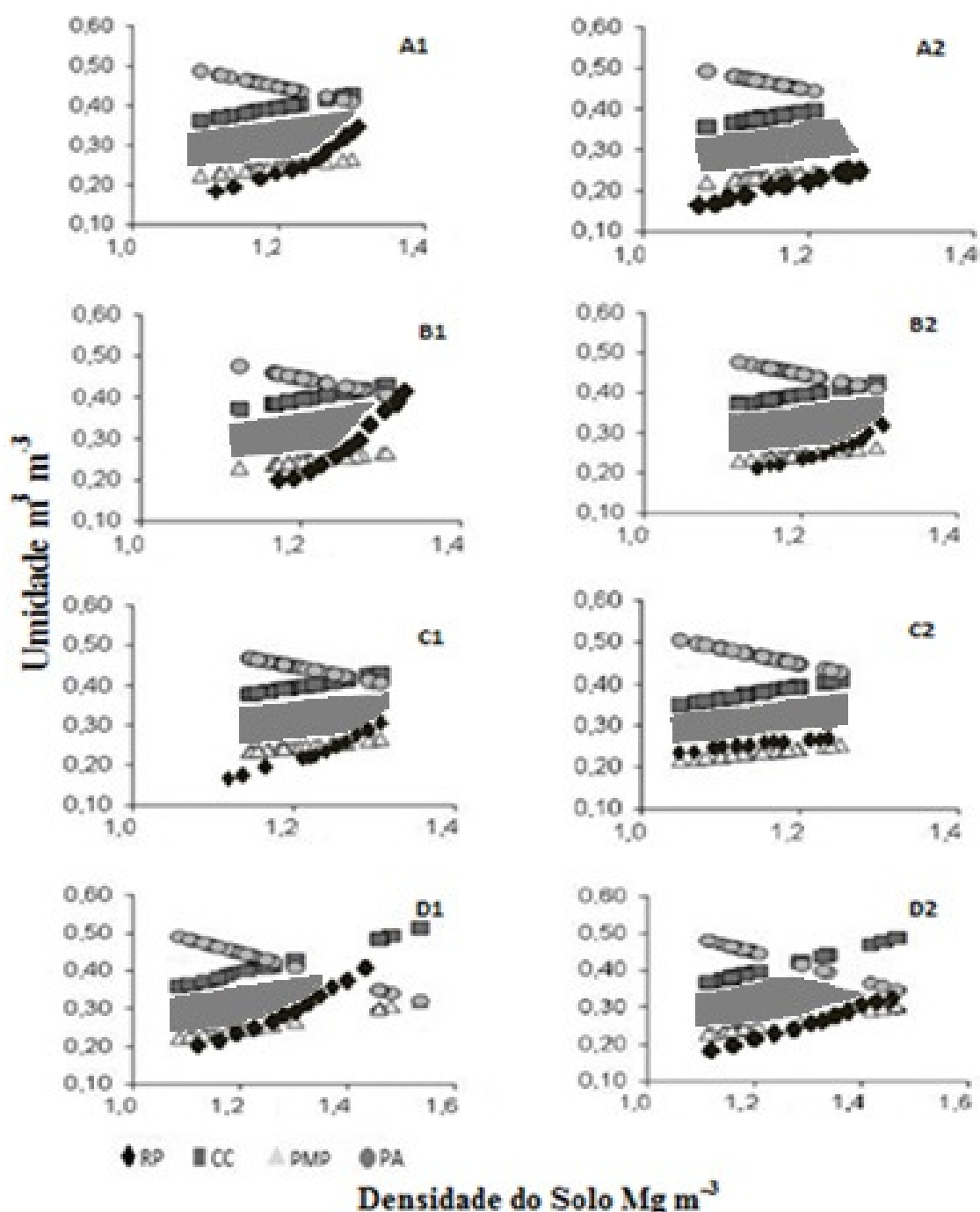


Figura 7. Variação do conteúdo de água na capacidade de campo (θ_{CC}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), porosidade de aeração de $0,10 \text{m}^3 \text{m}^{-3}$ (θ_{PA}) e resistência do solo a penetração de 2,0 MPa (θ_{RP}), em função da densidade de um Latossolo Vermelho distroférrico submetido aos diferentes tratamentos, (A1) T1 Colhedora na profundidade de 0,10 m e (A2) na profundidade de 0,20 m; (B1) T2 Colhedora mais trator acoplado com dois transbordos de 10,5 Mg cada na profundidade de 0,10 m e (B2) na profundidade de 0,20 m; (C1) T3 Colhedora mais trator acoplado com transbordo com capacidade de 22 Mg na profundidade de 0,10 m e (C2) na profundidade de 0,20 m e (D1)T4 Colhedora mais caminhão com dois transbordos com capacidade de 10 Mg cada na profundidade de 0,10 m e (D2) na profundidade de 0,20 m.

Em solos com qualidade física adequada, o IHO corresponde à água disponível, sendo o limite superior do IHO equivalente à capacidade de campo e o inferior, equivalente ao ponto de murcha permanente (KLEIN e CAMARA, 2007; CALONEGO et al., 2011). Entretanto, o IHO é diminuído quando a aeração substitui a capacidade de campo como seu limite superior e a resistência do solo à penetração substitui o ponto de murcha permanente como seu limite inferior (KLEIN e CAMARA, 2007; LIMA, 2011).

O tratamento T4, com massa menor que os tratamentos T2 e T3 promoveu os maiores valores de D_s e menores de porosidade de aeração. Este fato deve-se ao tipo de pneus utilizados no caminhão (T4), onde a pressão de inflação dos pneus tende a ser a pressão transmitida ao solo. Seraut (1990) estudou diferentes tipos de pneus com pressão de 0,08 e 0,16MPa, constatando que a pressão exercida na superfície do solo é semelhante à pressão de inflação do pneu e a pressão dentro do solo, a 0,30 m de profundidade, tem relação direta com aquela usada no pneu. Porterfield e Carpenter (1986), utilizando a pressão média de contato de um pneu em uma superfície rígida, encontraram que o nível de compactação superficial depende da pressão de contato, enquanto a compactação profunda depende da área de contato, largura do pneu e da carga suportada pelo mesmo.

Na profundidade de 0,10 m os tratamentos T2 e T4 apresentaram densidade crítica (D_{sc}) de 1,35 e 1,37 $Mg\ m^{-3}$, respectivamente e na profundidade de 0,20 m apenas o tratamento T4 apresentou D_{sc} igual a 1,51 $Mg\ m^{-3}$. Betioli Júnior et al. (2012), constataram que o aumento no grau de compactação, dados pela D_s , implica na redução do IHO. Para Severiano et al. (2011) quando o solo atinge o valor de densidade crítica (D_{sc}) dado pelo IHO, já está ocorrendo limitação à disponibilidade hídrica.

Bergamin et al. (2010a) afirmam que em consequência da compactação, há uma alteração estrutural do solo onde ocorre reorganização das partículas e de seus agregados, aumentando a D_s e reduzindo a macroporosidade, inibindo assim, o desenvolvimento radicular das plantas, podendo comprometer o rendimento das culturas.

Em solos compactados, valores de porosidade de aeração abaixo do nível considerado crítico ($0,10\ m^3\ m^{-3}$), são atingidos principalmente em solos com maiores teores de água (IMHOFF et al., 2001). Tanto a deficiência de oxigênio quanto a elevada resistência do solo à penetração (BEUTLER et al., 2004a) diminuem o crescimento e a efetividade das raízes, impactando negativamente a absorção de nutrientes e água.

