

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**NÍVEIS DE PALHIÇO, MANEJO E QUALIDADE FÍSICA
DE SOLO CULTIVADO COM CANA**

MICHELE DA SILVA GOMES

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2017**

**NÍVEIS DE PALHIÇO, MANEJO E QUALIDADE FÍSICA DE
SOLO CULTIVADO COM CANA**

MICHELE DA SILVA GOMES
Tecnóloga em Agroecologia

Orientador: PROF. DR. ANTONIO CARLOS TADEU VITORINO
Co-orientador: DR. CESAR JOSÉ DA SILVA

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
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

G631n	<p>Gomes, Michele da Silva. Níveis de palhicho, manejo e qualidade física de solo cultivado com cana. / Michele da Silva Gomes. – Dourados, MS : UFGD, 2017. 61f.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados.</p> <p>1. Escarificação. 2. Compactação. 3. Densidade do solo. 4. Intervalo hídrico ótimo. I. Título.</p>
-------	--

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD.

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

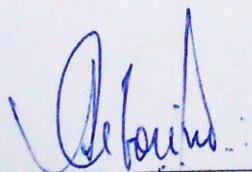
**NÍVEIS DE PALHIÇO, MANEJO E QUALIDADE FÍSICA DE SOLO
CULTIVADO COM CANA**

por

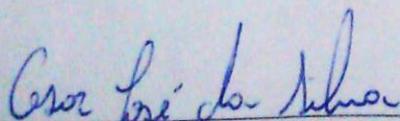
Michele da Silva Gomes

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

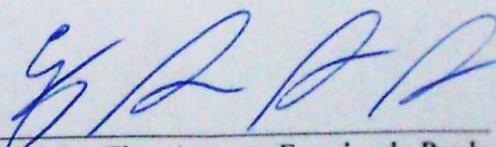
Aprovada em: 24/04/2017



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



Prof. Dr. Cesar José da Silva
Coorientador – EMBRAPA



Prof. Dr. Eber Augusto Ferreira do Prado
UFGD/FCA

DEDICO.

Em especial ao meu pais Eliete Nogueira da Silva Gomes e Valdecir Pedro Gomes, que sempre me incentivaram e apoiaram na realização deste sonho, minha eterna gratidão. A minha irmã Simone da Silva Gomes, que sempre esteve ao meu lado em todos momentos, incentivando e me motivando na busca de meus objetivos durante toda minha trajetória na vida acadêmica e pessoal. Amo vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por tantas realizações.

Ao meu orientador Professor Dr. Antônio Carlos Tadeu Vitorino, pela confiança, apoio e orientação durante esta jornada.

Ao programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFGD, pela oportunidade.

Agradeço ao pesquisador da EMBRAPA-AGROPECUÁRIA OESTE - MS Dr. César José da Silva pela oportunidade de desenvolver meu projeto e todo apoio desde a coleta para análise e esclarecimento de dúvidas.

À toda equipe da usina São Fernando que concederam a área do experimento.

A CAPES, pela bolsa concedida.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFGD, pelos ensinamentos transmitidos.

Ao meu namorado Marcelo Augusto de Souza Costa, pelo carinho e apoio em todos momentos desta jornada.

Aos amigos da pós-graduação Cristiane Dalagua Paier, Cristiane Ferrari Bezerra Santos, Andressa Caroline Foresti, Lucas Coutinho dos Reis e Patrícia Rochefeler Agostinho pelos momentos de descontração e apoio, também ao colega de laboratório Bruno Agostini Colman por todo auxílio durante a realização deste projeto.

