

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO APÓS
COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR**

HEVERTON PONCE ARANTES

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2015**

ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO APÓS COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR

HEVERTON PONCE ARANTES
Engenheiro Agrônomo

Orientador: PROF. DR. ANTONIO 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
2015

**ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO APÓS COLHEITA
MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR**

por

Heverton Ponce Arantes

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

Aprovada em: 29/05/2015

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

Prof. Dr. Munir Mauad – UFGD/FCA

Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez -
UFGD/FCA

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.” (Arthur Schopenhauer)

DEDICO.

Aos meus pais, Alceu Arantes e Mauzilda Soares Ponce Arantes, ao meu irmão Alceu Ponce Arantes que sempre me apoiaram e me motivaram na busca de meus objetivos. Muito obrigado a todos. Amo muito vocês.

OFEREÇO.

A todo corpo docente e funcionários do Programa de Pós- Graduação em Agronomia da UFGD, principalmente ao professor Antonio Carlos Tadeu Vitorino pela oportunidade, ensinamentos e companheirismo durante a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, possibilitando, assim, a realização deste trabalho.

Ao Prof. Antonio Carlos Tadeu Vitorino, “Totó”, pela confiança, oportunidade, conhecimentos transmitidos, total disponibilidade e pela amizade, tornando-se um excelente orientador.

Aos companheiros e amigos do laboratório de Física do Solo, Eber Augusto Ferreira do Prado e Douglas Martins Pereira Pellin, pelo apoio dado e sempre dispostos a ajudar.

Aos companheiros e amigos de curso André Carlesso, Gilmar Augusto Marques, Matheus Andrade Martinez, Natália Andressa Salles e Pedro Henrique Altomar, pelo apoio, motivação em momentos difíceis e descontração nos demais momentos.

Ao Prof. Anderson Bergamin cuja ajuda foi imprescindível para a realização deste trabalho.

Aos professores do programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFGD, pelos ensinamentos repassados durante este período.

À usina Monte Verde Bunge, por ceder a área e, ao Engenheiro Agrônomo Antonio Higino Frederico Pereira pela ajuda.

Ao laboratorista João Augusto, pela auxílio e disponibilidade durante todo trabalho.

À toda minha família.

À Capes pela bolsa concedida.

A todos que, de perto ou longe, de alguma forma, contribuíram para que estes momentos fossem vividos.

Obrigado!

SUMÁRIO

	PÁGINA
RESUMO GERAL.....	viii
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	5
3 ARTIGO 1	
INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO DE UM LATOSSOLO APÓS COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM TEORES DE ÁGUA DO SOLO	
3.1 Resumo.....	7
3.2 Abstract.....	8
3.3 Introdução.....	9
3.4 Material e métodos.....	11
3.5 Resultados e discussões.....	14
3.6 Conclusão.....	21
3.7 Referências bibliográficas.....	22
4 ARTIGO 2	
CAPACIDADE DE SUPORTE DE CARGA DE UM LATOSSOLO APÓS COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM TEORES DE ÁGUA	
4.1 Resumo.....	25
4.2 Abstract.....	26
4.3 Introdução.....	27
4.4 Material e métodos.....	29
4.5 Resultados e discussões.....	32
4.6 Conclusão.....	40
4.7 Referências bibliográficas.....	41
5 Considerações Gerais.....	45

LISTA DE QUADROS

ARTIGO 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 5 cm de um Latossolo Vermelho distroférico, após colheita de cana-de-açúcar em umidades do solo..... 14
- 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 camada centrada em profundidade de 15 cm de um Latossolo Vermelho distroférico, após colheita de cana-de-açúcar em umidades do solo..... 15
- QUADRO 3. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de resistência do solo à penetração ($RP = d\theta eD_s f$), com respectivos coeficientes de determinação (R^2), na profundidade de 5 cm de um Latossolo Vermelho distroférico, após colheita de cana-de-açúcar em umidades do solo..... 16
- QUADRO 4. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de resistência do solo à penetração ($RP = d\theta eD_s f$), com respectivos coeficientes de determinação (R^2), na profundidade de 15 cm de um Latossolo Vermelho distroférico, após colheita de cana-de-açúcar em umidades do solo..... 16

ARTIGO 2

- QUADRO 1. Densidade (D_s), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e porosidade total (Pt) nos tratamentos e profundidades avaliadas em um Latossolo Vermelho distroférico..... 32
- QUADRO 2. Estimativas dos coeficientes “a” e “b” dos modelos de capacidade de suporte de carga do solo [$\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$], com respectivos coeficientes de determinação (R^2) e número de amostras (n), coletadas em duas profundidades de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido a colheita de cana-de-açúcar sob diferentes umidades do solo..... 35
- QUADRO 3. Teste de significância de acordo com Snedecor e Cochran (1989) entre os modelos de capacidade de suporte de carga [$\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$] de um Latossolo Vermelho distroférico, nas profundidades de 5 e 15 cm, sob colheita mecanizada de cana-de-açúcar com diferentes umidades do solo..... 36

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

- FIGURA 1. Variação da umidade do solo, na profundidade de 5 cm, na capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), porosidade de aeração de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (PA) e resistência do solo à penetração de 2,0 MPa (RP), em função de alterações na densidade de um Latossolo Vermelho distroférico após colheita mecanizada de cana-de-açúcar sob as seguintes umidades do solo, T1 - umidade no limite de plasticidade com $0,16 \text{ g g}^{-1}$ de umidade; T2 - $0,19 \text{ g g}^{-1}$ de umidade; T3 - $0,21 \text{ g g}^{-1}$ de umidade; T4 - no limite de capacidade operacional contendo $0,24 \text{ g g}^{-1}$ de umidade. Dourados, UFGD, 2015 18
- FIGURA 2. Variação da umidade do solo, na profundidade de 15 cm, na capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), porosidade de aeração de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (PA) e resistência do solo à penetração de 2,0 MPa (RP), em função de alterações na densidade de um Latossolo Vermelho distroférico após colheita mecanizada de cana-de-açúcar sob as seguintes umidades do solo, T1 - umidade no limite de plasticidade com $0,16 \text{ g g}^{-1}$ de umidade; T2 - $0,19 \text{ g g}^{-1}$ de umidade; T3 - $0,21 \text{ g g}^{-1}$ de umidade; T4 - no limite de capacidade operacional contendo $0,24 \text{ g g}^{-1}$ de umidade. Dourados, UFGD, 2015..... 19

ARTIGO 2

- FIGURA 1. Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico, nas profundidades de 5 cm e 15 cm, após operações de colheita de cana-de-açúcar sob as seguintes umidades do solo, T1 - umidade no limite de plasticidade com $0,16 \text{ g g}^{-1}$ de umidade; T2 - $0,19 \text{ g g}^{-1}$ de umidade; T3 - $0,21 \text{ g g}^{-1}$ de umidade; T4 - no limite de capacidade operacional contendo $0,24 \text{ g g}^{-1}$ de umidade. Dourados, UFGD, 2015..... 37

ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO APÓS COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO GERAL

Os efeitos da mecanização na cultura da cana-de-açúcar têm trazido benefícios para a colheita como redução de tempo e dos custos. Contudo, se o solo estiver com níveis de umidade impróprios, o tráfego de equipamentos pode resultar na compactação do solo, consequentemente, na sua degradação. A compactação é uma das principais causas de degradação dos solos agrícolas, tem sido avaliada por meio de indicadores da qualidade estrutural do solo para o crescimento das plantas como o intervalo hídrico ótimo (IHO) e a capacidade de suporte do solo (CSC). Objetivou-se avaliar o efeito das umidades do solo após a colheita mecanizada, sobre atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho distroférico, cultivado com cana-de-açúcar. O estudo foi realizado na área da Fazenda Dallas, no município de Ponta Porã - MS, no ano agrícola de 2013/14. O delineamento experimental foi de blocos casualizados (4x2), sendo quatro umidades e duas profundidades, com quatro repetições. As umidades foram definidas em função do limite de plasticidade até a umidade máxima que definia a capacidade operacional do solo, sendo utilizadas as seguintes umidades: T1- umidade no limite de plasticidade com $0,16 \text{ g g}^{-1}$; T2- $0,19 \text{ g g}^{-1}$ de umidade; T3- $0,21 \text{ g g}^{-1}$ de umidade e T4- no limite de capacidade operacional contendo $0,24 \text{ g g}^{-1}$ de umidade. As profundidades, definidas previamente em ensaios para detecção de limitação, foram centradas em 5 e 15 cm. O aumento da umidade do solo no momento da colheita diminuiu a qualidade físico-hídrica do solo, determinada pelo IHO. A umidade do solo promove menor capacidade de suporte de carga do solo nas profundidades de 5 e 15 cm durante a colheita mecanizada. Os solos com umidades mais baixas tem preservada sua qualidade estrutural, mesmo com a colheita mecanizada, os Latossolos Vermelho distroférico tendem a ter menor capacidade de suporte de carga, com maiores umidades do solo.

Palavras-chave: Qualidade física do solo, capacidade de suporte de carga, compactação, intervalo hídrico ótimo.

ATTRIBUTES PHYSICAL-HYDRICS AFTER HARVEST OF SUGARCANE

ABSTRACT

The effects of mechanization in the culture of sugarcane have brought benefits to the harvest as a reduction of time and costs. However, if the soil is unsuitable with moisture levels, traffic equipment can result in compaction, hence for its degradation. Compaction is a major cause of degradation of agricultural land, it has been evaluated using indicators of soil structural quality for plant growth such as least limiting water range (LLWR) and the soil load support capacity (LSC). The objective was to evaluate the effect of soil moisture after harvest, on physical-hidric attributes of an distroferric Red Latossol (Oxisol) cultivated with sugarcane. The study was conducted in the area of Dallas farm in the municipality of Ponta Porã - MS in the agricultural year of 2013/14. The experimental arrangement was randomized block design (4x2), four moisture and two depths, with four repeats. The moisture were defined based on the plastic-limit to the maximum moisture that defined the operational capacity of the soil, the following moisture being used: T1 moisture in the plastic limit to 0.16 g g^{-1} ; T2 0.19 g g^{-1} moisture; T3 0.21 g g^{-1} moisture and T4 in operating capacity limit containing 0.24 g g^{-1} moisture. The depths previously defined in trials for detection limits were centered at 5 and 15 cm. Increased soil moisture at harvest reduces the hydro-physical soil quality, determined by the IHO. Soil moisture promotes low load support capacity of soil depths of 5 and 15 cm during mechanical harvesting. The soils with low moisture content has preserved its structural quality even with mechanical harvesting, the distroferric Red Latossols (Oxisol) tend to have lower load bearing capacity with higher soil moisture content.

Keywords: Soil physical quality, load support capacity, compaction, least limiting water range.

INTRODUÇÃO GERAL

A estimativa da safra de 2015/16 aponta que a massa de cana-de-açúcar (*Saccharium spp.*) processada no Brasil será de 654,6 milhões de toneladas, firmando-se no posto de maior produtor mundial dessa cultura (CONAB, 2015). O segundo maior produtor mundial de cana-de-açúcar é a Índia, com produção em torno de 360 milhões de toneladas. Atualmente, o Brasil responde por um terço da produção mundial de cana-de-açúcar, 20% da produção e 40% das exportações mundiais de açúcar, e 30% da produção e 60% das exportações mundiais de etanol (CANAONLINE, 2015).

O estado de Mato Grosso do Sul atualmente assume o posto de quarto maior produtor, com uma área de 682,3 mil hectares cultivados, correspondendo a 7,5% de toda área cultivada no país, ficando atrás apenas dos estados de São Paulo, Goiás e Minas Gerais (CONAB, 2015).