Por esta razão, Silva et al. (1994) sugeriram o IHO como uma ferramenta mais sensível para as análises da estrutura do solo. Para Tormena et al. (1998) onde a θ_{RP}

apresenta-se como limite inferior do IHO observa-se restrições ao crescimento das raízes, isto é, camadas compactadas ou adensadas. Assim, a θ_{RP} pode ser um indicativo do grau de compactação ou adensamento do solo, uma vez que ocorre aumento da RP com o aumento da Ds (LIMA et al., 2009).

Desta forma o tratamento T4 e T2 apresentaram menor IHO, devido à redução da θ_{PA} e aumento da θ_{RP} enquanto os tratamentos T1 e T3, apesar de apresentarem diminuição da θ_{PA} e aumento da θ_{RP} não foram encontrados valores de Dsc, limitando o desenvolvimento das plantas.

A redução do IHO deve-se a massa dos equipamentos e seus tipos de pneus. A utilização de pneus de alta flutuação causa menor impacto, entretanto estas pressões são acima do que o solo suporta. Assim sugere-se que sejam utilizadas práticas que promovam o aumento do IHO após a colheita mecanizada de cana crua

CONCLUSÕES

Todos os tratamentos promoveram redução do IHO na profundidade de 0,10 m.

A colhedora e caminhão transbordo com dois compartimentos com capacidade de 10 Mg cada (T4) mesmo apresentando massa menor, provoca diminuição do IHO nas profundidades de 0,10 m e 0,20 m, apresentando Dsc de $1,37 \text{ Mg m}^{-3}$ e $1,51 \text{ Mg m}^{-3}$ respectivamente.

A colhedora mais dois transbordos com capacidade de 10 Mg cada T2 apresentou Dsc de $1,35 \text{ Mg m}^{-3}$ na profundidade de 0,10 m.

A colhedora e trator acoplado com transbordo com capacidade de 22 Mg (T3) promoveu menor redução no IHO e não apresentou Dsc nas duas profundidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distroférico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 28:337-345, 2004.
- BERGAMIN, A.C.; VITORINO, A.C.T.; FRANCHINI, J.C.; SOUZA, C.M.A.; SOUZA, F.R. Compactação em um Latossolo Vermelho distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.3, p.681-691, 2010a.
- BERGAMIN, A.C.; VITORINO, A.C.T.; LEMPP, B.; SOUZA, C.M.A.; SOUZA, F.R. Anatomia radicular de milho em solo compactado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.3, p.299-305, 2010b.
- BETIOLI JÚNIOR, E.; MOREIRA, W.E.; TORMENA, C.A.; FERREIRA, C.J.B.; SILVA, A.P.; GIAROLA, N.F.B. Intervalo hídrico ótimo e grau de compactação de um Latossolo vermelho após 30 anos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, p.971-982, 2012.
- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SILVA, A.P. Intervalo hídrico ótimo e a produção de soja e arroz em dois Latossolos. **Irriga**, Botucatu, v.9, n.2, p.181-192, 2004.
- BUSSCHER, W.J. Adjustment of that-tipped penetrometer resistance data to a common water content. **Transactions of the ASAE**, Michigan, v.33, n.2, p.519-524, 1990.
- BLAINSKI, E.; GONÇALVES, A.C.A.; TORMENA, C.A.; FOLEGATTI, M.V.; GUIMARÃES, R.M.L. Intervalo hídrico ótimo num Nitossolo Vermelho distroférico irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.2, p.273-281, 2009.
- BLAINSKI, E.; TORMENA, C.A.; GUIMARÃES, R.M.L; NANNI, M.R. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto influenciada pela cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.1, p.79-87, 2012.
- BRADFORD, J.M. Penetrability. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.463-478.
- CALONEGO, J.C.; BORGHI, E.; CRUSCIOL, C.A.C. Intervalo hídrico ótimo e compactação do solo com cultivo consorciado de milho e braquiária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.6, p.2183-2190, 2011.
- COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.11, p.1663-1674, 2006.
- DEXTER, A.R. Soil physical quality: Part II. Friability, tillage, tilth and hard-setting. **Geoderma**, New York, v.120, p.215-225, 2004.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa – CNPS. 1997. 212p.

GARBIATE, M.V.; VITORINO, A.C.T.; TOMASINI, B.A.; BERGAMIN, A.C.; PANACHUKI, E. Erosão em entre sulcos em área cultivada com cana crua e queimada sob colheita manual e mecanizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.6, p.2145-2155, 2011.

GRABLE, A.R.; SIEMER, E.G. Effects of bulk density aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.32, n.2, p.180-186, 1968.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; DIAS JUNIOR, M.S.; TORMENA, C.A. Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.11-18, 2001.

KAISER, D.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; COLLARES, G.L.; KUNZ, M. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um Latossolo sob diferentes níveis de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.4, p.845-855, 2009.

KERTZMAN, F.F. **Modificações na estrutura do solo e no comportamento de um Latossolo Roxo provocado pela compactação do solo**. São Paulo, Universidade de São Paulo, 1996. 176p. (Tese de Doutorado).

KLEIN, V.A.; CAMARA, R.K. Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho sob plantio direto escarificado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.2, p.221-227, 2007

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis - physical and mineralogical methods**. 2 ed. Madison: ASA – SSSA, 1986, p.635-662.

LEÃO, T.P.; SILVA, A.P.; MACEDO, M.C.M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V.P.B. Least limiting water range: A potential indicator of changes in near-surface soil physical quality after the conversion of Brazilian Savanna into pasture. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.88, p.279-285, 2006.

LIMA, V.M.P. **Melhoria estrutural de Latossolo: indicadores de qualidade e estratégias de manejo**. 2011. 108 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG.

LIMA, V.M.P.; OLIVEIRA, G.C.; SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, L.F.C. Intervalo hídrico ótimo e porosidade de solos cultivados em área de proteção ambiental do sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.5, p.1087-1095, 2009.

LIMA, V.M.P.; OLIVEIRA, G.C.; SERAFIM, M.E.; CURI, N.; EVANGELISTA, A.R. Intervalo hídrico ótimo como indicador de melhoria da qualidade estrutural de Latossolo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.1, p.71-78, 2012.

PACHECO, E.P.; CANTALICE, J.R.B. Compressibilidade, resitência a penetração e intervalo hídrico ótimo de um Argissolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar nos

tabuleiros costeiros de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, p.403-415, 2011.

PANKHURST, C.E.; MAGAREY, R.C.; STIRLING, G.R. BLAIR, B.L.; BELL, M.J.; GARSIDE, A.L. Management practices to improve soil health and reduce the effects of detrimental soil biota associated with yield decline of sugarcane in Queensland, Australia. **Soil and Tillage Research**, v.72, p.125-137, 2003

PEIXOTO, P.P.P. **Bases para aproveitamento e gerenciamento de recursos hídricos na região de Dourados-MS**. 2002. 98 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP.

PORTERFIELD, J.W; CARPENTER, T.G. Soil compaction: an index of potential compaction for agricultural tires. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.29, n.4, p.917-22, 1986.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, n.13, p.211-216, 1988.

ROQUE, A.A.O.; SOUZA, Z.M.; ARAUJO, F.S.; SILVA, G.R.V. Atributos físicos do solo e intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distrófico sob controle de tráfego agrícola. **Ciência Rural**, Santa Maria v.41, n.9, set, 2011.

ROSS, P.J.; WILLIAMS, J.; BRISTOW, K.L. Equations for extending water-retention curves to dryness. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.55, n.4, p.923-927, 1991.