A todos os familiares, e todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	PÁGINA
RESUMO GERAL.....	v
GENERAL ABSTRACT.....	.vi
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	4
3 ARTIGO 1.....	7
INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO DE UM LATOSSOLO SUBMETIDO À DIFERENTES NÍVEIS DE PALHIÇO E MANEJO DA CANA-DE-AÇÚCAR	
3.1 Resumo.....	7
3.2 Abstract.....	8
3.3 Introdução.....	9
3.4 Material e métodos.....	11
3.5 Resultados e discussões.....	15
3.6 Conclusões.....	30
3.7 Referências bibliográficas.....	31
4 ARTIGO 2.....	34
NÍVEIS DE PALHIÇO E MANEJO DE CANA-DE-AÇÚCAR NA CAPACIDADE DE SUPORTE DE CARGA DE UM LATOSSOLO, E SUAS RELAÇÕES COM A PRODUTIVIDADE	
4.1 Resumo.....	34
4.2 Abstract.....	35
4.3 Introdução.....	36
4.4 Material e métodos.....	38
4.5 Resultados e discussões.....	42
4.6 Conclusões.....	56
4.7 Referências bibliográficas.....	57
5 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	62

NÍVEIS DE PALHIÇO, MANEJO E QUALIDADE FÍSICA DE SOLO CULTIVADO COM CANA

RESUMO GERAL

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) é uma gramínea semiperene, com grande produção no Brasil, e em razão das grandes extensões de terra cultivadas, requer mecanização agrícola altamente tecnificada. Contudo acarreta diversos problemas como a compactação. A utilização de sistemas de preparo mínimo tem sido cada vez mais utilizada, como em plantio direto, com a deposição de palhada no solo capaz de promover diversos benefícios aos atributos do solo. Desta forma a manutenção de determinados níveis de palhada aliado ao uso da escarificação pode promover benefícios à qualidade física e produção da cana-de-açúcar. Neste contexto, objetivou-se avaliar o efeito de níveis de palhada remanescentes no solo em plantio direto e diferentes manejos na cana-de-açúcar nos atributos físicos do solo e produtividade da cultura. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema de parcelas sub-subdivididas. As parcelas foram compostas pelo plantio direto e preparo convencional, com 3 níveis de palhiço remanescente (0%, 50% e 100%), e o uso da escarificação (com e sem escarificação). As amostras foram coletadas com estrutura preservada nas profundidades de 0,05 m e 0,15 m, e posteriormente analisadas em laboratório quanto a quantificação do intervalo hídrico ótimo (IHO), capacidade de suporte de carga (CSC) e outros atributos do solo, além da produtividade da cana-de-açúcar. A manutenção da palhada e o uso da escarificação resulta em aumento do IHO tanto no sistema plantio direto como no sistema convencional em ambas profundidades. Nos dois sistemas de plantio e profundidades avaliadas os tratamentos com 50 e 100% de palhada indicaram menores valores de CSC, concluindo que os sistemas de manejo de palhiço promoveu incremento quanto à qualidade física deste solo. O plantio direto beneficiou a produção de colmos (TCH) e açúcares (TAH) por hectare, enquanto que a ausência do palhiço promoveu aumento na concentração de açúcar total recuperável (ATR).

Palavras-chave: Escarificação, compactação, densidade do solo, intervalo hídrico ótimo.

GENERAL ABSTRACT

The sugarcane (*Saccharum* spp.) is a grass semiperene, with big production in Brazil, and because of large tracts of cultivated land, requires highly technified agricultural mechanization. However, it has various problems such as compaction. So the use of minimum tillage systems has been each time. So the use of minimum tillage systems has been increasingly used as the no tillage, with the deposition of chaff in the soil to promote various benefits to soil attributes. In this way the maintenance of certain post levels coupled with the use of scarification can promote benefits for physical quality and production of sugar cane. In the context, the objective was to evaluate the effect of straw levels remaining in no-tillage soil and different sugarcane management on soil physical attributes and crop productivity. The experimental design was randomized blocks with four repetitions, in a subdivided plots scheme. The plots were composed by no-tillage and conventional tillage, with 3 levels of remaining palhiço (0%, 50% and 100%), and the use of scarification (with and without scarification). The samples were collected with preserved structure in the depths of 0,05 m and 0,15 m, and subsequently analyzed in the laboratory as the quantification of the least limiting water range (LLWR), load bearing capacity (LBC) and other attributes of the soil, in addition to the productivity of sugarcane. The maintenance of the leaves and stem tips using the rip fence results in increasing of IT both in the no-tillage system as in the conventional system at both depths. In the two systems and planting depths evaluated treatments with 50 and 100% of chaff indicated lowest LBC, concluding that the palhiço management systems promoted increment as the physical quality of this soil. No-tillage benefited the production of stalks (TCH) and sugars (TAH) per hectare, while the absence of stalks promoted an increase in the total recoverable sugar (ATR) concentration.