A cultura da cana-de-açúcar tem destacada importância socioeconômica e histórica no país, sendo uma das principais alternativas energéticas renováveis para a amenização dos problemas ambientais e climáticos, além de ser matéria prima de produtos como o etanol, açúcar, aguardente, o potencial de novos usos dos seus produtos não param de crescer. Como exemplo o etanol de segunda geração, ou celulósico, gerado a partir dos coprodutos da cana-de-açúcar (palha e bagaço). Permitindo incrementar a produção anual de etanol, sem precisar aumentar a área cultivada (SANTOS, 2013; DIAS e ROWE, 2013). Também outro produto é o plástico biodegradável, produzido em matéria-prima renovável, como a cana-de-açúcar, e sua completa degradabilidade, não poluidora, produzido em processos que usam tecnologia limpa (BIOCYCLE, 2015).

O Brasil é destaque mundial no uso de energias renováveis, que representam mais de 44% da matriz energética do país. O setor sucroenergético possui papel chave nesta participação, uma vez que somente os produtos da cana-de-açúcar são responsáveis por 15,7% de toda a oferta de energia do país, sendo que este valor já ultrapassa o fornecido pelas usinas termoeletricas, em que 1133 MW médios de bioeletricidade foram produzidos a partir do bagaço de cana-de-açúcar em 2011, entre 2% e 3% da matriz elétrica brasileira. Estimativas indicam que em 2020 esta participação poderá chegar a 18%, reduzindo a necessidade da utilização de usinas térmicas movidas à energia fóssil (UNICA, 2014).

A valorização do etanol, como combustível renovável, tem se destacado no estado do Mato Grosso do Sul, devido a suas terras agricultáveis e o clima propício ao cultivo da cana-de-açúcar, sendo, por isso, implantado, no estado, novas usinas. Os canaviais brasileiros apresentam níveis relativamente baixos de perdas de solo graças ao caráter semi perene da cana-de-açúcar, que faz com que vários cortes, ao longo de 5 a 7 anos, possam ser feitos antes do replantio. A tendência é de que a capacidade de conservar e reter o solo nas áreas canavieiras aumente expressivamente nos próximos anos, com a permanência da palha no campo decorrente da colheita mecanizada e a adoção do sistema de plantio direto (UDOP, 2014).

Com relação aos poluentes emitidos com essa atividade, diversos estudos mostram que, quando comparado à gasolina, o etanol brasileiro reduz as emissões dos chamados gases de dióxido de carbono em cerca de 90%. Apesar de ser possível encontrar diferentes análises sobre o tema, todas as regulamentações internacionais que calcularam a redução de emissões de dióxido de carbono obtida pela produção e uso dos biocombustíveis, reconhecem o desempenho superior do etanol de cana-de-açúcar em relação a outras matérias-primas utilizadas, como o milho, o trigo ou a beterraba. Este é o caso dos cálculos feitos pelo Programa de Combustíveis Renováveis da Agência de Proteção Ambiental Americana, o EPA, e também pela União Européia, no âmbito de sua Diretiva para Energias Renováveis (UNICA, 2014).

A produção da cana-de-açúcar tem gerado muitas discussões a respeito dos impactos causados na atmosfera, sobretudo quando se considera a colheita de cana-de-açúcar queimada. Contudo, hoje, as queimadas praticamente se extinguíram e a atenção para os problemas ambientais do cultivo da cana-de-açúcar tomam novas proporções. Embora historicamente tenha sido dada maior importância aos danos por emissão de poluentes, atualmente muito já se tem discutido sobre os impactos causados na degradação do solo pelo intenso tráfego de equipamentos pesados. O conteúdo de água do solo e os sistemas de manejo podem promover alterações em seus parâmetros de compressibilidade (SILVA e CABEDA, 2006).

Mesmo que em áreas de colheita mecanizada de cana-de-açúcar são deixadas sobre o solo de 5 a 20 Mg de palha por hectare, a quantidade de palha deixada no solo é dependente de características do ambiente e da variedade, como facilidade de despalha do colmo, hábito de crescimento da touceira, uniformidade em altura e tamanho dos ponteiros, produtividade e desenvolvimento da cana-de-açúcar (MANECHINI, 1997). A palha afeta o estabelecimento e o crescimento de plantas daninhas em áreas cultivadas

reduz a amplitude térmica do solo e, portanto, mantem a umidade do solo (VELINI e MARTINS, 1998; MARTINS et al., 1999; VELINI e NEGRISOLI, 2000; CORREIA e DURIGAN, 2004). Segundo Carpenedo (1994), 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.

Contudo, áreas onde a colheita mecanizada é realizada, mesmo com deposição da palhada na superfície do solo, o sistema de cultivo e colheita promove uma pressão sobre o solo ocorre, principalmente, na operação da colheita, já que durante esse processo, o solo recebe a carga, em um mesmo local, de uma colhedora e, em seguida, um trator, trazendo transbordos que puxa toda a cana-de-açúcar colhida. Esse tráfego incessante acaba por compactar o solo, degradando, conseqüentemente, os atributos físicos do mesmo e diminuindo a capacidade produtiva do local.

O processo de compactação do solo pode ser atribuído tanto à diminuição do espaço poroso entre os agregados, ocorrendo um rearranjo destes na matriz do solo, como à ruptura e destruição dos agregados, havendo rearranjo e orientação das partículas, o que resulta numa massa coesa na matriz do solo (HORN et al., 1995). Esses processos vão depender do conteúdo de água do solo e da pressão externa aplicada ao solo pelos sistemas de manejo adotados (SILVA e CABEDA, 2006).

Atualmente, um dos problemas que mais limitam a produção agrícola e a qualidade do ambiente em áreas intensamente mecanizadas é a compactação do solo, sendo, portanto, necessário o conhecimento dos efeitos da compactação do solo, e os fatores que causam a compactação, para identificar estratégias de prevenção, com a finalidade de estabelecer metodologias para correta quantificação dos impactos causados em áreas agrícolas (GONTIJO et al., 2007). Esse fenômeno se agrava quando o solo é trabalhado com um conteúdo de água elevado, inadequado para as atividades agrícolas. A aplicação de cargas sobre o solo após o seu afrouxamento pelo preparo para o cultivo também tem aumentado a compactação dos solos agrícolas (CAMARGO e ALLEONI, 1997).

Em solos compactados ocorre alteração da estrutura, da densidade do solo, da porosidade total, do tamanho e continuidade dos poros (DEXTER, 1988; HORN e LEBERT, 1994; BEUTLER et al., 2009). Decorrente disso, o movimento e o armazenamento da água, ar e calor também podem ser alterados, tendo sido verificados aumentos nas perdas de nutrientes por volatilização e lixiviação (HAKANSSON e

VOORHEES, 1998). A redução na capacidade de infiltração de água do solo, decorrente da compactação da camada superficial, pode resultar em aumento do escoamento superficial e erosão (KAYOMBO e LAL, 1994). Além disso, pode reduzir a eficiência de utilização de fertilizantes e herbicidas pelas culturas, em razão do menor desenvolvimento radicular das plantas, aumentando os custos de produção (HAKANSSON e VOORHEES, 1998).

A compreensão e a quantificação do impacto do uso e manejo do solo na sua qualidade física são fundamentais no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (DEXTER e YOUNGS, 1992). Com a modernização da agricultura, aumento da massa de equipamentos agrícolas, bem como da intensidade de uso do solo, principalmente em áreas sob cultivo de cana-de-açúcar, houve prejuízos para a produtividade das culturas o que, conseqüentemente, contribuiu com processos erosivos. Isso, porque durante a colheita é necessário o tráfego de equipamentos e outros manejos para produção, o que acarreta em degradações dos solos durante o plantio, onde são realizados tratos que melhoram em curto prazo a camada superficial do solo.

As camadas mais inferiores do solo vão sendo compactadas, diminuindo a quantidade de macroporos, formando uma faixa compactada, a pudlagem, também conhecida como “pé-de-grade”. Esta faixa dificulta a drenagem de água, causando escoamento superficial e erosões no solo, além de ser um limitante no alcance das raízes nas camadas mais profundas do solo, diminuindo, assim, a quantidade de solo aproveitada pelas raízes. Com esses fatores que desfavorecem a produção, pesquisas voltadas para a avaliação da qualidade física dos solos têm-se tornado constantes na literatura mundial, em virtude das interferências na produtividade das culturas e sustentabilidade dos ecossistemas ligados ao solo (GUEDES et al., 2012; YAO et al., 2013; LIMA et al., 2013).

Neste contexto, torna-se relevante estudar os impactos causados pela colheita mecanizada da cana-de-açúcar nos atributos de um Latossolo Vermelho distroférico em umidades do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEUTLER, A. N. CENTURION, J. F.; MENGATTO, L. H.; ALVES, J. B.; WAGNER, G. P. C.. Impacto do tráfego de máquinas na qualidade física do solo e produtividade de milho em Argissolo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 2, p. 359-364, 2009.

BIOCYCLE. Biocycle, o que é?. **BIOCYCLE**, 2015. Disponível em: <<http://www.biocycle.com.br/site.htm>> acesso em: 31 de maio de 2015.

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.

CAMARGO, O.A., ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1997. 132p.

CARPENEDO, V. **Compressibilidade de solos em sistemas de manejo**. 1994, 106 f. Tese (Doutorado em Agronomia). -Curso de pós-graduação em ciência do solo- Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994.

CANAONLINE. Brasil – líder mundial na produção de cana e tecnologia sucroenergética. **CANAONLINE – Revista Digital do Setor Sucroenergético**, 2015. Disponível em: <<http://www.canaonline.com.br/conteudo/brasil-lider-mundial-na-producao-de-cana-e-tecnologia-sucroenergetica.html#.VTedIyFViko>>. Acesso em : 20 de Abril de 2015.

CONAB. cana-de-açúcar 2014/15. **Acompanhamento de Safra Brasileira**, Brasília, agosto 2015. p.1-20.

CORREIA, Núbia Maria; DURIGAN, Julio Cezar. Emergência de plantas daninhas em solo coberto com palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n.4, p. 11-17, 2004.

DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. **Soil & Tillage Research**. Amsterdam, v. 11, n.3, p.199-238, 1988.

DEXTER, A.R. & YOUNGS, I.M. Soil physic toward 2000. **Soilage & Tillage Reseach**, Amsterdam, v. 24, n.10, p.101-106, 1992.

DIAS, B. P.; ROWE, R. V. A.. Bagaço da cana de açúcar: matéria prima para fabricação de materiais biodegradáveis. **Bioenergia em revista**, Piracicaba, v. 3, n. 1, p. 73-87, 2013.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: 1997. 212 p.

GONTIJO, I.; DIAS JUNIOR, M. S.; OLIVEIRA, M. S.; ARAUJO JUNIOR, C. F.; PIRES, P. S.; OLIVEIRA, C. A. Planejamento amostral da pressão de preconsolidação de um Latossolo Vermelho distroférico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.6, p.1245-1254, 2007.

GUEDES, E. M. S.; FERNANDES, A. R.; LIMA, H. V.; SERRA, A. P.; JOSÉ COSTA, J. R.; GUEDES, R. S. Impacts of different management systems on the physical quality of an Amazonian oxisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.4, p.1269-1277, 2012.

HAKANSSON, I.; VOORHEES, W. B.; LAL, R.; BLUM, W. H.; VALENTIN, C., STEWART, B. **Methods for assessment of soil degradation**: Methods for assessment of soil degradation, CRC Press, Boca Raton, 1998.

HORN, R.; DOMZAL, H.; OUWERKERK, C. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.35, n.1, p.23- 36, 1995.

HORN, R.; LEBERT, M. Soil compactability and compressibility. In: SOANE, B.D. e van OUWERKERK, C., eds. Soil compaction in crop production. Amsterdam, **Elsevier**, 1994. p.45-69.

KAYOMBO, B.; LAL, R. Responses of tropical crops to soil compaction. In: SOANE, B.D.; VAN OUWERKERK, C., eds. Soil compaction in crop production. Amsterdam, **Elsevier**, 1994. p.287-316.

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

LIMA, A. C. R.; BRUSSAARD, L.; TOTOLA, M. R.; HOOGMOED, W. B.; GOEDE, R. G. M. de. A functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. Firenze, **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.64, n.2, p.194–200, 2013.