SANTOS, G.A.; DIAS JUNIOR, M.S.; GUIMARÃES, P.T.G.; PAIS, P.S.M. Suscetibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes métodos de controle de plantas invasoras na cultura cafeeira. **Coffee Science**, Lavras, v.5, n.2, p.123-136, 2010.

SAVAGE, M.J.; RITCHIE, J.T.; LAND, W.L.; DUGAS, W.A. Lower limit of soil water available. **Agronomy Journal**, Madison, v.88, n.5, p.844-851, 1996.

SERAFIM, M.E.; VITORINO, A.C.T.; PEIXOTO, P.P.P.; SOUZA, C.M.A.; CARVALHO, D.F. Intervalo hídrico ótimo em um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes sistemas de produção. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.4, p.654-665, 2008a.

SERAFIM, M.E.; VITORINO, A.C.T.; SOUZA, C.M.A.; PRADO, E.D.; VENTURIN, J.C.; YAMAMOTO, N.T. Desenvolvimento de um penetrógrafo eletromecânico de bancada. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, La Habana, v.17, n.1, p.61-65, 2008b.

SERAUT, A. Le pneumatique basse pression. **Bulletim Tech**. March. Equip. Agric. CEMAGREF. Parc de Tourvoie, Antony, n.50, p.33-37, 1990.

SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; OLIVEIRA, L.F.C.; CASTRO, M.B. 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, 32:1419-1427, 2008.

SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, G.C.; CURTI, N.; DIAS JUNIOR, M. Potencial de uso e qualidade estrutural de dois solos cultivados com cana-de-açúcar em Goianésia (GO). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.1, p.159-168, 2009.

SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, G.C.; DIAS JÚNIOR, M.S.; COSTA K.A.P.; SILVA, F.G.; FERREIRA FILHO, S.M. Structural changes in Latosols of the cerrado region: I – relationships between soil physical properties and least limiting water range. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.1, p.773-782, 2011.

SILVA, A.P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n.6, p.1775-1781, 1994.

SINGH, B.; MALHI, S.S. Response of soil physical properties to tillage and residue management on two soils in a cool temperate environment. **Soil and Tillage Research**, v.85, p.143-153, 2006.

SOUZA, Z.M.; BEUTLER, A.N.; PRADO, R.M.; BENTO, M.J.C. Efeito de sistemas de colheita de cana-de-açúcar nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho. **Científica**, Jaboticabal, v.34, n.1, p. 31-38, 2006.

SOUZA, G.S.; SOUZA, Z.M.; SILVA, R.B.; ARAÚJO, F.S.; BARBOSA, R.S. Compressibilidade do solo e sistema radicular da cana-de-açúcar em manejo com e sem controle de tráfego. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.4, p.603-612, 2012.

STONE, L. F.; P. M. DA SILVEIRA. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.2, p.395-401, 2001.

STATSOFT, **Iniciação Statística** (Data Analysis Software System), Version 7, 2007.

TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M.; PARKER JR., J.J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, Baltimore, v.102, n.1, p.18-22, 1966.

TOMASINI, B.A.; VITORINO, A.C.T.; GARBIATE, M.V.; SOUZA, C.M.A.; ALVES SOBRINHO, T. Infiltração de água no solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar sob diferentes sistemas de colheita e modelos de ajustes de equações de infiltração. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.6, p.1060-1070, 2010.

TORMENA, C.A.; ARAÚJO, M.A.; FIDALSKI, J.; COSTA, J.M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.2, p.211-219, 2007.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G.; SÁ, J.C. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciado por calagem preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.22, n.2, p.301-309, 1998.

UNICA, **União das Indústrias de Cana - de - Açúcar**. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/listagem.php?idMn=81.html>>. Acesso em: Abril de 2014

ARTIGO 2

CAPACIDADE DE SUPORTE DE CARGA DE UM LATOSSOLO SOB COLHEITA MECANIZADA DE CANA CRUA COM DIFERENTES TRANSBORDOS

RESUMO

A mecanização em lavouras de cana-de-açúcar é necessária para acelerar o ritmo de produção e melhorar os rendimentos operacionais. Porém, em condições inadequadas de umidade no solo o tráfego de máquinas pode resultar na compactação do solo. Assim objetivou-se com este trabalho avaliar a capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho distroférico sob colheita mecanizada de cana crua com diferentes transbordos. O estudo foi realizado na área da Fazenda Dallas no município de Ponta Porã - MS, no ano agrícola de 2012/13. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com cinco repetições. Os tratamentos utilizados foram colheita de cana crua com: T1 - colhedora sem transbordo; T2 - colhedora mais dois transbordos com capacidade de 10 Mg cada; T3 - colhedora e transbordo com capacidade de 20 Mg; T4 colhedora e caminhão transbordo com dois compartimentos com capacidade de 10 Mg cada. Cada unidade experimental recebeu duas passadas da colhedora e duas passadas dos rodados dos transbordos. As amostras de solo foram coletadas a 0,40 m da linha de cultivo. Exceto o T1, os demais tratamentos estavam carregados com 20 Mg de cana crua. Amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas em cilindros, centralizados nas profundidades de 0,10 e 0,20 m para determinação da capacidade de suporte de carga. O T4 - colhedora mais caminhão transbordo, na profundidade de 0,10 m, apresentou maior capacidade de suporte de carga no solo, seguido do T3, T2 e T1. Na profundidade de 0,20 m novamente o T4 apresentou maior capacidade de suporte de carga no solo seguido dos tratamentos T2, T3 e T1. O T4 aumenta a capacidade de suporte de carga no solo de maneira mais expressiva sobre os demais tratamentos na profundidade de 0,20 m.

Palavras-chave: pressão de preconsolidação, compressibilidade, compactação do solo, tráfego de máquinas.

LOAD BEARING CAPACITY OF OXISOL IN HARVESTING OF CANE SUGAR RAW WITH DIFFERENT TRANSHIPMENTS

ABSTRACT

The mechanization of farming cane sugar is needed to accelerate the pace of production and improve operating income. But in inadequate soil moisture machinery traffic may result in soil compaction. Thus the objective of this work is to evaluate the ability to support load an Oxisol under mechanical harvesting of sugarcane with different transshipments. The study was conducted in the area of Finance Dallas in Ponta Porã - MS in crop year 2012/13. The experimental design was randomized blocks with five replications. The treatments were harvesting green cane with: T1 - harvester without transshipment; T2 - combine two transshipments capacity of 10 Mg each; T3 - harvester and transshipment capacity of 20 Mg; T4 harvester and truck transshipment with two compartments with a capacity of 10 Mg each. Each experimental unit received two of the harvester and two passes of the wheel sets of transshipments. Soil samples were collected at 0.40 m in row. Except T1, the other treatments were loaded with 20 Mg of sugarcane. Soil samples were collected with preserved structure in cylinders, centered at depths of 0.10 and 0.20 m to determine the load-bearing capacity. T4 - more harvester truck transshipment at a depth of 0.10 m, showed greater load-bearing capacity in the soil, followed by T3, T2 and T1. In 0.20m T4 again showed higher load-bearing capacity in soil followed by treatments T2, T3 and T1. The T4 increases the load bearing capacity of the soil expressively over other treatments at 0.20m.

Keywords: preconsolidation pressure, compressibility, compaction, porosity

INTRODUÇÃO

A necessidade por fontes alternativas de energia coloca o Brasil em posição de destaque em relação à produção de etanol, em razão das condições edafoclimáticas favoráveis ao cultivo da cana-de-açúcar, o que tem levado à significativa expansão dessa cultura em diferentes regiões geográficas (STONE e SILVEIRA, 2001; SEVERIANO et al., 2009).