Keywords: Scarification, compaction, soil density, least limiting water.

INTRODUÇÃO GERAL

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) é uma gramínea semiperene e expressa um bom desenvolvimento em solos onde há boa aeração, uma boa drenagem e com boa profundidade. O Brasil é o maior produtor mundial, também o maior produtor de açúcar e etanol de cana-de-açúcar, sendo responsável por mais de 50% do açúcar comercializado no mundo, a estimativa de área para a safra 2016/2017 é de 9,11 milhões de hectares, e produção de 694,5 mil toneladas um aumento de 4,4% em relação à safra 2015/2016. O estado de Mato Grosso do Sul é quarto maior produtor com área estimada de 636,5 mil ha e produção de 48.588 mil toneladas, e produtividade média de 76.335 kg/ha (CONAB, 2016).

A necessidade mundial por fontes alternativas de energia coloca o País em posição de destaque em relação à produção de etanol, em razão das condições edafoclimáticas favoráveis ao cultivo da cana-de-açúcar, o que tem levado à expansão geográfica dessa cultura e a impactos ambientais decorrentes do seu manejo (SEVERIANO et al., 2009). A cultura da cana, em razão das grandes extensões de terra cultivadas, requer mecanização agrícola altamente tecnificada, desde o plantio à colheita, com máquinas modernas e versáteis que possam realizar as suas funções com baixos custos e maior eficiência, fornecendo matérias primas e produtos de qualidade à agroindústria brasileira (SOUZA et al., 2012).

No manejo da cultura da cana, as técnicas de colheita atualmente são realizadas de duas maneiras: colheita de cana queimada e colheita de cana crua, ambas podendo ser realizadas de forma manual ou mecânica. As pesquisas sobre o efeito da queima da cana-de-açúcar na qualidade do ambiente, na degradação dos solos, na produtividade da lavoura se intensificaram nas últimas décadas, tanto que atualmente a adoção da técnica de colheita da cana crua tem ganhado importância em todo o país. Na agroindústria se encontram, entre os benefícios dessa mudança, a redução de custos e a maior produtividade do trabalho mecanizado (OLIVEIRA et al. 2014). Segundo Shikida et al. (2007), o custo na colheita mecanizada chega a ser de 30 a 40% inferior ao do manual.

Mesmo com os benefícios do sistema mecanizado o problema com a compactação é evidente, refletindo diretamente nos atributos físicos do solo em decorrência dos implementos utilizados, evidenciado a necessidade de uma nova

abordagem sobre o manejo do solo na cultura cana-de-açúcar. Dentre os principais problemas desta adoção está a compactação, que causa a desestruturação do solo, uma vez que, em decorrência da colheita mecanizada, a compactação pode promover reduções superiores a 50% no volume de macroporos do solo.

O processo de compactação do solo pode ser atribuído tanto à diminuição do espaço poroso entre os agregados, como à ruptura e destruição dos agregados, havendo rearranjo das partículas (HORN et al., 1995). Esses processos vão depender do conteúdo de água do solo e da pressão externa aplicada através dos sistemas de preparo no solo, essas alterações na estrutura podem comprometer a produtividade da cultura, visto que essa classe de poros determina a taxa de movimentação de água no solo (SEVERIANO et al., 2010). Tal degradação, com todas as suas implicações e consequências negativas, tem resultado no desafio de viabilizar sistemas de produção que possibilitem maior eficiência energética, conservação da qualidade do solo e aumento na produtividade (KLUTHCOUSKI et al., 2000).

Assim sistemas de preparo com mínimo ou nenhum revolvimento do solo tem sido cada vez mais utilizados, por promoverem inúmeros benefícios, como: melhoria da estrutura, porosidade, retenção e infiltração da água no solo (BAYER, 1996). A escarificação do solo muitas vezes é utilizada isoladamente, sendo por isso considerada um sistema de preparo mínimo. Esta operação objetiva reduzir a densidade do solo e a sua resistência mecânica à penetração das raízes e aumentar a permeabilidade do solo, através do rompimento de camadas compactadas (ANDRÉ, 2009).