MANECHINI, C. Manejo da cana crua. In: SEMINÁRIO COPERSUCAR DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 7, 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: 1997. p. 309-327.

MARTINS, D. et al. Emergência em campo de dicotiledôneas infestantes em solo coberto com palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 17, n. 1, p. 151-161, 1999.

SANTOS, F. A. **Avaliação do pretratamento hidrotérmico de palhas de cana-de-açúcar para produção de etanol de segunda geração**. 2013. 94 f. Tese (Doutorado em Bioquímica Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Bioquímica Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2013.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V. Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v.30, n.6, p.921-930, 2006.

UNICA. A sustentabilidade no setor sucroenergético brasileiro. **UNICA - União da Indústria de Cana de Açúcar**, 2014. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/sustentabilidade/>>. Acesso em: 10 Dezembro 2014.

VELINI, E. D.; MARTINS, D. Efeito da palha de cana-de-açúcar sobre a germinação das principais espécies desta cultura. **Botucatu: Universidade do Estado de São Paulo**, 1998.

VELINI, E. D.; NEGRISOLI, E. Controle de plantas daninhas em cana crua. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS. 2000, Gramado. **Resumos...** Gramado: SBCPD p. 148-164.

YAO, R.; YANG, J.; GAO, P.; ZHANG, J.; JIN, W. Determining minimum data set for soil quality assessment of typical salt-affected farmland in the coastal reclamation area. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.128, n.16, p.137-148, 2013.

ARTIGO 1

INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO DE UM LATOSSOLO APÓS COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM TEORES DE ÁGUA DO SOLO

RESUMO

A resistência do solo à penetração das raízes, a aeração e a umidade do solo são atributos físicos que atuam diretamente no crescimento das plantas. O intervalo hídrico ótimo (IHO) define o conteúdo de água não-limitante às plantas em função de valores limitantes ao crescimento das plantas regulado pela porosidade de aeração (PA), de resistência à penetração (RP), de conteúdo de água na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP). Objetivou-se avaliar o IHO e as alterações estruturais de um Latossolo Vermelho distroférico, após operações de colheita de cana-de-açúcar em umidades do solo. O solo da área apresentou 612 g kg⁻¹ de argila, 274 g kg⁻¹ de silte e 114 g kg⁻¹ de areia. Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso (4x2), sendo quatro umidades e duas profundidades (5 e 15 cm) com quatro repetições. As umidades foram definidas no momento em que se realizou a colheita e foram as seguintes: T1- umidade no limite de plasticidade com 0,16 g g⁻¹; T2- 0,19 g g⁻¹ de umidade; T3- 0,21 g g⁻¹ de umidade; T4- no limite de capacidade operacional contendo 0,24 g g⁻¹ de umidade. As profundidades, definidas previamente em ensaios para detecção de limitação, foram centradas em 5 e em 15 cm. Todos os tratamentos pós tráfego promoveram aumento da densidade do solo simultaneamente o aumento nos valores de capacidade de campo, ponto de murcha permanente, resistência do solo à penetração e houve uma redução na porosidade de aeração. Portanto, o aumento da umidade do solo no momento em que se realiza a colheita da cana-de-açúcar promove redução no intervalo hídrico ótimo com conseqüente diminuição do conteúdo de água disponível para as plantas na cultura de cana-de-açúcar.

Palavras chave: Resistencia à penetração, porosidade de aeração, tráfego de máquinas.

LEAST LIMITING WATER RANGE OF AN OXISSOL AFTER MECHANICAL SUGARCANE HARVEST AND SOIL WATER CONTENTS.

ABSTRACT

The soil penetration resistance of the roots, the aeration and the soil moisture are physical attributes that act directly on the plant growth. The least limiting water range (LLWR) defines the non-limiting water content of plants according to limiting values to the growth of aeration porosity plants (AP), penetration resistance (PR), content water field capacity (FC) and permanent wilting point (PWP). It is aimed to assess the LLWR and the structural changes of a distroferric Red Latossol (Oxisol), subjected to sugarcane harvesting operations in soils moistures. The soil of the experimental area showed 612 g kg⁻¹ of clay, 274 g kg⁻¹ of silt and 114 g kg⁻¹ sand. The design of randomized blocks (4x2), with four soil moisture and two depths (5 e 15 cm) with four replications. The soil moisture were defined at the time the procurement took place and were as follows: T1- moisture in the plastic limit with 0.16 g g⁻¹; T2- 0.19 g g⁻¹ soil moisture; T3- 0.21 g g⁻¹ soil moisture; T4- in operating capacity limit containing 0.24 g g⁻¹ soil moisture. The depths previously defined in assays for detection limits were centered at 5 and 15 cm. All traffic post treatments promoted increased soil density simultaneously an increase in field capacity values, wilting point, soil resistance to penetration and there was a reduction in aeration porosity. Therefore, the increased soil moisture at the time it performs the sugarcane harvest promotes reduction in least limiting water range with consequent reduction in soil moisture available to plants in the culture of sugarcane.

Keywords: Soil resistance to penetration, aeration porosity, machine traffic.

INTRODUÇÃO

Os sistemas de produção para a cultura de cana-de-açúcar muitas vezes são desenvolvidos sob determinadas condições edafoclimáticas e têm sua aplicação em outras áreas, distintas daquelas onde foram estudados e desenvolvidos.

Esse fato normalmente é consequência da expansão da cultura em atendimento da demanda de alteração da matriz energética, nesse foco tem promovido além de produtividades abaixo das esperadas (SEVERIANO et al., 2009), problemas ambientais graves e dúvidas sobre sua sustentabilidade. Embora profundamente atentos às questões ambientais voltadas para a poluição atmosférica, o mesmo não pode ser dito para os impactos negativos promovidos pela mecanização do processo de colheita, que pode ocasionar compactação do solo.

A manutenção de condições físicas adequadas ao crescimento das plantas está relacionada com a preservação da estrutura do solo e pode ser alcançada por meio do conhecimento do monitoramento da qualidade estrutural do solo em função das operações mecanizadas. As alterações nas relações massa/volume e na resistência a penetração do solo interagem entre si, alterando o ambiente radicular (SILVA et al., 2001). Neste contexto, o intervalo hídrico ótimo (IHO) traduz os efeitos de sistemas de manejo na melhoria ou na degradação da qualidade física do solo. Esse termo foi originalmente proposto por Letey (1985) e introduzido no Brasil por Tormena et al. (1998), a partir do trabalho de Silva et al. (1994). O IHO integra os atributos físicos do solo que diretamente influenciam o desenvolvimento das culturas e estas inter-relações dependem da condição estrutural do solo e, portanto, do grau de degradação da estrutura a que está submetido (PACHECO e CANTALICE, 2011).

Em áreas canavieiras, a compactação tem ocorrido especialmente em virtude das operações de manejo que envolvem o tráfego de equipamentos agrícolas, muitas vezes quando o solo está em condições inadequadas de umidade do solo, o que pode provocar compactação do solo alterando sua qualidade física e afetando, o crescimento e desenvolvimento das plantas, diminuindo a produtividade no decorrer dos anos.

O conhecimento dos atributos físicos de um solo auxilia na determinação de manejos corretos. Dessa maneira, objetivou-se avaliar após a qualidade estrutural e o intervalo hídrico ótimo do Latossolo Vermelho distroférico.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na área comercial da Usina Monte Verde (BUNGE-SA), no município de Ponta Porã, MS, durante o ano agrícola de 2013/14. A área se localiza à latitude de 22° 1' 53'' S e longitude 55° 07' 56'' W e 402 m de altitude. De acordo com a classificação de Köppen o clima é do tipo Cwa, mesotérmico úmido, com chuvas no verão e seco no inverno.

O solo na área do experimento foi classificado como sendo um Latossolo Vermelho distroférico, cuja análise textural e química, apresentou 612 g kg⁻¹ de argila, 274 g kg⁻¹ de silte e 114 g kg⁻¹ de areia. As características químicas foram: pH (H₂O) = 5,24; Ca²⁺ = 60,35 mmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 14,37 mmol_c dm⁻³; Al³⁺ = 0,0 mmol_c dm⁻³; H + Al = 24,88 mmol_c dm⁻³; P = 16,97 mg dm⁻³; K = 14,12 mmol_c dm⁻³; e matéria orgânica = 32 g kg⁻¹ (EMBRAPA, 1997).

A área experimental foi instalada em local de cultivo comercial de cana-de-açúcar sendo que se tratava de cana soca de quarto ano. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (4x2), sendo quatro umidades e duas profundidades, com quatro repetições. As umidades do solo foram determinadas no momento da realização da colheita mecanizada e definiram os seguintes tratamentos: T1- umidade no limite de plasticidade com 0,16 g g⁻¹; T2- 0,19 g g⁻¹ de umidade; T3- 0,21 g g⁻¹ de umidade; T4- no limite de capacidade operacional contendo 0,24 g g⁻¹ de umidade. As profundidades foram estabelecidas previamente em ensaios para detecção de limitação, e foram centradas em 5 e em 15 cm.

Os equipamentos utilizados para a colheita de cana-de-açúcar foram uma colhedora modelo 360 H, com massa de 15 Mg. Trator utilizado na tração dos transbordos, modelo 6180J, com 132,5 kW de potência, com 10,3 Mg de massa, distribuídos em dois pneus dianteiros 16,9R28 com pressão de insuflagem de 0,14 MPa e dois pneus traseiros 650/75R32 com pressão de insuflagem de 0,12 Mpa. Esse trator rebocou dois transbordos de 8 Mg de massa cada um, distribuída em quatro pneus de alta flutuação modelo 600/50-22,5 com pressão de insuflagem de 0,38 Mpa, com capacidade para carregar até 10 Mg de cana-de-açúcar, sendo dois transbordos acoplados ao trator.

Após a colheita da cana-de-açúcar nas umidades do solo as amostras com estrutura preservadas foram coletadas a 40 cm da linha de plantio em cilindros metálicos com 6,45 cm de diâmetro e 2,54 cm de altura, em sete pontos escolhidos aleatoriamente nas parcelas experimentais em cada bloco totalizando 28 amostras por profundidade para cada tratamento.

Após o preparo das amostras, essas foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingirem cerca de dois terços da altura do anel para posterior estabilização da umidade da amostra. As 28 amostras de cada tratamento e profundidade foram divididas em sete grupos de quatro amostras, e 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). 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, pela umidade na capacidade de campo (CC), potencial de -0,01 MPa (REICHARDT, 1988); pelo umidade no ponto de murcha permanente (PMP), potencial de -1,5 MPa (SAVAGE et al., 1996); pela umidade do solo em que a resistência do solo à penetração (RP) atinge 2,0 MPa (TAYLOR et al., 1966); e pela umidade em que a porosidade de aeração (PA) é de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (GRABLE e SIEMER, 1968).

Para obter os valores de CC e PMP, utilizou-se o modelo matemático do tipo $[\theta = \exp^{(a+bD_s)\Psi^c}]$, 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 $[RP = d\theta^e D_s^f]$, 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 resistência a penetração no solo não ultrapassasse 2,0 MPa (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 PA foi obtido aplicando o modelo do tipo $[PA = (1 - (Ds/Dp)) - 0,10]$, em que PA é a umidade volumétrica do solo em que a porosidade de aeração é de 0,10 $m^3 m^{-3}$; Ds é a densidade do solo ($Mg m^{-3}$); Dp 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 CC, ou aquele em que a PA é considerada adequada ao crescimento e desenvolvimento da cultura. Como limites inferiores foram considerados o PMP ou aquele correspondente à 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 (Dsc), 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.

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 DISCUSSÃO

As curvas ajustadas de retenção de água (Quadros 1 e 2) e de resistência do solo à penetração (Quadros 3 e 4), apresentaram coeficientes de determinação (R^2) significativos a 1% pelo teste F. Com base no proposto por Grantz e Slinker (1990), Blainski et al. (2009) e Blainski et al. (2012) é possível afirmar que os coeficientes de ajuste da curva de retenção de água do solo (Quadros 1 e 2) foram significativos ($p < 0,01$), pois o intervalo de confiança dos mesmos não incluem o valor igual a zero, exceto o coeficiente “b” na camada centrada em 5 cm no modelo ajustado para o T1, T3 e T4 (Quadro 1) e na camada centrada em 15 cm no T2, T3 e T4 (Quadro 2).