Grande parte dessas novas áreas incluídas no sistema produtivo da cana - de - açúcar estão sendo exploradas sob sistema de intensa mecanização, fato que provoca modificações na estrutura do solo em virtude do tráfego de máquinas (BERGAMIN et al. 2010a; SANTOS et al., 2010) e do uso frequente de equipamentos agrícolas (SOUZA et al., 2012) em solo com umidade elevada (OLIVEIRA et al., 2004;SAFFIH-HDADI et al., 2009), o que pode ser avaliado por meio da compressibilidade do solo, a qual depende do histórico de tensão, umidade, textura e densidade inicial do solo, sendo que, para uma mesma condição, é o teor de água que influencia na deformação que poderá ocorrer no solo(BRAIDA et al., 2006).

Avaliando a compressibilidade em Argissolo Vermelho-Amarelo, Carpenedo (1994), verificou valores mais elevados da pressão de preconsolidação nos solos sob semeadura direta com aveia/milho que em preparo convencional. Segundo o autor, a grande adição de resíduos e os maiores teores de matéria orgânica do solo, associados à ausência de revolvimento nesse sistema de manejo, melhoram a estrutura do solo, conferindo lhe maior resistência às pressões externas, principalmente em baixos conteúdos de água.

Os sistemas de manejo podem promover um arranjo mais compacto das partículas primárias e agregados decorrente da compactação, o que pode resultar num novo estado de resistência do solo às pressões externas (GUPTA et al., 1989), refletindo em sua capacidade de suporte de carga (CSC). Embora o preparo do solo alivie a compactação presente na camada superficial, esta pode permanecer na forma de aumento da densidade dos agregados, o que resulta em alterações na resistência dos mesmos à ruptura (VOORHEES et al., 1978).

Para avaliar a CSC, o ensaio de compressão uniaxial tem sido utilizado para obter a pressão de preconsolidação (σ_p) a partir da curva de compressão (DIAS JUNIOR, 1994; MIRANDA et al., 2003; SANTOS, 2006). Esses modelos de CSC são importantes, pois

indicam a máxima pressão que o solo suporta em diferentes umidades sem causar compactação adicional (SUZUKI et al., 2008; SILVA et al., 2009).

Portanto, o manejo adequado de cada sistema de cultivo, inclui o entendimento de todos os fatores que promovem alterações na qualidade do ambiente de produção. Nesse sentido, o estudo das alterações promovidas na qualidade estrutural do solo, expressas pela CSC merecem atenção e análise. Neste contexto, objetivou-se com este estudo avaliar o efeito dos diferentes transbordos utilizados na colheita mecanizada de cana crua na capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho distroférico muito argiloso.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em área de cultivo comercial de cana-de-açúcar no município de Ponta Porã - MS, no ano agrícola de 2012/2013. O local situa-se em latitude 22° 24 '58"S, longitude 55° 05' 30" W e altitude de 410 m. O clima é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen. A região apresenta precipitação pluvial média anual de 1.400 mm e as temperaturas médias anual variam de 18°C a 25°C nos meses mais frio e mais quente, respectivamente (PEIXOTO, 2002). O solo na área do experimento foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico, cuja textura, determinada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997) foi 601 g kg⁻¹ de argila, 219 g kg⁻¹ de silte e 180 g kg⁻¹ de areia.

O delineamento experimental foi de blocos casualizados com cinco repetições. A área foi preparada para o plantio de cana – de – açúcar com gradagem pesada com discos de 34” recortados, subsolagem com subsolador canavieiro à profundidade de 0,45 m e gradagem média com discos de 28” recortados. O plantio de cana-de-açúcar foi realizado em abril de 2012, sendo totalmente mecanizado, correspondente com a primeira colheita (cana planta ou primeiro corte), ocorrida em 2013. A variedade plantada foi RB 85 5156, de ciclo super precoce.

Os tratamentos foram: T1 Colhedora; T2 Colhedora mais trator acoplado com dois transbordos de 10,5 Mg cada; T3 Colhedora mais trator acoplado com transbordo com capacidade de 22 Mg e T4 Colhedora mais caminhão com dois transbordos com capacidade de 10 Mg cada. Exceto no T1 nos demais tratamentos os equipamentos de transporte da cana colhida estavam carregados com 20 Mg de cana-de-açúcar.

A colhedora de cana-de-açúcar utilizada no experimento foi a de modelo 3520, com 335cv de potência bruta e 17 Mg de massa, distribuídos em duas esteiras. Um dos transbordos, com massa de 8,0 Mg cada compartimento, distribuídos em quatro pneus de alta flutuação modelo 600/50-22,5 com pressão de inflação de 0,38 MPa, com capacidade para carregar até 10Mg de cana-de-açúcar, sendo dois transbordos acoplados ao trator. O outro transbordo com massa média de 12,5 Mg distribuídos em oito pneus sendo quatro pneus dianteiros modelo 550/45-22,5 com pressão de inflação de 0,29 MPa e os quatro

pneus traseiros modelo 600/50-22,5 com pressão de inflação de 0,38 MPa, sendo considerado de alta flutuação.

O trator utilizado na tração dos transbordos, modelo 6180J, com 180 cv de potência, com 10,3 Mg de massa, distribuídos em dois pneus dianteiros 16,9R28 com pressão de inflação de 0,14 MPa e dois pneus traseiros 650/75R32 com pressão de inflação de 0,12 MPa.

O caminhão utilizado foi o modelo 2628 com massa de 17 Mg distribuídos em dez pneus de baixa flutuação modelo 1000/R20 com pressão de inflação de 0,76 MPa com dois transbordos com capacidade de 10 Mg cada.

Após a colheita da cana-de-açúcar e com os respectivos tráfegos nos tratamentos foram abertas trincheiras distanciadas a 0,40 m da linha da cana-de-açúcar onde foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada em cilindros metálicos com 0,0645 m de diâmetro e 0,0254 m de altura, centralizados nas profundidades de 0,10 e 0,20 m. Em cada parcela e profundidade foram coletadas sete amostras, totalizando 70 amostras para cada tratamento (35 amostras em cada profundidade).

Após a coleta das amostras com estrutura preservada, foi colocado nos anéis um telado poroso com elástico para manter o solo no anel preservado. Em seguida as amostras foram submetidas à saturação por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingirem cerca de dois terços da altura do anel para posterior estabilização do teor de água. As amostras de cada tratamento e profundidade foram divididas em sete grupos de cinco amostras, sendo cada grupo submetido aos seguintes potenciais matriciais: -0,006; -0,01; -0,033; -0,066; -0,1; -0,3 e -1,5 MPa, utilizando mesa de tensão (-0,006 MPa) e câmara de Richards para os demais potenciais, conforme Klute (1986). Macroporos foram estimados como a diferença entre o conteúdo de água no solo saturado e o conteúdo de água no solo após a aplicação da tensão de 0,006 MPa, como proposto em Embrapa (1997).

Quando as amostras atingiram o equilíbrio nos referidos potenciais, estas foram levadas para o consolidômetro automático, modelo CNTA-IHM/BR-001/07, para o ensaio de compressão uniaxial de acordo com Bowles (1986) e modificado por Dias Junior (1994). As pressões crescentes aplicadas a cada amostra foram: 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1.600 kPa, sendo cada uma aplicada até que 90% da deformação máxima fosse alcançada (TAYLOR, 1948). Após cada ensaio de compressão uniaxial, as amostras foram levadas à estufa a 105-110 °C por 48 horas, para determinar a umidade volumétrica e a densidade do solo pelo método do anel volumétrico, conforme Embrapa (1997).