A duração dos efeitos da escarificação não é claramente definida, Botta et al. (2006), ao avaliarem a duração da ação do escarificador que trabalhou na profundidade de 0,28 m em Argissolo Amarelo de textura arenosa, relataram que esse implemento possui um efeito imediato nas camadas que apresentaram impedimento físico. No entanto, após dois anos da escarificação em uma profundidade de 0,28 m, houve novamente impedimento físico no solo, assim concluíram que a frequência do uso desse implemento deve ser de uma vez a cada dois anos. Porém os efeitos do preparo do solo também são dependentes das condições edafoclimáticas, tipo de solo e da intensidade do tráfego aplicado no sistema de preparo. Portanto, os efeitos podem ter duração diferenciada dependendo da situação (REICHERT et al., 2009).

Alguns autores relataram efeitos positivos do palhiço mantido no solo no momento do plantio direto da cana-de-açúcar (RESENDE et al., 2006; TAVARES et al., 2010). Porém a definição da quantidade mínima de palhiço a permanecer no campo ainda

é bastante discutida, é uma importante informação para o setor sucroenergético do país, pois, o excedente pode ser utilizado para a produção de bioetanol ou bioeletricidade. A utilização do palhiço juntamente com o bagaço poderia triplicar a produção de etanol, sem a necessidade de aumentar as áreas de plantio no país (LIMA; NATALENSE, 2010).

A melhoria da qualidade física do solo observada em áreas sob plantio direto de longo prazo tem sido atribuída à presença de agregados maiores e mais estáveis, em face do incremento de matéria orgânica, comparado com sistemas de preparo convencional, evidenciando a eficiência na melhoria da qualidade estrutural do solo (SO et al., 2009; JIN et al., 2011; BETIOLI JUNIOR, 2012). Portanto, a escolha de um manejo eficiente interfere diretamente sobre atributos físicos do solo, desde avaliações da porosidade, densidade do solo, retenção de água, aeração e resistência à penetração (CAVALIERI et al., 2009; CARVALHO et al., 2011; SILVA JUNIOR et al., 2013).

Desta forma fica clara a importância do monitoramento da qualidade do solo agrícola, considerada fator determinante no sucesso de um sistema produtivo. A qualidade física do solo merece destaque especial uma vez que podem afetar a qualidade química e biológica, atuando juntos na busca da qualidade dos sistemas de manejo (DEXTER, 2004; ARAÚJO et al., 2007; ARATANI et al., 2009).

Neste contexto, objetivou-se avaliar o efeito de níveis de palhiço remanescentes sobre o solo, associados a escarificação mecânica realizada anualmente nas entrelinhas da soqueira em plantio direto e preparo convencional do solo sobre seus atributos físicos e na produtividade da cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRÉ, J. A. **Sistemas de preparo de solo para cana-de-açúcar em sucessão com amendoim**. 2009. 27 f. (Dissertação de mestrado). Universidade Estadual Paulista “Julio De Mesquita Filho, Jaboticabal.
- ARATANI, R. G.; FREDDI, O. da S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho Acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 3, p. 677-687, 2009.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 1099-1108, 2007.
- BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. 1996. 241 f. (Tese de Doutorado em Agronomia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- BETIOLI JÚNIOR, E.; MOREIRA, W. H.; TORMENA, C. A.; FERREIRA, C. J. B.; SILVA, A. P.; GIAROLA, N. F. B. Intervalo hídrico ótimo e grau de compactação de um Latossolo Vermelho após 30 anos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 971-982, 2012.
- BOTTA, G. F.; JORAJURIA, D.; BALBUENA, R.; RESSIA, M.; FERRERO, C.; ROSATTO, H.; TOURN, M. Deep tillage and traffic effects on subsoil compaction and sunflower (*Helianthus annuus* L.) yields. **Soil & Tillage Research**, v. 91, n. 1, p. 164-172, 2006.
- CARVALHO, L. A.; MEURER, I.; SILVA JUNIOR, C. A.; CAVALIERI, K. M. V.; SANTOS, C. F. S. Dependência espacial dos atributos físicos de três classes de solos cultivados com cana-de-açúcar sob colheita mecanizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 9, p. 940-949, 2011.
- CAVALIERI, K. M. V.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; LEÃO, T. P.; DEXTER, A. R.; HÅKANSSON, I. Long-term effects of no-tillage on dynamic soil physical properties in a Rhodic Ferrasol in Paraná, Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 103, n. 1, p. 158-164, 2009.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Monitoramento Agrícola, safra 2016/17. v. 3, n. 3, 2016.
- DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part 1. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v. 120, n. 3, p. 201-214, 2004.
- HORN, R.; DOMZAL, H.; OUWERKERK, C. van. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. **Soil & Tillage Research**, v. 35, n. 3, p. 23-36, 1995.
- JIN, H.; HONGWEN, L.; RABI G. RASAILY, R. G.; QINGJIE, W.; GUOHUA, C.; YANBO, S.; XIAODONG, Q.; LIJIN, L. Soil properties and crop yields after 11 years of