QUADRO 1. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de retenção de água no solo [$\theta = \exp(a+bDs)\Psi^c$], com respectivos coeficientes de determinação (R^2), na profundidade de 5 cm de um Latossolo Vermelho distroférico, após a colheita de cana-de-açúcar em umidades do solo.

Coeficientes	Valor estimado	Intervalo de confiança		Valor estimado	Intervalo de confiança	
		Li	Ls		Li	Ls
		T1			T2	
a	-1,206	-1,303	-1,109	-1,236	-1,318	-1,154
b	-0,006	-0,047	0,035	0,035	0,002	0,068
c	-0,084	-0,093	-0,074	-0,065	-0,074	-0,056
R^2	0,97**			0,94**		
		T3			T4	
a	-1,357	-1,549	-1,164	-1,155	-1,275	-1,035
b	0,064	-0,016	0,144	0,009	-0,044	0,062
c	-0,088	-0,108	-0,068	-0,065	-0,079	-0,051
R^2	0,86**			0,89**		

T1 - umidade no limite de plasticidade com 0,16 g g⁻¹ de umidade; T2 - 0,19 g g⁻¹ de umidade; T3 - 0,21 g g⁻¹ de umidade; T4 - no limite de capacidade operacional contendo 0,24 g g⁻¹ de umidade θ : umidade do solo (m³ m⁻³); Ds: 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%.

QUADRO 2. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de retenção de água no solo [$\theta = \exp^{(a+bDs)\Psi}c$], com respectivos coeficientes de determinação (R^2), na profundidade de 15 cm de um Latossolo Vermelho distroférico, após a colheita de cana-de-açúcar em umidades do solo

Coeficientes	Valor estimado	Intervalo de confiança		Valor estimado	Intervalo de confiança	
		Li	Ls		Li	Ls
		T1			T2	
a	-1,221	-1,309	-1,132	-1,249	-1,337	-1,163
b	0,049	0,008	0,091	-0,002	-0,044	0,041
c	-0,071	-0,082	-0,059	-0,087	-0,097	-0,076
R^2	0,93**			0,97**		
		T3			T4	
a	-1,208	-1,281	-1,135	-1,309	-1,505	-1,114
b	-0,002	-0,038	0,034	0,064	-0,025	0,152
c	-0,084	-0,092	-0,076	-0,087	-0,107	-0,066
R^2	0,91**			0,86**		

T1 - umidade no limite de plasticidade com 0,16 g g⁻¹ de umidade; T2 - 0,19 g g⁻¹ de umidade; T3 - 0,21 g g⁻¹ de umidade; T4 - no limite de capacidade operacional contendo 0,24 g g⁻¹ de umidade θ : umidade do solo (m³ m⁻³); Ds: 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%.

Com relação às curvas de resistência do solo à penetração verificou-se, pelo fato que o intervalo de confiança dos coeficientes não inclui o valor igual a zero, que estes foram estatisticamente significativos ($p < 0,01$) (Quadros 4 e 5), como descrito por Blainski et al. (2009) e Blainski et al. (2012) exceto para o coeficiente “d” do ajuste no modelos obtido para o tratamento T1, na profundidade centrada em 5 cm (Quadro 4); no coeficiente “e” em todos os tratamentos da camada centrada em 5 cm (Quadro 3) e no tratamento T1, na profundidade centrada em 15 cm (Quadro 4). Por fim o coeficiente “f” só não foi significativo no tratamento T2 na camada centrada e 15 cm.

QUADRO 3. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de resistência do solo à penetração ($RP = d\theta eDs_f$), com respectivos coeficientes de determinação (R^2), na profundidade de 5 cm de um Latossolo Vermelho distroférico, após colheita de cana-de-açúcar em umidades do solo

Coeficientes	Valor estimado	Intervalo de confiança		Valor estimado	Intervalo de confiança	
		Li	Ls		Li	Ls
		T1			T2	
d	0,217	-0,143	0,578	2,631	1,986	3,276
e	-1,999	-4,029	0,029	0,188	-0,104	0,479
f	1,250	0,329	2,171	0,668	0,559	0,776
R^2	0,85**			0,92**		
		T3			T4	
d	1,004	0,932	1,077	0,874	0,655	1,092
e	0,036	-0,051	0,124	-0,166	-0,462	0,130
f	1,025	0,985	1,065	0,949	0,844	1,054
R^2	0,93**			0,97**		

T1 - umidade no limite de plasticidade com $0,16 \text{ g g}^{-1}$ de umidade; T2 - $0,19 \text{ g g}^{-1}$ de umidade; T3 - $0,21 \text{ g g}^{-1}$ de umidade; T4 - no limite de capacidade operacional contendo $0,24 \text{ g g}^{-1}$ de umidade RP: resistência do solo à penetração (MPa); θ : umidade do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); 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%.

QUADRO 4. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de resistência do solo à penetração ($RP = d\theta eDs_f$), com respectivos coeficientes de determinação (R^2), na profundidade de 15 cm de um Latossolo Vermelho distroférico, após colheita de cana-de-açúcar em umidades do solo

Coeficientes	Valor estimado	Intervalo de confiança		Valor estimado	Intervalo de confiança	
		Li	Ls		Li	Ls
		T1			T2	
d	2,127	1,751	2,503	0,964	0,480	1,447
e	0,046	-0,157	0,249	-0,879	-1,444	-0,314
f	0,638	0,571	0,705	0,258	-0,022	0,538
R^2	0,98**			0,80**		
		T3			T4	
d	0,439	0,244	0,635	1,351	1,163	1,539
e	-1,061	-1,569	-0,554	0,179	0,005	0,354
f	0,539	0,293	0,787	0,984	0,898	1,070
R^2	0,86**			0,97**		

T1 - umidade no limite de plasticidade com $0,16 \text{ g g}^{-1}$ de umidade; T2 - $0,19 \text{ g g}^{-1}$ de umidade; T3 - $0,21 \text{ g g}^{-1}$ de umidade; T4 - no limite de capacidade operacional contendo $0,24 \text{ g g}^{-1}$ de umidade RP: resistência do solo à penetração (MPa); θ : umidade do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); 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%.

Em todos os tratamentos após a colheita mecanizada ocorreu aumento nos potenciais à capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), bem como nos valores de resistência do solo à penetração (RP) e houve uma redução na

porosidade de aeração (PA) com o aumento da densidade do solo (Figura 1). Resultados semelhantes foram obtidos por Araujo et al. (2013) que ao estudarem dois diferentes manejos de colheita de cana-de-açúcar também constataram que os valores dos potenciais de capacidade de campo (CC), do ponto de murcha permanente (PMP) e da resistência do solo à penetração (RP), aumentaram com a densidade do solo.

Observou-se ainda que a medida em que se aumentou a umidade do solo no momento da colheita houve diminuição na quantidade de água retida disponível para as plantas devido a diminuição do intervalo hídrico ótimo, e o aumento da densidade do solo (Figura 1 e 2). Em estudo avaliando controle de tráfego em colheita mecanizada de cana-de-açúcar Roque et al. (2011) também encontraram que os valores de quantidade de água que se encontra entre a PMP e a CC diminuiu conforme aumentou a densidade do solo. Nas duas profundidade avaliadas, o T1 foi a condição de solo com menor umidade no momento da colheita e obtiveram maiores valores de intervalo hídrico ótimo, comparado aos demais tratamentos. Esse aspecto demonstra menor potencial de compactação com o solo mais seco, agravando o processo com o aumento da umidade do solo por ocasião do tráfego na colheita.

O processo de compactação do solo pode ser atribuído tanto à diminuição do espaço poroso entre os agregados, ocorrendo um rearranjo destes na matriz do solo, como à ruptura e destruição dos agregados, havendo rearranjo e orientação das partículas, o que resulta numa massa coesa na matriz do solo (HORN et al., 1995). Esses processos vão depender do conteúdo de água do solo e da pressão externa aplicada ao solo pelos sistemas de manejo adotados (SILVA e CABEDA, 2006).

Para os tratamentos T1 e T2 o fator limitante superior foi a porosidade de aeração, enquanto para os tratamentos T3 e T4 o fator limitante superior foi a CC até densidade de $1,41 \text{ g cm}^{-3}$, após isso o fator limitante superior passa a ser a porosidade de aeração, o que sugere que quando a densidade do solo atinge valores superiores a $1,41 \text{ g cm}^{-3}$, e o solo estiver na capacidade de campo, a difusão de oxigênio, pode ser insatisfatória, acarretando condições físicas desfavoráveis para o crescimento da cana-de-açúcar (Figura 1 e 2).

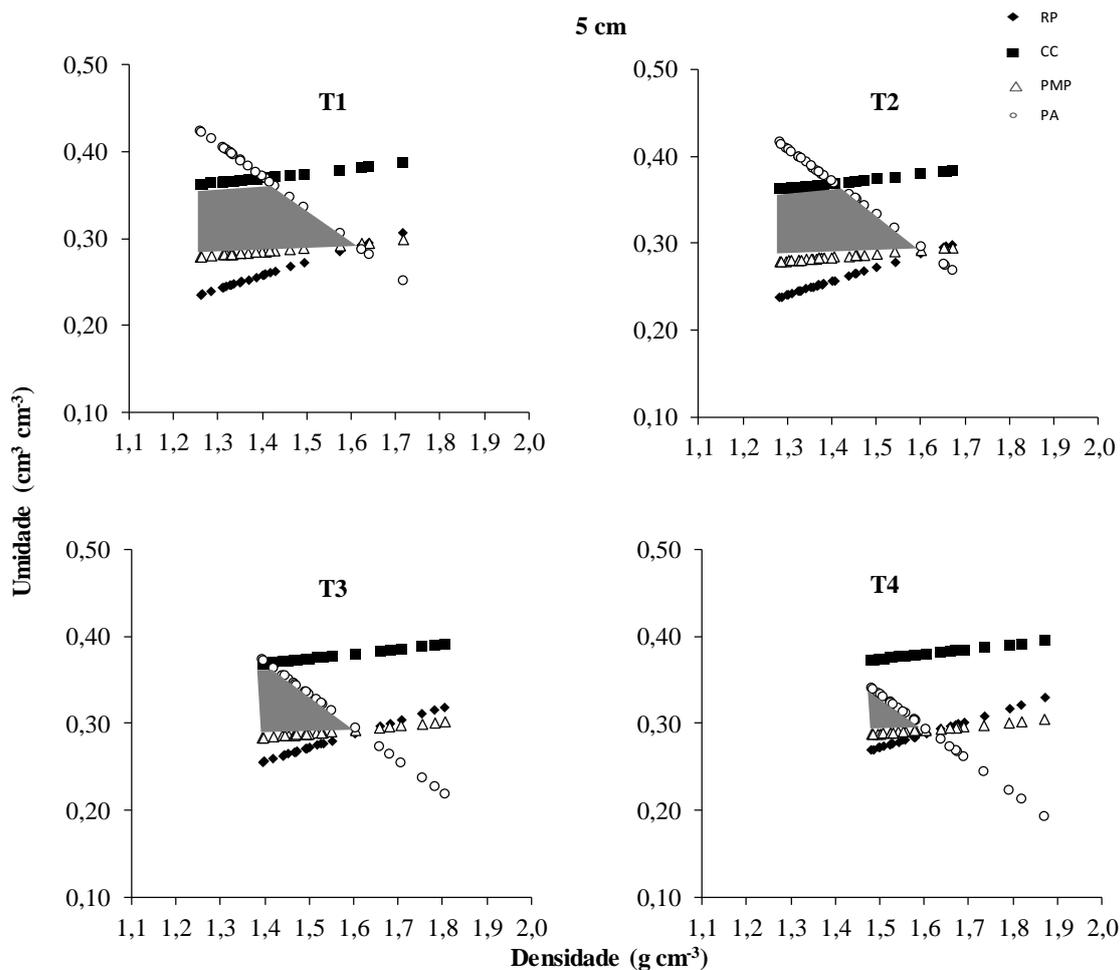


FIGURA 1. Variação da umidade do solo, na profundidade centrada em 5 cm, na capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), porosidade de aeração de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (PA) e resistência do solo à penetração de $2,0 \text{ MPa}$ (RP), em função de alterações na densidade de um Latossolo Vermelho distroférrico após colheita mecanizada de cana-de-açúcar sob as seguintes umidades do solo, T1 - umidade no limite de plasticidade com $0,16 \text{ g g}^{-1}$ de umidade; T2 - $0,19 \text{ g g}^{-1}$ de umidade; T3 - $0,21 \text{ g g}^{-1}$ de umidade; T4 - no limite de capacidade operacional contendo $0,24 \text{ g g}^{-1}$ de umidade. Dourados, UFGD, 2015.