A curva de compressão do solo foi obtida plotando-se as pressões aplicadas no eixo das abscissas versus a densidade do solo obtida ao final de cada estágio de aplicação de cada pressão, no eixo das ordenadas, sendo determinada a pressão de preconsolidação (σ_p) para cada amostra, utilizando-se o método proposto por Dias Junior e Pierce (1995). A seguir, as σ_p com os valores de umidade volumétrica (θ) foram ajustadas uma regressão exponencial decrescente do tipo [$\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$], proposto por Dias Junior (1994), determinando-se os modelos de capacidade de suporte de carga do solo (CSC). As letras “a” e “b” representam os parâmetros empíricos de ajuste do modelo, ou seja, o coeficiente linear e angular, respectivamente.

As comparações entre os modelos foram feitas utilizando o teste de homogeneidade de modelos lineares descrito em Snedecor e Cochran (1989). Para obtenção dos modelos lineares a partir do modelo exponencial [$\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$], aplicou-se o logaritmo nos valores de pressão de preconsolidação, resultando em uma equação do tipo $\log \sigma_p = a + b\theta$. O teste de homogeneidade de modelos lineares considera dois modelos, e estes são comparados pela análise do intercepto “a”, do coeficiente angular “b” e homogeneidade dos dados (F).

As curvas ajustadas de capacidade de suporte de cargas apresentaram coeficientes de determinação (R^2) que foram submetidos ao teste F de acordo com Blainski et al. (2009) e Blainski et al. (2012).

Os resultados referentes aos atributos físicos densidade do solo e macroporosidade, foram submetidos à análise de variância e, quando significativa, foi aplicado o teste de Tukey a 5 %, para comparação de médias.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O uso de transbordo na colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua promoveu alterações nos atributos físicos do solo principalmente na densidade do solo e macroporosidade nas duas profundidades analisadas (Quadro 1). Observou-se nos tratamentos T2, T3 e T4 um aumento na densidade do solo e diminuição da macroporosidade nas duas profundidades estudadas, em relação ao T1, Isso representa o efeito adicional dos transbordos no sistema de manejo adotado, uma vez que os demais tratamentos diferenciaram do T1 exatamente por possuírem algum sistema de transbordo acoplado. Maiores densidades do solo aumentam a aproximação das partículas sólidas e o atrito interno entre as mesmas, aumentando os valores de compressibilidade do solo (BERGAMIN et al. 2010; ARAUJO-JUNIOR et al., 2011; PACHECO e CANTALICE, 2011; SOUZA et al., 2012), o que também pode ser observado neste estudo.

QUADRO 1. Valores de densidade do solo (Ds) e macroporosidade (Macro) nos tratamentos e profundidades em um Latossolo Vermelho distroférico submetido à colheita mecanizada de cana crua.

Tratamentos ⁽¹⁾	0,10 m		0,20 m	
	Ds (Mg m ⁻³)	Macro (m ³ m ⁻³)	Ds (Mg m ⁻³)	Macro (m ³ m ⁻³)
T1	1,17 A	0,0825 A	1,13 A	0,0881 A
T2	1,25 B	0,0533 B	1,18 B	0,0653 B
T3	1,22 B	0,0542 B	1,17 B	0,0607 B
T4	1,25 B	0,0548 B	1,18 B	0,0637 B
CV%	3,67	20,45	2,89	15,34

T1 Colhedora; T2 Colhedora mais trator acoplado com dois transbordos de 10,5 Mg cada; T3 Colhedora mais trator acoplado com transbordo com capacidade de 22 Mg e T4 Colhedora mais caminhão com dois transbordos com capacidade de 10 Mg cada. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Na profundidade de 0,20 m os valores da densidade do solo foram menores do que na profundidade de 0,10 m e houve aumento na macroporosidade. Pode-se dizer que este aumento da densidade do solo e a redução da macroporosidade nas duas profundidades nos tratamentos T2, T3 e T4 devem-se a massa dos equipamentos utilizados que foram transferidas para o solo, sendo que o T4 mesmo tendo uma massa menor do que T2 e T3 apresentou aumento da densidade e redução da macroporosidade devido ao tipo de pneus utilizado por este equipamento e pressão de inflação. Para Bergamin et al. (2010) e Garbiate

et al. (2011), a compactação traz conseqüências negativas aos atributos físicos do solo, aumentando a densidade e reduzindo a macroporosidade.

Todas as curvas ajustadas dos modelos de CSC apresentaram coeficientes de determinação (R^2) significativos a 1 % pelo teste F (Quadro 2). O intervalo de confiança dos coeficientes do ajuste dos modelos de CSC não inclui o valor igual a zero, possibilitando afirmar que estes foram estatisticamente significativos ($p < 0,01$) (Quadro 2), como descrito por Blainski et al. (2009) e Blainski et al. (2012).

QUADRO 2. Estimativas dos coeficientes “a” e “b” dos modelos de capacidade de suporte de carga do solo [$\sigma_p = 10^{(a+bt)}$], com respectivos coeficientes de determinação (R^2) e número de amostras (n), coletadas em duas profundidades de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido à colheita mecanizada de cana crua com diferentes transbordos.

Tratamentos	a			b			R^2	n
	Valor estimado	Intervalo de confiança		Valor estimado	Intervalo de confiança			
		Li	Ls		Li	Ls		
0,10 m								
T1	3,38	3,23	3,53	-1,86	-2,01	-1,71	0,79**	35
T2	3,39	3,27	3,51	-2,11	-2,57	-1,65	0,82**	35
T3	3,39	3,26	3,53	-2,14	-2,64	-1,63	0,85**	35
T4	3,44	3,32	3,57	-2,20	-2,63	-1,76	0,78**	35
0,20 m								
T1	3,32	3,18	3,48	-1,89	-2,18	-1,60	0,81**	35
T2	3,31	3,15	3,47	-1,83	-2,10	-1,56	0,87**	35
T3	3,32	3,19	3,45	-1,83	-2,09	-1,55	0,80**	35
T4	3,34	3,20	3,49	-1,84	-2,19	-1,50	0,79**	35

T1 Colhedora; T2 Colhedora mais trator acoplado com dois transbordos de 10,5 Mg cada; T3 Colhedora mais trator acoplado com transbordo com capacidade de 22 Mg e T4 Colhedora mais caminhão com dois transbordos com capacidade de 10 Mg cada. Li e Ls: limite inferior e superior do intervalo de confiança 95 %, respectivamente; **: significativo pelo teste “F” a 1 %.

De acordo com Pacheco e Cantalice (2011), quando os modelos de CSC apresentam menor diferença entre os valores do coeficiente linear e angular, ocorre uma menor amplitude da σ_p durante as variações de umidade do solo ou menor inclinação das curvas dos modelos de CSC.

Os valores dos parâmetros estimados “a” e “b” dos modelos de CSC [$\sigma_p = 10^{(a+bt)}$], nas duas profundidades, variaram de 3,31 (T2) a 3,44 (T4) e -2,20 (T4) a -1,83 (T2 e T3), respectivamente (Quadro 2). Os coeficientes de determinação (R^2) dos modelos de CSC variaram de 0,78 a 0,87.