no tillage farming in wheat–maize cropping system in North China Plain. **Soil & Tillage Research**, v. 113, n. 11, p. 48-54, 2011.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H.; YOKOYAMA, L. P.; OLIVEIRA, I. P.; COSTA, J. L. S.; SILVA, J. G.; VILELA, L.; BARCELLOS, A. O.; MAGNABOSCO, C. U. **Integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional**. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. 28 p. (Circular Técnica, 38).

LIMA, M. A. P.; NATALENSE, A. P. P. Necessidade de pesquisa básica para cana e etanol. In: CORTEZ, L.A.B. (Coord.). **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**. São Paulo: Blucher, 2010. p. 150-170.

OLIVEIRA, A. P. P.; LIMA, E.; ANJOS, L. H. C.; ZONTA, E.; PEREIRA, M. G. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar: Conhecimento atual sobre modificações em atributos de solos de tabuleiro. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 18 n. 9, p. 939-947, 2014.

REICHERT, J. M.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; RIQUELME, F. B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 3, p. 310-319, 2009.

RESENDE, A. S. de; SANTOS, A.; XAVIER, R. P.; COELHO, C. H.; GONDIM, A.; OLIVEIRA, O. C.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Efeito da queima da palhada da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado em características tecnológicas da cultura. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 30, n. 6, p. 937-941, 2006.

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

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; CASTRO, M. B.; OLIVEIRA, L. F. C.; COSTA, K. A. P. Compactação de solos cultivados com cana-de-açúcar: II - quantificação das restrições às funções edáficas do solo em decorrência da compactação prejudicial. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 3, p. 414-423, 2010.

SHIKIDA, P. F. A.; JUNQUEIRA, C. P.; STERCHILE, S. P.W. Mudanças no padrão tecnológico do corte de cana-de-açúcar: Uma análise preliminar do caso paranaense. **Revista Ciências Empresariais-UNIPAR**, v. 8, n. 1, p. 7-32, 2007.

SILVA JUNIOR, C. A.; CARVALHO, L. A.; CENTURION, J. F.; OLIVEIRA, E. C. A. Comportamento da Cana-de-açúcar em duas safras e atributos físicos do solo, sob diferentes tipos de preparo. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, p. 1489-1500, 2013.

SO, H. B.; GRABSKI, A.; DESBOROUGH, P. The impact of 14 years of conventional and no-till cultivation on the physical properties and crop yields of a loam soil at Grafton NSW, Australia. **Soil Tillage Res.**, v. 104, n. 1, p. 180-184, 2009.

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

TAVARES, O. C. H.; LIMA, E.; ZONTA, E. Crescimento e produtividade da cana planta cultivada em diferentes sistemas de preparo do solo e de colheita. **Acta Scientiarum**. v. 32, n. 1, p. 61-68, 2010.