A porosidade de aeração limitante apresentou restrições ao crescimento das plantas em níveis de compactação inferiores à densidade do solo crítica do IHO apenas no tratamento T2 da profundidade centrada em 5 cm.

Em todos os tratamentos o limite inferior do IHO foi dado pelo PMP até um valor de densidade do solo próximo de $1,61 \text{ Mg m}^{-3}$. Nesse valor de densidade do solo

também se observa geralmente o encontro das linhas da porosidade de aeração e de resistência à penetração, definindo um valor de densidade crítica.

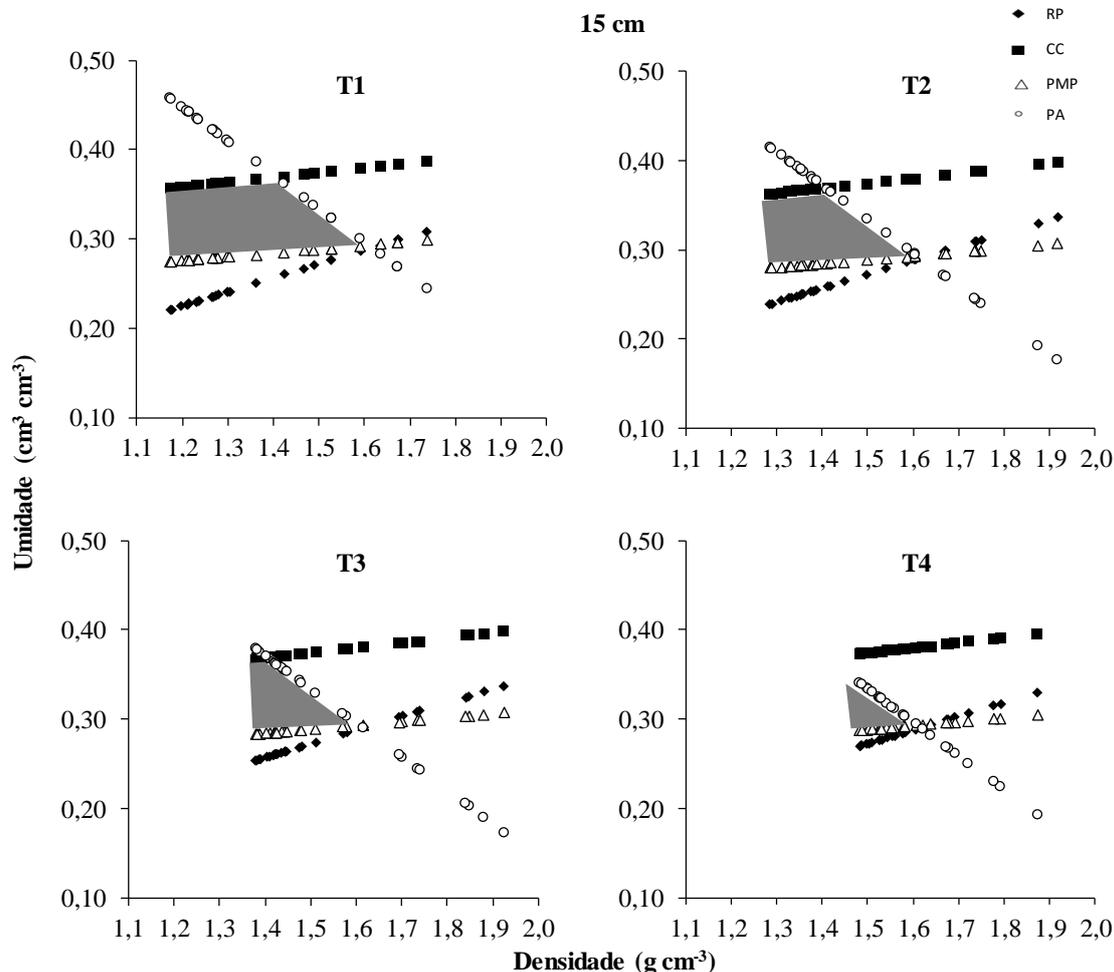


FIGURA 2. Variação da umidade do solo, na profundidade centrada em 15 cm, na capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), porosidade de aeração de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (PA) e resistência do solo à penetração de 2,0 MPa (RP), em função de alterações na densidade de um Latossolo Vermelho distroférico após colheita mecanizada de cana-de-açúcar sob as seguintes umidades do solo, T1 - umidade no limite de plasticidade com $0,16 \text{ g g}^{-1}$ de umidade; T2 - $0,19 \text{ g g}^{-1}$ de umidade; T3 - $0,21 \text{ g g}^{-1}$ de umidade; T4 - no limite de capacidade operacional contendo $0,24 \text{ g g}^{-1}$ de umidade. Dourados, UFGD, 2015.

Segundo Taylor et al. (1966), o valor de resistência do solo à penetração de 2,0 MPa, promove significativa restrição ao crescimento radicular de culturas em sistemas de preparo convencional, com a resistência determinada com a umidade na capacidade de campo (0,01MPa). Entretanto, segundo esses autores, em solos não revolvidos anualmente, são toleráveis valores de resistências até 4,0MPa, devido à permanência e

continuidade de poros, atividade biológica mais ativa e maior estabilidade de agregados. Vários autores também verificaram a influência da RP para o IHO do solo sob sistemas de manejo, inclusive no cultivo de cana-de-açúcar (LEÃO et al. 2004; BEUTLER et a. 2006; SILVA 2008; PEREIRA 2010; PEREIRA et al. 2012), nos quais a RP foi o fator que mais freqüentemente reduziu o IHO em solos sob diferentes condições de textura e manejo (ASSIS et al., 2009).

CONCLUSÃO

O aumento da umidade do solo no momento da colheita diminui a qualidade física hídrica do solo, determinada pelo Intervalo Hídrico Ótimo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, F. S.; SOUZA, Z.; SOUZA, G.; MATSURA, E. E.; BARBOSA, R. S.. Espacialização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho em dois sistemas de colheita de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 6, p. 651-660, 2013.
- ASSIS, R. de; LAZARINI, G. D; LANÇAS, K. P.; CARGNELUTTI FILHO, A. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.4, p.558-568, 2009.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A. P.; BARBOSA, J. C. intervalo hídrico ótimo e produtividade de cultivares de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n.3, p. 639-645, 2006.
- BENJAMIN, J.G.; NIELSON, D.C.; VIGIL, M.F. Quantifying effects of soil conditions on plant growth and crop production. **Geoderma**, Amsterdam, v.116, n.1, p.137-148, 2003.
- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SILVA, A.P.; BARBOSA, J.C. Intervalo hídrico ótimo e produtividade de cultivares de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.3, p.639-645, 2006.
- BLAINSKI, E.; GONÇALVES, A.C.A.; TORMENA, C.A.; FOLEGATTI, M.V.; GUIMARÃES, R.M.L. Intervalo hídrico ótimo num Nitossolo Vermelho distroférrico 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.
- ENGELAAR, W. M. H. G.; MATSUMARU, T.; YONEYAMA, T. Combined effects of soil water logging and compaction on rice (*Oryza sativa* L.) growth, soil aeration, soil N transformation and 15N discrimination. **Biogeochemistry of Soils**, Berlin, v. 32, n. 6, p. 484-493, 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.
- IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; DIAS JÚNIOR, M.S.e TORMENA, C.A. Quantificação de pressões críticas para o crescimento de plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n.1, p.11-18, 2001.
- LEÃO, T. P.; SILVA, A. P. A Simplified excel algorithm for estimating the least limiting water range of soils. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 61, n.6, p.649-654, 2004.
- LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, New York, v.1, n.1, p.277-297, 1985.
- 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.

PEREIRA, P. V. **Avaliação da qualidade física de solos em áreas irrigadas na Chapada do Apodi**, Ceará. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal do Ceará, Brasil, 2010.

PEREIRA, P. V.; ORTIZ-ESCOBAR, M. E.; ROCHA, G. C.; ASSIS JUNIOR, R. N.; OLIVEIRA, T. S. Evaluation of soil physical quality of irrigated agroecosystems in a semi-arid region of North-eastern Brazil. **Soil Research**, Collingwood, v. 50, n.6, p.455-464, 2012.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, n.3, p.211-216, 1988.

ROQUE, A.A.O.; SOUZA, Z.M.; ARAÚJO, 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, p.1536-1542, 2011.

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

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.; COSTA, S.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JÚNIOR, 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, v.32, n.4, p.1419-1427, 2008.

SEVERIANO, E. C.; OLIVERA, G. C de; CURI, N.; DIAS JUNIOR, M. de S.. 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.1, p.1775- 1781, 1994

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.2, p.1775-1781, 1994.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S. Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n.1, p. 1-10, 2008.

SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; IMHOFF, S. Intervalo hídrico ótimo. In: MORAES, M.H.; MÜLLER, M.M.L. & FOLONI, J.S.S. **Qualidade física do solo: Métodos de estudo – sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal, Funep, 2001. p.1-20.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER, J. R. 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.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.4, p.573-581, 1998.

ARTIGO 2

CAPACIDADE DE SUPORTE DE CARGA DE UM LATOSSOLO APÓS COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM TEORES DE ÁGUA

RESUMO

Em áreas canavieiras, a compactação tem ocorrido em virtude das operações de manejo que envolve o tráfego de equipamentos em umidades impróprias do solo. Baseado nesse fato torna-se importante quantificar as possibilidades de alteração estrutural do solo que promovem compactação expressa pela capacidade de suporte de carga do solo. Objetivou-se avaliar a capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho distroférico, após colheita de cana-de-açúcar em umidades do solo. O estudo foi realizado em área comercial, durante o ano agrícola de 2013/14. O solo da área apresentou 612 g kg⁻¹ de argila, 274 g kg⁻¹ de silte e 114 g kg⁻¹ de areia. O delineamento em blocos casualizados (4x2), sendo quatro umidades e duas profundidades com quatro repetições. As umidades de solo foram definidas no momento em que se realizou a colheita e foram as seguintes: T1- umidade no limite de plasticidade com 0,16 g g⁻¹; T2- 0,19 g g⁻¹ de umidade; T3- 0,21 g g⁻¹ de umidade; T4- no limite de capacidade operacional contendo 0,24 g g⁻¹ de umidade. As profundidades foram definidas previamente em ensaios para detecção de limitação, e centradas em 5 e em 15 cm. Colheitas mecanizadas de cana-de-açúcar em solos mais úmidos promovem diminuição nos valores de capacidade de suporte de carga do solo. Assim prejudicam a sua qualidade estrutural.

Palavras chave: Compactação do solo, pressão de preconsolidação, tráfego de máquinas

LOAD SUPPORT CAPACITY OF A LATOSOL AFTER SUGARCANE MECHANICAL HARVEST AND SOIL WATER CONTENTS.