Para avaliar as possíveis alterações da estrutura do solo causadas pelos diferentes tratamentos, os modelos de CSC foram comparados utilizando o teste de homogeneidade de modelos lineares (SNEDECOR e COCHRAN, 1989) nas diferentes profundidades, dentro de cada tratamento (Quadro 3). Os modelos de CSC para as profundidades de 0,10 m e 0,20 m foram não homogêneos; em razão disso, essas profundidades apresentaram CSC diferentes (Quadro 3).

QUADRO 3. Teste de significância de acordo com Snedecor e Cochran (1989) entre os modelos de capacidade de suporte de carga [$\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$] das profundidades de 0,10 e 0,20 m de um Latossolo Vermelho distroférico, sob colheita mecanizada de cana crua com diferentes transbordos.

Tratamentos	Profundidades (m)	F	F	F
			Coeficiente angular, b	Coeficiente linear, a
T1	0,10 vs 0,20	NH	ns	*
T2	0,10 vs 0,20	NH	ns	ns
T3	0,10 vs 0,20	NH	*	*
T4	0,10 vs 0,20	NH	ns	ns

T1 Colhedora; T2 Colhedora mais trator acoplado com dois transbordos de 10,5 Mg cada; T3 Colhedora mais trator acoplado com transbordo com capacidade de 22 Mg e T4 Colhedora mais caminhão com dois transbordos com capacidade de 10 Mg cada. F: testa a homogeneidade dos dados; b: coeficiente angular da regressão linearizada; a: intercepto da regressão linearizada;; NH: não homogêneo; ns: não significativo; significativo 5 %.

No Quadro 4 encontra-se o resumo da análise estatística de comparações dos modelos de CSC para os diferentes tratamentos, nas profundidades 0,10 e 0,20 m respectivamente. Os diferentes tipos de transbordos interferiram significativamente nos modelos de CSC, com base no teste F de homogeneidade de dados de Snedecor e Cochran (1989), nas duas profundidades (Quadro 4).

Observa-se que a CSC do solo na profundidade de 0,10 m segue a seguinte ordem decrescente de σ_p para uma mesma umidade: T4, T3, T2.

Em todos os modelos de CSC nos diferentes tratamentos, observa-se que a σ_p variou significativa e inversamente com a θ (Figuras 2 e 3). Isso ocorre porque a água atua como lubrificante no solo e reduz o atrito interno entre as partículas e a resistência do solo ao cisalhamento (PACHECO e CANTALICE, 2011), permitindo maior acomodação das partículas do solo no processo de compressibilidade (LIMA et al., 2006; SILVA et al., 2009). Este decréscimo exponencial da σ_p com o aumento da θ (Figuras 2 e 3), seguindo o modelo de compressibilidade do solo proposto por Dias Junior (1994) e aplicado por

diversos autores (DEBIASE et al., 2008; ARAUJOJUNIOR et al., 2011; PAIS et al., 2011; PIRES et al., 2012 e SOUZA et al., 2012).

QUADRO 4. Teste de significância de acordo com Snedecor e Cochran (1989) entre os modelos de capacidade de suporte de carga [$\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$] de um Latossolo Vermelho distroférico, nas profundidades de 0,10 e 0,20 m, sob colheita mecanizada de cana crua com diferentes transbordos.

Tratamentos	F	F	
		Coeficiente angular, b	Coeficiente linear, a
0,10 m			
T1 vs T2	NH	ns	*
T1 vs T3	NH	*	*
T1 vs T4	NH	ns	*
T2 vs T3	NH	*	ns
T2 vs T4	NH	ns	ns
T3 vs T4	NH	*	*
0,20 m			
T1 vs T2	NH	ns	*
T1 vs T3	NH	**	*
T1 vs T4	NH	ns	*
T2 vs T3	NH	*	*
T2 vs T4	NH	ns	*
T3 vs T4	NH	*	ns

T1 Colhedora; T2 Colhedora mais trator acoplado com dois transbordos de 10,5 Mg cada; T3 Colhedora mais trator acoplado com transbordo com capacidade de 22 Mg e T4 Colhedora mais caminhão com dois transbordos com capacidade de 10 Mg cada; F: testa a homogeneidade dos dados; b: coeficiente angular da regressão linearizada; a: intercepto da regressão linearizada; NH: não homogêneo; ns: não significativo; ** e * significativo a 1 e 5 %, respectivamente.

Esses resultados reforçam as recomendações de Oliveira et al. (2004) e Ajayi et al. (2009), de que as operações mecanizadas devem ser realizadas com base na CSC, pois em condições de elevados teores de água no solo, a sustentabilidade agrícola e ambiental pode ser colocada em risco, por comprometer a qualidade estrutural do solo. Salienta-se, ainda, que, fixando-se um mesmo teor de água no solo, os menores valores de σ_p são indicativos de solos mais porosos (LIMA, 2011).

Para Araujo-Junior et al. (2011) na camada mais superficial do solo há maior conteúdo de carbono orgânico no solo que proporciona maior elasticidade ao solo. Para os autores, com a liberação das tensões, o solo com maior conteúdo de carbono orgânico tende

a ter maior resiliência ou recuperação da estrutura, refletindo em menor resistência mecânica avaliada pelos modelos de CSC.

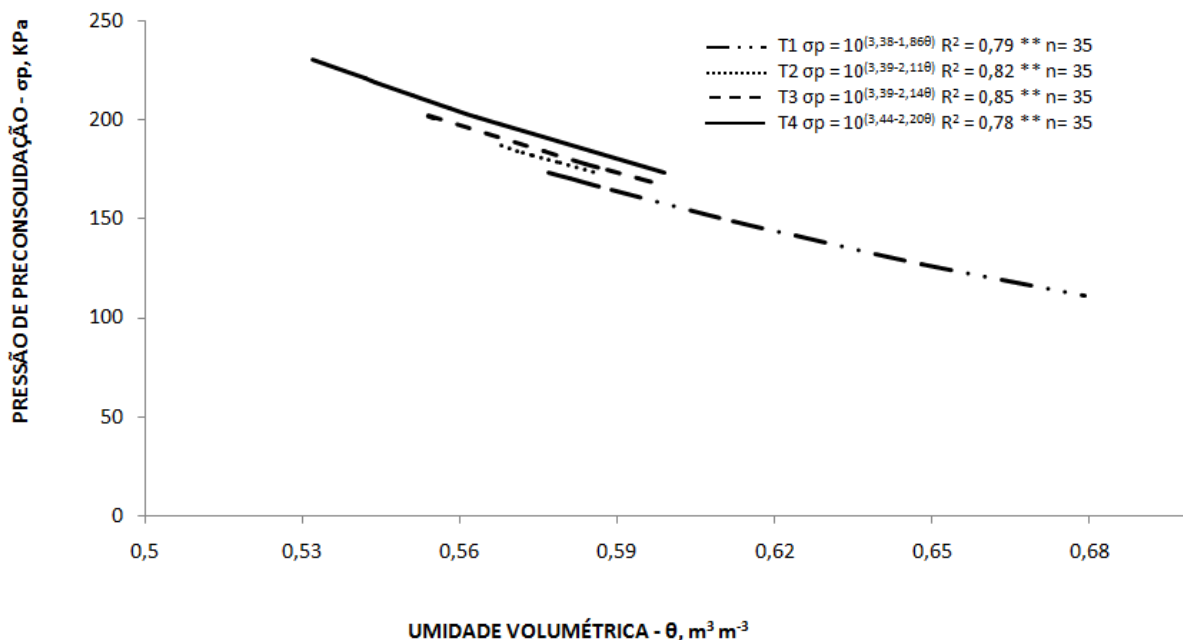


FIGURA 2. Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico, na profundidade de 0,10 m, submetido à colheita mecanizada de cana crua com diferentes tipos de transbordos. . T1 Colhedora; T2 Colhedora mais trator acoplado com dois transbordos de 10,5 Mg cada; T3 Colhedora mais trator acoplado com transbordo com capacidade de 22 Mg e T4 Colhedora mais caminhão com dois transbordos com capacidade de 10 Mg cada.