ARTIGO 1

INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO DE UM LATOSSOLO SUBMETIDO À DIFERENTES NÍVEIS DE PALHIÇO E MANEJO DA CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO

Com a adoção da colheita mecanizada no sistema de manejo da cultura da cana-de-açúcar no país, surge a preocupação com a compactação do solo e seus efeitos sobre a qualidade dos atributos físicos, em sua maioria causada por tráfego em condições inadequadas de umidade. Portanto, torna-se necessário o desenvolvimento de pesquisas para determinar o impacto dessas práticas nos atributos físicos e hídricos, e o intervalo hídrico ótimo (IHO) vem sendo utilizado como indicador da qualidade estrutural do solo nestas condições. Objetivou-se com este trabalho avaliar a qualidade físico-hídrica por meio do IHO de um Latossolo Vermelho distroférico em plantio direto e preparo convencional sob retirada mecanizada de palhiço na cultura da cana-de-açúcar. O experimento foi desenvolvido no ano agrícola de 2015/2016 em uma área experimental da Embrapa em parceria com a Usina São Fernando no município de Dourados-MS em um Latossolo Vermelho distroférico, textura muito argilosa. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema de parcelas sub-subdivididas. As parcelas foram compostas pelos sistemas de plantio (direto e convencional), as subparcelas por níveis de palhiço remanescente (sem retirada de palhiço - 100 %, retirada total de palhiço - 0%, retirada parcial de palhiço - 50%) e as sub-subparcelas por escarificação mecânica no cultivo das soqueiras (com e sem escarificação nas entrelinhas da cana-de-açúcar). As amostras foram coletadas com estrutura preservada nas profundidades de 0,05 m e 0,15 m. A manutenção de palhiço e o uso da escarificação resulta em aumento do IHO tanto no sistema plantio direto como no sistema convencional em ambas as profundidades.

Palavras-chave: Recolhimento do palhiço, colheita mecanizada, qualidade físico-hídrica.

LEAST LIMITING WATER RANGE OF OXISOL SUBMITTED TO DIFFERENT LEVELS OF TRASH AND MANAGEMENT OF SUGARCANE

ABSTRACT

With the adoption of mechanized harvesting in the management system of the culture of sugar cane in the country, there is concern about soil compaction and its effects on the quality of physical attributes, Mostly caused by traffic in poor conditions of humidity. Therefore, it is necessary to the development of research to determine the impact of these practices on the physical attributes and water, and least limiting water range (LLWR) has been used as an indicator of structural soil quality under these conditions. the aim with this worked to assess the quality of the physical water through the LLWR from a classified as Oxisol in no-tillage and conventional tillage under mechanized removal of straw in the sugar cane crop. The experiment was developed in the year 2015/2016 agriculture in a commercial area of São Fernando power plant in the city of Dourados-MS on area was classified as Oxisol. The experimental design was randomized blocks with four repetitions, in sub-subdividas plots scheme. The plots were composed by planting systems (direct and conventional), the subplots for remaining trash levels (without removal of trash -100%, complete withdrawal of palhíço-0%, partial withdrawal of trash -50%) and the sub-subparcelas by mechanical scarification in the cultivation of knuckle-dusters (with and without rip fence between the lines of sugar cane). The samples were collected with preserved structure in the depths of 0,05 m and 0,15 m. The maintenance of the leaves and stem tips using the rip fence results in increasing of LLWR both in the no-tillage system as in the conventional system at both depths.

keywords: Trash removal, mechanized harvesting, physical-water quality.

INTRODUÇÃO

O setor sucroenergético, em razão das grandes extensões de terra cultivadas com cana-de-açúcar, exige mecanização agrícola altamente tecnificada, com máquinas modernas e versáteis que possam realizar as suas funções desde o preparo do solo, do plantio à colheita com baixos custos e máxima eficiência, fornecendo matérias primas e produtos de qualidade à agroindústria (SOUZA et al., 2012).