ABSTRACT

In sugarcane areas, compaction has occurred due to management operations involving equipment traffic on unsuitable soil moisture. Based on this fact it is important to quantify the potential of a structural change that promotes soil compaction expressed by soil load support capacity. The objective was to assess the load-bearing capacity of an distroferric Red Latossol (Oxisol) after harvesting sugarcane on soil moisture. The study was conducted in a commercial area during the agricultural year of 2013/14. The soil in the area showed 612 g kg⁻¹ clay, 274 g kg⁻¹ silt and 114 g kg⁻¹ sand. The randomized block design (4x2), four humidity and two depths with four replications. The soil moisture content was set when held harvest and were as follows: T1 moisture in the plastic limit to 0.16 g g⁻¹; T2 0.19 g g⁻¹ humidity; T3 0.21 g g⁻¹ humidity; T4 in operating capacity limit containing 0.24 g g⁻¹ humidity. The depths previously defined in assays for the detection limit, and centered at 5 and 15 cm. Mechanized harvesting of sugarcane in wetter soils promote decrease in the amount of soil load support capacity. Thus jeopardize its structural quality.

Key words: Soil compaction, modelling, preconsolidation pressure, Machine traffic.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é relevante por ser o maior produtor mundial, com aproximadamente 9,07 milhões de hectares plantados e estimativa de 654,6 milhões de toneladas a serem moídas, com uma produtividade média de 70,49 a 72,17 Mg ha⁻¹ estimado para a safra 2015/16 (CONAB, 2015).

O aumento de área plantada de cana-de-açúcar, e prolongamento de épocas chuvosas, faz com que o período de entre safra seja reduzido. Essa redução pode comprometer a estrutura do solo, em decorrência da colheita mecanizada da cana-de-açúcar na estação chuvosa. Dessa forma, faz-se necessário definir estratégias que visam minimizar este processo (SEVERIANO et al., 2009). A carência de informações precisas sobre as alterações físicas e químicas dos solos submetidos ao cultivo de cana-de-açúcar acaba dificultando a identificação dos fatores responsáveis por possíveis quedas de produtividade e, conseqüentemente, a implantação de práticas de manejo mais adequadas na manutenção das condições agrícolas dos solos (SILVA e RIBEIRO, 1995).

Tanto o conteúdo de água do solo como diferentes sistemas de manejo que podem ser praticados, por ocasião em que o solo vai estar exposto ao tráfego de equipamentos podem promover alterações em seus parâmetros de compressibilidade (SILVA e CABEDA, 2006). Quando se diminui o período de entressafra avançando o procedimento de colheita mesmo quando o solo está em condições de umidade inadequadas acaba provocando diversos impactos no solo, destacando-se o processo de compactação. A compactação do solo em áreas agrícolas tem sido apontada como um problema enfrentado por produtores, em especial nas áreas com solos argilosos (ROSIM et al., 2012) que afeta as propriedades e funções físicas, químicas e biológicas do solo, sendo uma das principais causas da degradação das áreas agrícolas. Em áreas canavieiras, a compactação tem ocorrido em virtude das operações de manejo que envolve o tráfego de equipamentos em conteúdos inadequados de água no solo (SEVERIANO et al., 2008). Dessa forma, a mecanização da colheita pode influenciar a produção e a longevidade da cultura, os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, resultando em danos ambientais (SOUZA et al., 2005).

Uma das formas de se avaliar o estado da qualidade estrutural do solo é por meio da capacidade de suporte de carga, que é definida como a capacidade da estrutura do solo em resistir a tensões induzidas pelo tráfego de equipamentos ou pisoteio animal,

sem mudanças no arranjo tridimensional das partículas constituintes do solo, em uma determinada umidade ou potencial matricial (ALAKUKKU et al., 2003). O entendimento do processo de compressão é essencial para estimar as alterações que podem ocorrer na estrutura do solo, quando submetido a determinada pressão externa (LIMA et al., 2006).

A pressão de preconsolidação (σ_p) é definida como a maior pressão que o solo já suportou no passado (DIAS JUNIOR e PIERCE, 1996) e é uma medida da capacidade de suporte de carga do solo. A σ_p é obtida a partir da curva de compressão do solo, que relaciona a densidade do solo (ou índice de vazios) com o logaritmo da pressão a ele aplicada. A aplicação no solo de pressões menores do que a pressão de preconsolidação causa deformações elásticas, portanto recuperáveis; já a aplicação de pressões maiores causa deformações plásticas, não recuperáveis (HOLTZ e KOVACS, 1981). Essa propriedade tem sido utilizada por diversos autores como indicador de sustentabilidade da estrutura do solo em uma dada umidade e, ou, potencial matricial (KONDO e DIAS JUNIOR, 1999; IMHOFF et al., 2001; SILVA et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2003; DIAS JUNIOR et al., 2005).

Objetivou-se avaliar a capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho distroférico, após a colheita de cana-de-açúcar em umidades do solo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em área comercial da Usina Monte Verde (BUNGE-SA), no município de Ponta Porã, MS, durante o ano agrícola de 2013/14. A área se localiza à latitude de 22° 1' 53'' S e longitude 55° 07' 56'' W e 400 m de altitude. De acordo com a classificação de Köppen o clima é Cwa, mesotérmico úmido, com chuvas no verão e seco no inverno.

O solo na área do experimento foi um Latossolo Vermelho distroférrico, cuja análise textural e química apresentou 612 g kg⁻¹ de argila, 274 g kg⁻¹ de silte e 114 g kg⁻¹ de areia. As características químicas foram: pH (H₂O) = 5,24; Ca²⁺ = 60,35 mmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 14,37 mmol_c dm⁻³; Al³⁺ = 0,0 mmol_c dm⁻³; H + Al = 24,88 mmol_c dm⁻³; P = 16,97 mg dm⁻³; K = 14,12 mmol_c dm⁻³; e matéria orgânica = 32 g Kg⁻¹ (EMBRAPA, 1997).

A área experimental foi instalada em local de cultivo comercial de cana-de-açúcar sendo que se tratava de cana soca de quarto ano. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (4x2), sendo quatro umidades de solo e duas profundidades, com quatro repetições. As umidades do solo foram determinadas no momento da realização da colheita mecanizada e definiram os seguintes tratamentos: T1- umidade no limite de plasticidade com 0,16 g g⁻¹; T2- 0,19 g g⁻¹ de umidade; T3- 0,21 g g⁻¹ de umidade; T4- no limite de capacidade operacional contendo 0,24 g g⁻¹ de umidade. As profundidades foram estabelecidas previamente em ensaios para detecção de limitação, e foram centradas em 5 e em 15 cm.

Os equipamentos utilizados para a colheita de cana-de-açúcar foram uma colhedora modelo 360 H, com massa de 15 Mg. Trator utilizado na tração dos transbordos, modelo 6180J, com 132,5 kW de potência, com 10,3 Mg de massa, distribuídos em dois pneus dianteiros 16,9R28 com pressão de insuflagem de 0,14 MPa e dois pneus traseiros 650/75R32 com pressão de insuflagem de 0,12 MPa. Esse trator rebocou dois transbordos de 8 Mg de massa cada um, distribuída em quatro pneus de alta flutuação modelo 600/50-22,5 com pressão de insuflagem de 0,38 MPa, com capacidade para carregar até 10 Mg de cana-de-açúcar, sendo dois transbordos acoplados ao trator. A colheita foi realizada estando os transbordos cheios e o solo com diferentes as umidades, conforme os tratamentos.

Após a colheita da cana-de-açúcar nas umidades do solo, as amostras com estrutura preservadas foram coletadas a 40 cm da linha de plantio em cilindros

metálicos com 6,45 cm de diâmetro e 2,54 cm de altura, em sete pontos escolhidos aleatoriamente nas parcelas experimentais em cada bloco totalizando 28 amostras por profundidade para cada tratamento.

Após o preparo das amostras, essas foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingir cerca de dois terços da altura do anel para posterior estabilização da umidade da amostra. As 28 amostras de cada tratamento e profundidade foram divididas em sete grupos de quatro amostras, e cada grupo submetido às seguintes tensões: -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 as demais tensões, conforme Klute (1986). Macroporos foram estimados como a diferença entre o conteúdo de água do solo saturado e o conteúdo de água do solo após a aplicação da tensão de -0,006 MPa, como proposto em Embrapa (1997).

Quando as amostras atingiram o equilíbrio nas referidas tensões, 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, 1966). 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 colocando-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 (1994). A seguir, as pressões de preconsolidação (σ_p) com os valores de umidade volumétrica (θ) foram ajustadas por meio do programa computacional, a 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 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 [$\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$] foi

aplicado 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).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A classificação para o coeficiente de variação (CV) proposta por Warrick e Nielsen (1980) foi adotada para todas as profundidades estudadas. Os atributos de solo estudados apresentaram valores de CV baixos (<20) (Quadro 1). Segundo Vanni (1998), um CV de mais de 35% mostra que o conjunto de dados é heterogênea e a média é pouco relevante. Em trabalho realizado por Araujo et al. (2013) avaliando atributos físico hídricos de um Latossolo Vermelho sob cultura de cana-de-açúcar com colheita mecanizada ou manual, constataram valores de CV menores que 15%, exceto para os valores de macroporosidade.

QUADRO 1. Densidade (Ds), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e porosidade total (Pt) nos tratamentos e profundidades avaliadas em um Latossolo Vermelho distroférico

Tratamentos ⁽¹⁾	Ds (Mg m ⁻³)	Macro (m ³ m ⁻³)	Micro (m ³ m ⁻³)	Pt (m ³ m ⁻³)
5 cm				
T1	1,29 c	0,101 a	0,269 c	0,371 b
T2	1,44 b	0,071 b	0,375 b	0,446 ab
T3	1,49 ab	0,055 bc	0,389 ab	0,443ab
T4	1,57 a	0,042 c	0,459 a	0,502 a
F	21,00 **	25,63**	20,89 **	8,990**
CV%	3,55	15,04	9,20	8,12
15 cm				
T1	1,23 d	0,099 a	0,309 a	0,409 a
T2	1,41 c	0,082 ab	0,376 a	0,457 a
T3	1,52 b	0,056 bc	0,434 a	0,489 a
T4	1,67 a	0,041 c	0,456 a	0,497 a
F	54,20**	14,35**	3,70 ^{ns}	1,473 ^{ns}
CV%	3,44	19,81	17,28	14,25

⁽¹⁾ T1 - umidade no limite de plasticidade com 0,16 g g⁻¹ de umidade; T2 - 0,19 g g⁻¹ de umidade; T3 - 0,21 g g⁻¹ de umidade; T4 - no limite de capacidade operacional contendo 0,24 g g⁻¹ de umidade. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01). As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Nas profundidades de 5 e 15 cm observa-se que os valores de densidade do solo aumentaram com a umidade do solo por ocasião da operação de colheita mecanizada, enquanto os valores de macroporosidade diminuíram (Quadro 1). Na profundidade de 5 cm não houve diferença entre T3 e T4 para densidade, macroporosidade e microporosidade do solo, já para porosidade total, não houve diferença entre T2, T3 e

T4. Contudo as operações de colheita da cultura da cana-de-açúcar em solo mais seco (T1) proporcionou menor degradação da qualidade física do solo, devido ao solo estar menos úmido, comparado com as operações realizadas em solos mais úmidos (Quadro 1).

Na profundidade de 15 cm os valores de densidade aumentaram com a umidade do solo durante a colheita e se diferenciaram para todos os tratamentos (Quadro 1). Os valores de macroporosidade diminuíram com a umidade e foram iguais entre T1 e T2 sendo que T2 não diferiu de T3 e T1 foi maior que T4. Não havendo diferença para os valores de microporosidade e porosidade total para os tratamentos avaliados (Quadro 1).

Houve uma relação inversa entre os valores de macroporos e microporos, conforme aumentou a umidade do solo após a colheita, ocorreu a diminuição dos valores de macroporos e aumento dos valores de microporos. Szymczak (2013) ao estudar os efeitos da compactação causada, em um Latossolo Vermelho distroférico, devido às etapas de colheita de *Pinus taeda* L. realizada em três diferentes umidades do solo, observou a mesma relação inversa entre estes dois fatores.