Na profundidade de 0,10 (Figura 2) a CSC dos tratamentos ficam bem próximas, podemos dizer que a pressão exercida pela colhedora foi acima da capacidade de suporte de carga que o solo apresenta, e assim os transbordos dos tratamentos T2, T3 e T4 não agregaram valores mais expressivos na pressão de preconsolidação.

Segundo Souza et al. (2012) as operações mecanizadas em lavouras podem resultar na compactação do solo, com efeitos danosos à qualidade física. Mas o conhecimento prévio destes efeitos pode minimizar os danos, uma vez que não há outro mecanismo que gere maior produtividade de colheita que a mecanização.

Na profundidade de 0,20 m a CSC segue a seguinte ordem decrescente de σ_p para uma mesma umidade: T4, T2, T3 e T1. O tratamento T4 apresentou maior pressão de preconsolidação nesta profundidade. Este fato deve-se ao tipo de pneus utilizado por este equipamento, sendo a pressão de inflação a pressão transmitida ao solo. SERAUT (1990)

estudou diferentes tipos de pneus com pressão de 0,08 e 0,16 MPa e constatou que a pressão na superfície do solo é semelhante à pressão de inflação do pneu e a pressão dentro do solo, a 0,30 m, tem relação direta com aquela usada no pneu. Porterfield e Carpenter (1986), utilizando a pressão média de contato de um pneu em uma superfície rígida, encontraram que o nível de compactação superficial depende da pressão de contato, enquanto a compactação profunda depende da área de contato, largura do pneu e da carga suportada pelo mesmo.

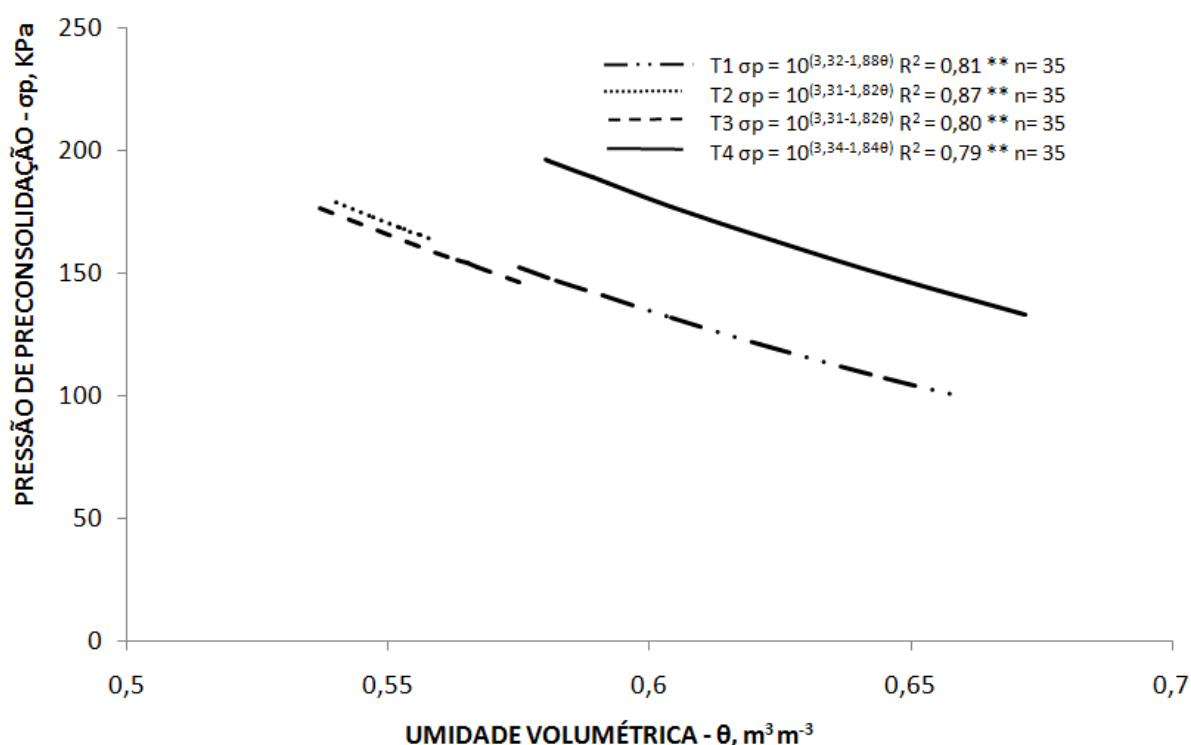


FIGURA 3. Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico, na profundidade de 0,20 m, submetido à colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua com diferentes tipos de transbordos. Modelos não se diferenciaram estatisticamente pelo teste de Snedecor e Cochran (1989), sendo, uma única equação ajustada. T1 Colhedora; T2 Colhedora mais trator acoplado com dois transbordos de 10,5 Mg cada; T3 Colhedora mais trator acoplado com transbordo com capacidade de 22 Mg e T4 Colhedora mais caminhão com dois transbordos com capacidade de 10 Mg cada.

A compactação ocasionada pelo tráfego de máquinas agrícolas é a principal causa da degradação física dos solos pela redução de seu espaço poroso (CARNEIRO et al., 2009) e aumento da pressão de preconsolidação (SILVA et al., 2009).

O conhecimento da CSC é fundamental para determinação das condições de umidades mais adequadas para execução das atividades agrícolas. Quando houver necessidade de executar atividades com a umidade no solo elevada ou mesmo utilizar equipamentos que exercem uma pressão acima da pressão de preconsolidação, posteriormente torna-se necessária a utilização de práticas que promovam a redução da densidade do solo com conseqüente redução da CSC.

CONCLUSÕES

1. A, Colhedora acompanhada do caminhão com dois transbordos com capacidade de 10 Mg cada, mesmo apresentando massa menor que os demais tratamentos promoveu maior CSC nas profundidades de 0,10 e 0,20 m
2. O T4 apresentou maior CSC na profundidade de 0,20 m devido ao tipo de pneus que utiliza.
3. Não houve diferença do T1 para o T2 e T3.
4. O conhecimento da CSC é fundamental para decisão de quais equipamentos utilizar, de acordo com a umidade do solo e época do ano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

AJAYI, A. E.; DIAS JUNIOR, M. S.; CURI, N.; ARAUJO JUNIOR, C.F.; SOUZA, T.T.T.; VASCONCELOS JUNIOR, A.I. Strength attributes and compaction susceptibility of Brazilian Latosols. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v.105, p.122-127, 2009.

ARAUJO–JUNIOR, C.F.; DIAS JUNIOR, M.S.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALCÂNTARA, E.N. Capacidade de suporte de carga e umidade crítica de um Latossolo induzida por diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, p.115-131, 2011.

BERGAMIN, A.C. **Indicadores da qualidade estrutural de um Latossolo cultivado com oleaginosas em sistema de sucessão com soja e milho**. 2012. 129 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

BERGAMIN, A.C.; VITORINO, A.C.T.; FRANCHINI, J.C.; SOUZA, C.M.A.; SOUZA, F.R. Compactação em um Latossolo Vermelho distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.3, p.681-691, 2010.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SILVA, A.P. Intervalo hídrico ótimo e a produção de soja e arroz em dois Latossolos. **Irriga**, Botucatu, v.9, n.2, p.181-192, 2004.