Com a adoção da colheita mecanizada no sistema de manejo da cana-de-açúcar, surge a preocupação com a compactação do solo e seus efeitos sobre a qualidade dos atributos físicos, o que se deve em sua maioria às operações mecanizadas realizadas sem considerar a umidade do solo no momento do manejo (SOUZA et al., 2012). A compactação do solo é caracterizada pelo aumento da densidade do solo e pela redução do volume de poros do solo em situações que uma pressão externa é aplicada (SOUZA et al., 2009). Como consequência, a desestruturação e o aumento da resistência do solo à penetração prejudicam a dinâmica de água, nutrientes e o crescimento das raízes (LETEY, 1985). Evidenciando a necessidade de pesquisas para determinação dos impactos das práticas agrícolas nos atributos físicos e hídricos do solo.

Dentre os atributos físicos utilizados para avaliar a compactação do solo, a resistência do solo à penetração e a densidade têm sido utilizados para avaliar sistemas de uso e manejo, atributos diretamente relacionados ao crescimento das plantas que apresentam fácil e rápida determinação (BUSSCHER et al., 2000).

O palhiço remanescente acumulado nos sistemas de colheita mecanizada pode proporcionar um microclima sobre o solo, caracterizado por elevada umidade, estabilidade da temperatura e maior disponibilidade hídrica, propiciando melhores condições ao desenvolvimento radicular. A escarificação vem sendo utilizada nestes sistemas de plantio direto (SPD) como alternativa para favorecer a porosidade do solo, aumentando a macroporosidade com consequente redução da microporosidade, resultando em maior aeração e disponibilidade de água às plantas (CAMILLOTI et al., 2005). No entanto grande parte dos cultivos no país ainda é em plantio convencional, com diversas operações agrícolas como aração, gradagem pesada e subsolagem.

Apesar de diversos benefícios em plantio direto os atributos físicos também apresentam de forma favorável às operações no manejo convencional. Portanto, há a necessidade de estudos relacionados a estas práticas e seus efeitos nos atributos físicos do solo, interferindo também na qualidade química e biológica, refletindo na produtividade

da cultura e nos aspectos ambientais do sistema de produção (VASCONCELOS et al., 2012).

Entre os atributos físicos do solo ligados ao crescimento vegetal à retenção e disponibilidade de água no solo são determinantes, considerando que cada solo retém diferentes conteúdos de água é necessária esta quantificação através de indicadores (SILVA et al., 2010). O intervalo hídrico ótimo (IHO) vem sendo utilizado como indicador da qualidade estrutural do solo, Letey (1985) conceituou e definiu primeiramente como uma faixa de conteúdos de água não limitante para o crescimento vegetal. Posteriormente este conceito foi aprimorado por outros autores, e no Brasil foi conceituado por Tormena et al. (1998) como sendo uma região delimitada por limites de conteúdo de água que podem interferir no crescimento das plantas. A amplitude do IHO indica o risco de exposição das culturas ao estresse físico do solo através de diversos atributos e a magnitude em que a condição estrutural do solo pode interferir ou restringir o crescimento e desenvolvimento vegetal (SILVA et al., 1994).

O IHO engloba informações sobre a quantidade de água, densidade do solo, resistência do solo à penetração, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e porosidade a aeração (ROQUE et al., 2011). Em sua quantificação tem como limite superior o conteúdo de água no solo como capacidade de campo (θ_{CC}) ou o teor de água em que a porosidade de aeração se encontra menor que 10 % (θ_{PA}). O limite inferior é definido pelo teor de água do solo na condição de ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) ou teor de água em que a resistência do solo à penetração seja igual a 2,0 MPa (θ_{RP}) (SILVA et al., 1994).

A amplitude deste indicador indica o risco de exposição das culturas ao estresse físico do solo e a magnitude em que a condição estrutural pode restringir o crescimento e desenvolvimento das plantas (SILVA et al., 1994). Em áreas sob cultivo de cana-de-açúcar Pereira et al. (2015) e Garbiate et al. (2016) utilizaram o IHO para detectar alterações do conteúdo de água disponível às plantas promovido por sistemas de colheita mecanizado.