A compactação traz consequências negativas à porosidade do solo, como a redução de macroporosidade, fato não observado para a microporosidade do solo. Isso ocorre devido ao rearranjo de partículas do solo e desestruturação de seus agregados, após a compactação causada pela colheita mecanizada. Garbiate et. al. (2014) ao trabalhar com diferentes manejos de escarificação de soqueiras de cana-de-açúcar, constatou as mesmas relações sobre macroporosidade, microporosidade e porosidade total.

Os valores de macroporosidade na camada de 5 e 15 cm de profundidade foram abaixo do valor considerado crítico às plantas que é $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (PAGLIAI et al., 2003) em todos os tratamentos logo após a operação de colheita mecanizada, exceto para o tratamento T1 na profundidade de 5 cm (Quadro 1). Indicando prováveis limitações ao arejamento do solo em épocas mais úmidas, como relatado por Collares et al. (2008) ao estudarem a influência de estados de compactação sobre a densidade e porosidade de um Latossolo Vermelho argiloso, bem como as consequências sobre o crescimento radicular de plantas após o tráfego de equipamentos. Esses autores citam que esse valor para solos argilosos já causa inibição ao suprimento adequado de oxigênio às plantas, sendo necessários valores mais altos que $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de macroporos. Além de proporcionar aeração no solo, a macroporosidade tem papel importante no crescimento do sistema radicular das plantas, pois as raízes crescem pelos espaços dos macroporos

como relatado por Bergamin et al. (2010) que estudaram os efeitos da compactação em um Latossolo Vermelho distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho.

Em trabalho realizado em um Latossolo Vermelho distrófico, cultivado com cana planta, cana soca de segundo e de quarto ano, Centurion et al (2007) observaram menores valores de densidade, no Latossolo Vermelho 1,39, 1,56 e 1,36 Mg m⁻³ em cana de quarto anos respectivamente nas profundidades de 0,0-10, 10-20 e 20-30 cm, concordando que há um aumento na densidade em maiores profundidades, exceto na profundidade de 20 a 30 cm. Contudo este trabalho obteve densidades maiores com 1,57 Mg m⁻³ no T4 na profundidade centrada em 5 cm e 1,67 Mg m⁻³ também no T4 na profundidade centrada em 15 cm. Observa-se o adensamento causado pelo tráfego de máquinas nas operações de colheita.

Camilotti et al. (2005) ao trabalharem com tipos de cultivos de soqueira e épocas de amostragem, sendo antes e após quatro anos de cultivo de cana-de-açúcar, observaram que houve redução da macroporosidade e consequente aumento da microporosidade nas camadas abaixo de 10 cm, resultados ligados ao manejo da cultura com alto grau de mecanização, o que pode ser atribuído à compactação do solo. Esse fato está associado principalmente à textura e à estrutura destes solos, uma vez que solos argilosos são naturalmente propensos à compactação, devido a sua alta plasticidade e coesão entre partículas, onde a resistência decresce com a umidade, chegando à formação de estruturas laminares, devido à deformação da estrutura original.

Oliveira et al. (2007) ao estudarem os efeitos da umidade e densidade nos atributos físicos do solo em um Latossolo Vermelho, concluíram que o solo antes de ser realizada ações antrópicas apresentou os menores valores de densidade e de microporosidade e os maiores valores de porosidade total e macroporosidade. Já nas áreas que sofreram ação antrópica apresentaram alguma alteração da estrutura do solo.

Houve diferença ($p < 0,01$) entre tratamentos em ambas as profundidades, exceto para as análises de microporosidade e porosidade total na profundidade centrada em 15 cm (Quadro 1), dados semelhantes foram relatados por Centurion et al., (2007) avaliaram o grau de modificação de algumas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho caulínico e de um Latossolo Vermelho caulínico-oxídico cultivados com cana-de-açúcar, observando diferenças em macroporisade, porosidade total e densidade. Em virtude do tamanho reduzido dos microporos, a água circula lentamente pela ação

das forças capilares, sendo estes poros responsáveis pela retenção e distribuição da água no solo. Segundo Beutler et al. (2002), a maior retenção de água em baixas tensões para o Latossolo Vermelho eutroférico oxidado em relação ao Latossolo Vermelho distrófico caulinitico deveu-se, entre outros fatores, à mineralogia oxidada da fração argila, que promove a formação de micropeds (microagregados) arredondados com menos de 1 mm, promovendo maior proporção de poros grandes e menor densidade do solo.

Todas as curvas ajustadas dos modelos de CSC apresentaram coeficientes de determinação (R^2) significativos a 1 % ($p < 0,01$) pelo teste de F e variaram de 0,87 a 0,95 (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 a colheita de cana-de-açúcar sob diferentes umidades do solo

Tratamentos	a			b			R^2	n
	Valor estimado	Intervalo de confiança		Valor estimado	Intervalo de confiança			
		Li	Ls		Li	Ls		
5 cm								
T1	2,89	2,83	2,95	-1,17	-1,34	-1,00	0,88**	28
T2	2,94	2,86	3,02	-1,63	-1,86	-1,39	0,89**	28
T3	3,04	2,92	3,16	-2,06	-2,38	-1,73	0,87**	28
T4	3,04	2,91	3,17	-2,25	-2,62	-1,89	0,87**	28
15 cm								
T1	3,09	3,03	3,15	-1,79	-1,97	-1,61	0,94**	28
T2	3,05	2,97	3,14	-1,84	-2,08	-1,60	0,91**	28
T3	3,25	3,14	3,37	-2,74	-3,07	-2,41	0,93**	28
T4	3,53	3,38	3,69	-3,54	-3,97	-3,11	0,92**	28

T1 - umidade no limite de plasticidade com 0,16 g g⁻¹ de umidade; T2 - 0,19 g g⁻¹ de umidade; T3 - 0,21 g g⁻¹ de umidade; T4 - no limite de capacidade operacional contendo 0,24 g g⁻¹ de umidade; Li e Ls: limite inferior e superior do intervalo de confiança 95%, respectivamente; **: significativo pelo teste “F” a 1%.

O teste de homogeneidade de modelos lineares proposto por Snedecor e Cochran (1989) foi utilizado para comparar as alterações na estrutura do solo causadas pelas umidades do solo durante a colheita mecanizada de cana-de-açúcar, nos modelos de

CSC, entre os tratamentos, dentro das profundidades (Quadro 3). Todos os tratamentos se diferenciaram entre suas possíveis comparações ($p < 0,01$) para os seus coeficientes angulares “b” e lineares “a”, em ambas as profundidades. Apenas os coeficientes angulares na comparação entre T1xT3 da camada de 5 cm de profundidade e T1xT3 e T1xT4 da camada de 15 cm não se diferenciaram (Quadro 3).

QUADRO 3. Teste de significância de acordo com Snedecor e Cochran (1989) entre os modelos de capacidade de suporte de carga [$\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$] de um Latossolo Vermelho distroférrico, nas profundidades de 5 e 15cm, após colheita mecanizada de cana-de-açúcar em umidades do solo

Tratamentos	F	F	
		Coeficiente angular, b	Coeficiente linear, a
5 cm			
T1 vs T2	NH	**	**
T1 vs T3	NH	ns	**
T1 vs T4	NH	**	**
T2 vs T3	NH	**	**
T2 vs T4	NH	**	**
T3 vs T4	NH	**	*
15 cm			
T1 vs T2	NH	**	**
T1 vs T3	NH	ns	**
T1 vs T4	NH	ns	**
T2 vs T3	NH	**	**
T2 vs T4	NH	**	**
T3 vs T4	NH	**	*

T1 - umidade no limite de plasticidade com $0,16 \text{ g g}^{-1}$ de umidade; T2 - $0,19 \text{ g g}^{-1}$ de umidade; T3 - $0,21 \text{ g g}^{-1}$ de umidade; T4 - no limite de capacidade operacional contendo $0,24 \text{ g g}^{-1}$ de umidade; F: testa a homogeneidade dos dados; b: coeficiente angular da regressão linearizada; a: intercepto da regressão linearizada; H: homogêneo; NH: não homogêneo; ns: não significativo; ** e * significativo a 1 e 5 %, respectivamente.

A partir da análise dos modelos de capacidade de carga, o solo que se encontrava com menor umidade, com $0,16 \text{ g g}^{-1}$ (T1), durante as operações de colheita de cana-de-açúcar, apresentou maiores valores de pressão de preconsolidação. Conseqüentemente suporta maior carga, tornando-se mais resistente à compactação (Figura 1). A obtenção de modelos de capacidade de suporte de carga (CSC) auxilia na determinação do melhor momento para realização das práticas de manejo do solo em função da umidade do solo,

sendo que os modelos podem variar com a umidade e a densidade do solo (BERGAMIN et al., 2010).

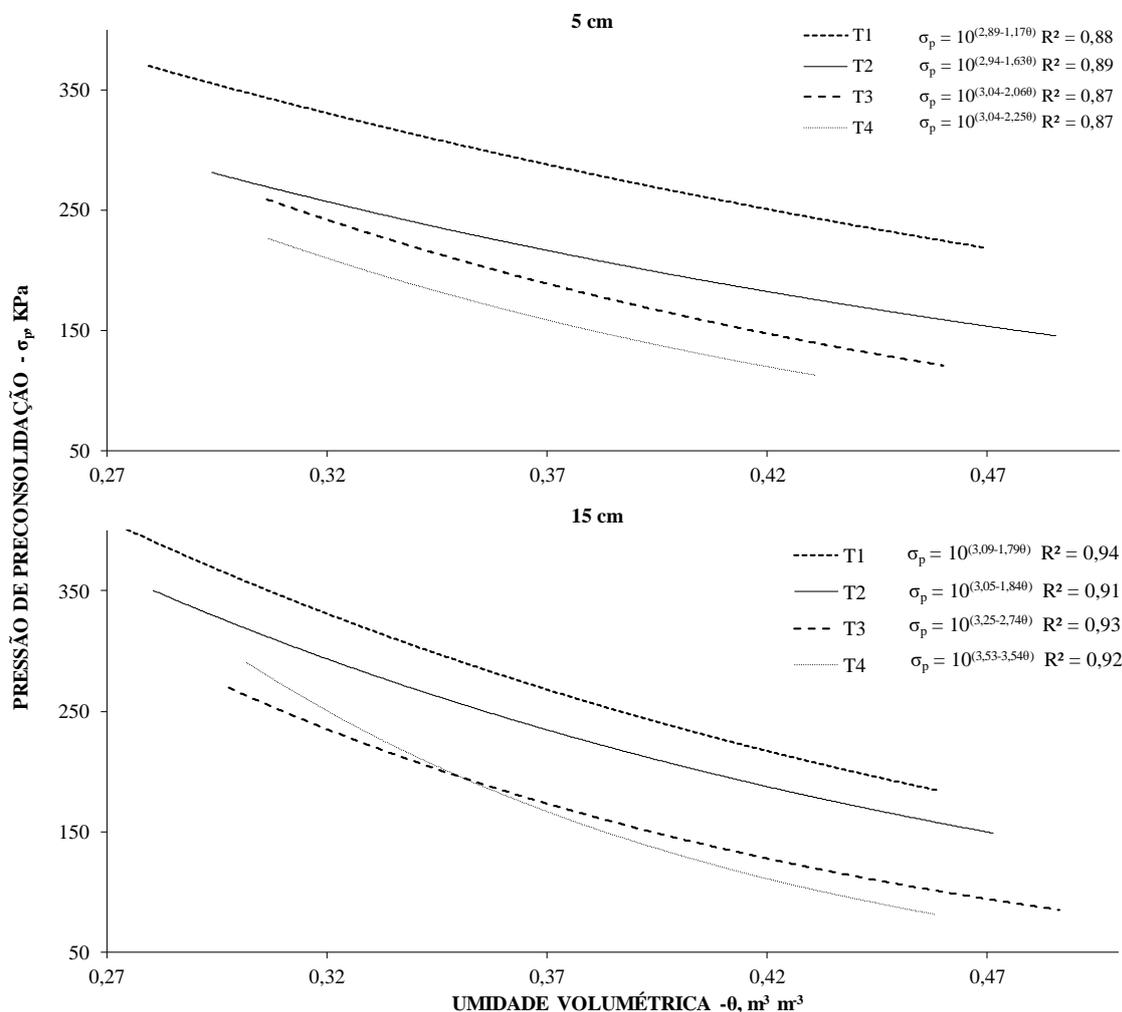


FIGURA 1. Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico, na profundidade centrada em 5 cm e 15 cm, submetido a operações de colheita de cana-de-açúcar sob as seguintes umidades do solo, T1 - umidade no limite de plasticidade com $0,16 g g^{-1}$ de umidade; T2 - $0,19 g g^{-1}$ de umidade; T3 - $0,21 g g^{-1}$ de umidade; T4 - no limite de capacidade operacional contendo $0,24 g g^{-1}$ de umidade. Dourados, UFGD, 2015.