BLAINSKI, E.; GONÇALVES, A.C.A.; TORMENA, C.A.; FOLEGATTI, M.V.; GUIMARÃES, R.M.L. Intervalo hídrico ótimo num Nitossolo Vermelho distroférico irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.2, p.273-281, 2009.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C.A.; GUIMARÃES, R.M.L; NANNI, M.R. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto influenciada pela cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.1, p.79-87, 2012.

BOWLES, J.E. **Engineering properties of soils and their measurements**. 3.ed. Auckland: McGraw-Hill. 218p. 1986.

BRAIDA, J.A.; REICHERT, J.M.; VEIGA, M.; REINERT, D.J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.4, p.605-614, 2006.

CARNEIRO, M.A.C.; CORDEIRO, M.A.S.; ASSIS, P.C.R.; MORAES, E.S.; PEREIRA, H.S.; PAULINO, H.B.; SOUZA, E.D. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.2, p.455-462, 2009.

CARPENEDO, V. **Compressibilidade de solos em sistemas de manejo**. 1994. 106p. (Tese de Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C.R.; CONTE, O.; MAZURANA, M. Capacidade de suporte e compressibilidade de um Argissolo, influenciadas pelo tráfego e por plantas de cobertura de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, número especial, p.2629-2637, 2008.

DIAS JUNIOR, M.S. **Compression of three soils under longterm tillage and wheel traffic**. 1994. 114 f. Tese (Doctored Crop and Soil Science) - Michigan State University, East Lansing-MI.

DIAS JUNIOR, M.S.; PIERCE, F.J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. **Soil Technology**, Lansing, v.8, n.2, p.139-151, 1995.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa – CNPS.1997. 212p.

GARBIATE, M.V.; VITORINO, A.C.T.; TOMASINI, B.A.; BERGAMIN, A.C.; PANACHUKI, E. Erosão em entre sulcos em área cultivada com cana crua e queimada sob colheita manual e mecanizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.6, p.2145-2155, 2011.

GUPTA, S.C.; SHARMA, P.P. & DEFRANCHI, S.A. Compaction effects on soil structure. **Adv. Agron**, v.42, p.311-338, 1989.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis - physical and mineralogical methods**. 2 ed. Madison: ASA – SSSA, 1986, p.635-662.

LIMA, C.L.R.; SILVA, A.P. Estimativa da capacidade de suporte de carga do solo a partir da avaliação da resistência à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.2, p.217-223, 2006.

LIMA, V.M.P. **Melhoria estrutural de Latossolo: indicadores de qualidade e estratégias de manejo**. 2011. 108 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG.

MIRANDA, E.E.V.; DIAS JUNIOR, M.S.; GUIMARÃES, P.T.G.; PINTO, J.A.O.; ARAÚJO JUNIOR, C.F. ; LASMAR JUNIOR, E. Efeito do manejo e do tráfego nos modelos de sustentabilidade da estrutura de um Latossolo Vermelho cultivado com cafeeiros. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, Edição Especial, p.1506-1515, 2003.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JR., M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.2, p.327-336, 2004.

PACHECO, E.P.; CANTALICE, J.R.B. Compressibilidade, resistência a penetração e intervalo hídrico ótimo de um Argissolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar nos tabuleiros costeiros de alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.2, p.403-415, 2011.

PAIS, P.S.M.; DIAS JUNIOR, M.S.; SANTOS, G.A.; DIAS, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALCÂNTARA, E.N. Compactação causada pelo manejo de plantas invasoras em Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.6, p.1949-1957, 2011.

PEIXOTO, P.P.P. **Bases para aproveitamento e gerenciamento de recursos hídricos na região de Dourados-MS**. 2002. 98 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP.

PIRES, B.S.; DIAS JUNIOR, M.S.; ROCHA, W.W.; ARAUJO JUNIOR, C.F.; CARVALHO, R.C.R. Modelos de capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.2, p.635-642, 2012

PORTERFIELD, J.W.; CARPENTER, T.G. Soil compaction: an index of potential compaction for agricultural tires. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.29, n.4, p.917-922, 1986.

SAFFIH-HDADI, K.; DÉFOSSEZ, P.; RICHARD, G.; CUI, Y.J.; TANG, A.M.; CHAPLAIN, V. A method for predicting soil susceptibility to the compaction of surface layers as a function of water content and bulk density. **Soil and Tillage Research**, v.105, p.96-103, 2009.

SANTOS, G.A. **Capacidade de suporte de carga de um Latossolo cultivado com cafeeiros sob métodos associados de controle de plantas daninhas**. 2006. 115 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG.

SANTOS, G.A.; DIAS JUNIOR, M.S.; GUIMARÃES, P.T.G.; PAIS, P.S.M. Suscetibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes métodos de controle de plantas invasoras na cultura cafeeira. **Coffee Science**, Lavras, v.5, n.2, p.123-136, 2010.

SERAUT, A. Le pneumatique basse pression. **Bulletim Tech. March. Equip. Agric. CEMAGREF**. Parc de Tourvoie, Antony, n.50, p.33-37, 1990.

SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, G.C.; CURI, N.; DIAS JUNIOR, M. Potencial de uso e qualidade estrutural de dois solos cultivados com cana-de-açúcar em Goianésia (GO). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.1, p.159-168, 2008.

SILVA, R.B.; LANÇAS, K.P.; MIRANDA, E.E.V.; SILVA, F.A.M.; BAILO, F.H.R. Estimation and evaluation of dynamic properties as indicators of changes on soil structure in sugarcane fields of Sao Paulo State – Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.103, p.265-270, 2009.

SNEDECOR, G.W.; COCHRAN, W.G. **Statistical methods**. 8 ed. Ames: Iowa State University Press, 1989. 503 p.

SOUZA, G.S.; SOUZA, Z.M.; SILVA, R.B.; ARAÚJO, F.S.; BARBOSA, R.S. Compressibilidade do solo e sistema radicular da cana-de-açúcar em manejo com e sem controle de tráfego. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.47, n.4, p.603-612, 2012.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. da. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.2, p.395-401, 2001.

SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; LIMA, C.L.R. Estimativa da susceptibilidade à compactação e do suporte de carga do solo com base em propriedades físicas de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.3, p.963-973, 2008.

TAYLOR, D.W. Fundamentals of soil mechanics. New York: J. Wiley, 1948. 700 p.
VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.1, p.213-223, 2011.

VOORHEES, W.B.; SENST, C.G. & NELSON, W.W. Compaction and soil structure modification by wheel traffic in the Northern corn belt. **Soil Science Society of American Journal**. v.42, p.344-349, 1978.

CONCLUSÕES GERAIS

1. Os transbordos atuam negativamente nos atributos físicos do solo, reduzindo a macroporosidade e IHO e aumentando a densidade do solo e CSC.
2. O caminhão devido ao tipo de pneus utilizado, mesmo tendo massa menor que os demais tratamentos, apresentou menor intervalo hídrico ótimo e maior capacidade de suporte de carga, configurando seu maior potencial de compactação.
3. O T3 não apresentou Dsc nas duas profundidades estudadas.
4. Após a colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua recomenda-se utilizar técnicas que proporcionem aumento do intervalo hídrico ótimo e diminuição da capacidade de suporte de carga.
5. O tráfego de máquinas nestes solos deve ocorrer quando os solos estiverem com baixa umidade.