Em todos os modelos de CSC dos tratamentos estudados, observa-se que a σ_p variou significativa e inversamente com a umidade do solo (Figuras 1). Conforme relatado por Pacheco e Cantalice (2011), a σ_p torna-se menor à medida que o solo fica mais úmido, pois a água diminui a coesão entre as partículas sólidas, reduzindo o atrito,

resultando em um decréscimo exponencial da σ_p com o aumento da umidade. Resultados semelhantes foram relatados por Severiano et al. (2010); Kondo e Dias Junior (1999); Silva et al. (2002); Silva e Cabeda (2006).

Ao avaliar a compactação em áreas de colheita, Sampietro (2010) constatou que a elevação da umidade propiciou redução da capacidade de suporte de carga do solo, expressa pela pressão de preconsolidação, o que ocasionou em aumento da susceptibilidade do solo a compactação.

Pode-se inferir que quanto mais baixa a umidade, mais resistente fica a matriz do solo, conferindo a este maior resistência às deformações provocadas por pressões externas, suportando maiores cargas. Logo as operações de colheita em menores umidades, melhora o ambiente do solo proporcionando melhores condições de desenvolvimento da cultura.

Severiano et al. (2008) avaliaram os efeitos da realização da colheita da cana-de-açúcar em umidades no solo, após o tráfego de equipamentos constatando, por meio da curva de pressão de preconsolidação, que o incremento no conteúdo de água dos solos torna o solo mais susceptível a compactação. Estes mesmos autores compararam um Latossolo Vermelho com um Cambissolo Háplico (CX), onde o CX apresentou maiores capacidade de suportar cargas sob umidades do solo, o que poderia ser um fator determinante nas alterações estruturais, dada a relevância da umidade no processo de compactação do solo. Segundo os autores tal fato é influenciado pela estrutura granular do Latossolo Vermelho, enquanto nos Cambissolos a estrutura em blocos confere a maior resistência à compactação, mesmo em maiores conteúdos de água no solo.

Silva et al. (2002) determinaram a pressão de preconsolidação e o índice de compressão de dois solos com texturas e manejos contrastantes, em duas profundidades, e avaliaram suas relações com o grau de umidade para cada solo. Os valores da σ_p na camada superficial do Latossolo sob plantio direto foram superiores nos conteúdos de água no espaço poroso do solo de até $0,15 \text{ g g}^{-1}$ em relação a maiores graus de umidades no solo. Para este tipo de solo, com a densidade de $1,30$ a $1,45 \text{ Mg m}^{-3}$, ao aumentar o grau de saturação de $0,46$ a $0,60 \text{ g g}^{-1}$ para $0,61$ a $0,75 \text{ g g}^{-1}$ de água no espaço poroso deste solo houve a diminuição nos valores da σ_p de $1,6$ vez na condição de plantio direto, nas duas profundidades. Isso comprova que a condição de umidade do solo é fator determinante da capacidade de suporte de carga do solo. Quando seco, o solo é bastante coeso e apresenta grande resistência à compactação, mas, à medida que vai umedecendo, ocorre a formação de um pequeno filme de água entre os agregados do

solo, facilitando o deslocamento e o rearranjo das partículas sólidas da matriz do solo, diminuindo a resistência do solo à compactação.

Araújo-Júnior et al. (2011) avaliaram manejos em um Latossolo Vermelho distroférrico, modelos de capacidade de carga e, com o modelo ajustado a partir dos dados de pressão de preconsolidação, obtiveram o maior valor de pressão de preconsolidação inferiores a 400 kPa avaliando amostras coletadas no centro das camadas de 0-3, 10-13 cm e 25-28 cm.

Verifica-se que a utilização de equipamentos na colheita da cana-de-açúcar pode acarretar alterações na estrutura do solo que variam de intensidade com a variação da umidade, sendo que a operação realizada em solo seco proporciona menores alterações na estrutura, preservando melhores condições de desenvolvimento radicular e produção. Por outro lado, a colheita em solo com umidade inadequada pode criar condições de compactação que restringem a sustentabilidade do sistema de produção.

CONCLUSÃO

Solos mais úmidos no momento da colheita promovem menor capacidade de suporte de carga do solo. A colheita mecanizada de cana-de-açúcar em solos com umidades mais baixas preservam sua qualidade estrutural.

Os Latossolos Vermelho distroférico tendem a ter menor capacidade de suporte de carga, induzida por pressão externa resultante da mecanização da colheita quando realizada com maiores umidades do solo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALAKUKKU, L.; WEISSKOPF, P.; CHAMEN, W.C.T.; TIJINK, F.G.J.; van der LINDEN, J.P.; PIRES, S.; SOMMER, C.; SPOOR, G. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: A review. Part I - Machine/soil interactions. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.73, n.1, p.145-160, 2003.

ARAUJO-JUNIOR, C. F.; DIAS JUNIOR, M. de. 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, n.1, p.115-131, 2011

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.

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, 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.

BUSSCHER, W.J. Adjustment of that-tipped penetrometer resistance data to a common water content. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.33, n.2, p.519-524, 1990.

CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; DIAS, F. L. F.; CASAGRANDE, A. A.; SILVA, A. R. DA; MUTTON, M. A.; CENTURION, J. F. Efeito prolongado de sistemas de preparo do solo com e sem cultivo de soqueira de cana crua em algumas propriedades físicas do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, 2005.

CENTURION, J. F; FREDDI, O. da; ARATANI, R. G.; METZNER, A. F. M; BEUTLER, A. N.; ANDRIOLI, I. Influência do cultivo da cana-de-açúcar e da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos Vermelhos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.3, p.199-209, 2007.

CENTURION, J.F.; BEUTLER, A.N.; SOUZA, Z.M. Physical attributes of kaolinitic and oxidic oxisols resulting from different usage systems. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v.47, n.5, p.725-732, 2004.

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERTJ. M.; KAISER, D. R. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 933-942, 2008.

DIAS JUNIOR, M.S.; LEITE, F.P.; LASMAR JÚNIOR, E.; ARAUJO JUNIOR, C.F. Traffic effects on the soil preconsolidation pressure due to Eucalyptus harvest operations. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v.62, n.3, p.248-255, 2005.

DIAS JUNIOR, M.S.; PIERCE, F.J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.2, p.175-182, 1996.

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.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: 1997. 212 p.

GARBIATE, M. V.; VITORINO, A. C. T.; MAUAD, M.; BERGAMIN, A. C. Atributos físicos de latossolo escarificado em área cultivada com cana-de-açúcar. **Revista de Ciências Agrárias\Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, Belém, v.57, n.4, p. 335-341, 2014.

HOLTZ, R.D., KOVACS, W.D. **An introduction to geotechnical engineering**. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1981. 733p.

IAIA, A.M.; MAIA, J.C.S.; KIM, M.E. Uso do penetrômetro eletrônico na avaliação da resistência do solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.2, p.523-530, 2006.

LIMA, C. L. R.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S.; LEÃO, T. 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.5, p.217-223, 2006.

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.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: BLACK, C.A., ed. **Methods of Soil Analysis. I. Physical and mineralogical methods**. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p. 635-662.

KONDO, M. K.; DIAS JUNIOR, M. de S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n.3, p. 211-218, 1999.

KONDO, M.K. **Variabilidade espacial do comportamento compressivo do solo e mapas de trafegabilidade na cultura do cafeeiro irrigado**. Tese (Doutorado em Agronomia). Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2003. 166p.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; CURTI, N.; RESCK, D.V.S. Compressibilidade de um Latossolo Vermelho argiloso de acordo com a tensão de água no solo, uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.5, p.773-781, 2003.

OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; MELLO, C. R. Dinâmica da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho da Microrregião de Goiânia, GO. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.3, p.265–270, 2007.

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.

PAGLIAI, M.; MARSILI, A.; SERVADIO, P.; VIGNOZZI, N.; PELLEGRINI, S. Changes in some physical properties of a clay soil in central Italy following the passage of rubber tracked and wheeled tractors of medium power. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.73, n. 1, p. 119–129, 2003.

RALISCH, R.; MIRANDA, T. M. N.; OKUMURA, R. S.; BARBOSA, G. M. de C.; GUIMARÃES, M. de F.; SCOPEL, E.; BALBINO, L. C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 381-384, 2008.

ROSIM, D. C.; MARIA, I. C. de; LEMOS, R.; SILVA, A. P. da. Compactação de um Latossolo Vermelho distroférrico com diferentes quantidades e manejos de palha em superfície. **Bragantia**, Campinas, v.71, n.4, p. 502-508, 2012.

SAMPIETRO, J. A. **Compactação de Cambissolo e Neossolos causada pela colheita de madeira com *Feller-Buncher e Skidder***. 2010. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – UNICENTRO, Irati, 2010.

SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JÚNIOR, M. S.; CASTRO, M. B. de; OLIVEIRA, L. F. C. de; COSTA, K. A. de P. Compactação de Solos Cultivados com Cana-de-açúcar: II - Quantificação das Restrições às Funções Edáficas do Solo em Decorrencia da Compactação Prejudicial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 414-423, 2010.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. SOLIVEIRA, L. F. C. de.; CASTRO, M. B. de. Pressão de preconsolidação e intervalo hídrico ótimo como indicadores de alterações estruturais de um Latossolo e de um Cambissolo sob cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1419-1427, 2008.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V. Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 921-930, 2006.

SILVA, R.B.; DIAS JUNIOR, M.S.; SILVA, F.A.M.; FOLE, S.M.O. O tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um Latossolo dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 211-218, 2003.

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

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; Fatores controladores da compressibilidade de um argissolo vermelho-amarelo distrófico arênico e de um latossolo vermelho distrófico típico. II - grau de saturação em água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 1-8, 2002.

SILVA, M.S.L.; RIBEIRO, M. R.; Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar nas propriedades químicas de solos argilosos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 30, n. 3, p. 389-394, 1995.

SOUZA, Z.M.; PRADO, R.M.; PAIXÃO, A.C.S.; CESARIN, L.G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 3, p. 271-278, 2005.

SZYMCZAK, D. A. **Compactação do solo causada pelos tratores florestais *Harvester e Forwader* na colheita de *Pinus taeda* L.** 2013. 83 f. Dissertação (Mestrado em Silvicultura) – UFSM, Santa Maria, 2013.

THEBALDI, M. S.; ALVARENGA, L. A.; DURÃES, M. F.; FRANCO, C. S.; DE PAULA, M. F.; MARQUES, V. Modelo de capacidade de suporte de carga de dois solos e impacto por tráfego humano. **Revista Agrotecnologica**, Anápolis, v. 3, n. 1, p. 57-69, 2012.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. **Applications of soil physics**. New York: Academic, 1980, p. 319-344.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

No presente trabalho observa-se que a colheita de cana-de-açúcar realizada com o solo em condições de umidade inadequadas pode causar danos à qualidade estrutural do solo, avaliado pelo intervalo hídrico ótimo e pela capacidade de suporte de carga do solo. Dessa forma deve-se programar toda a logística envolvida no processo de colheita considerando a umidade do solo, visando manter a qualidade da estrutura e favorecendo a sustentabilidade econômica e ambiental do sistema de produção.