Diante do exposto o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade físico hídrica através do IHO de um Latossolo Vermelho distroférico em plantio direto e convencional sob manejo mecanizado da retirada de palhico e escarificação mecânica nas entrelinhas das soqueiras da cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no ano agrícola de 2015/2016 em uma área experimental da Embrapa Agropecuária Oeste em parceria com a Usina São Fernando no município de Dourados-MS. O local situa-se na latitude $-22^{\circ}25'86''S$, e longitude $-54^{\circ}97'47''W$, altitude de 410m. O clima da região, conforme a classificação de Köppen é Am, tropical monçônico, com estações chuvosa no verão e seca no inverno (ALVARES et al., 2013). O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico, textura muito argilosa (Embrapa, 1997).

O experimentado foi conduzido em área cultivada com cana-de-açúcar renovada em 2013, que foi submetida à colheita mecanizada, sem recolhimento do palhicho residual, durante o ciclo anterior (2006 a 2012).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema de parcelas sub-subdivididas. As parcelas foram compostas pelos sistemas de plantio (direto e convencional), as subparcelas por níveis de palhicho remanescente: sem retirada de palhicho – (100 %), retirada parcial de palhicho – (50%) e retirada total de palhicho (0%), e as sub-subparcelas por escarificação mecânica no cultivo das soqueiras (com e sem escarificação nas entrelinhas da cana-de-açúcar). As 36 parcelas experimentais foram compostas por seis linhas de cana-de-açúcar espaçadas de 1,5 m com 30 metros de comprimento (270 m^2).

Parte da área foi conduzida no plantio direto com eliminação química do rebrote da última soqueira da cana, através da aplicação de $6,0 \text{ L ha}^{-1}$ do herbicida glifosathe + $1,8 \text{ L ha}^{-1}$ do herbicida 2,4-D e volume de calda de 150 L ha^{-1} . Aplicação de corretivos ($2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de gesso agrícola e $4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de calcário dolomítico) na superfície do solo. A outra parte da área no sistema de preparo convencional com eliminação química do rebrote da última soqueira da cana, aplicação de corretivos (gesso agrícola e calcário) nas mesmas fontes e doses do plantio direto. Neste sistema os corretivos juntamente com o palhicho residual foram incorporados ao solo com as operações de preparo convencional, realizados com gradagem com grade aradora, subsolagem, gradagem com grade intermediária e gradagem com grade niveladora.

Após a aplicação dos corretivos e preparo do solo, no sistema de preparo convencional, toda a área do experimento foi cultivada com soja durante a safra 2012/13. Após a colheita da soja em março de 2013 implantou-se novo canavial com a cultivar RB

966928, através do plantio mecanizado no espaçamento simples de 1,5 m entre as linhas de cana. A adubação de plantio utilizada em toda a área experimental foi de 600 kg ha⁻¹ da fórmula N-P-K 05-25-25. Os demais tratamentos culturais para controle das plantas daninhas e pragas foram realizados sempre que necessários e de acordo com as recomendações para a cultura.

Após a colheita da cana-planta em setembro de 2014 foram aplicados nas subparcelas os níveis de palhicho residual: sem retirada de palhicho – (100 %), retirada parcial de palhicho – (50%) e retirada total de palhicho (0%). Para recolhimento do palhicho foram realizadas as operações de enleiramento com um ancinho enleirador, modelo AL 1290, marca New Holland, tracionada por um trator de 110 CVs. Em seguida realizou-se o enfardamento das leiras de palha com uma enfardadeira marca New Holland, modelo BB 1290, tracionada por um trator de 180 CVs. Por último realizou-se o recolhimento dos fardos com uma carreta, marca New Holland, modelo AC 1290, tracionada por um trator de 110 CVs. O recolhimento parcial (50%) foi estabelecido através de regulagem da altura de trabalho do ancinho enleirador de palha.

As quantidades de palhicho residual que permaneceram sobre o solo após a aplicação dos tratamentos, bem como suas respectivas porcentagens em relação à área sem retirada do palhicho, são apresentadas no Quadro 1.

QUADRO 1. Produção de palha, palha remanescente e % da palha remanescente após o recolhimento total e parcial da palha da cana-de-açúcar. Dourados, MS/Brasil, Safra 2014/15.

Tratamentos	Palha Total	Palha Residual	Remanescente
	Mg ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹	%
Plantio Direto	18,64	10,06	57,20
Preparo Convencional	19,54	11,22	53,91
Palha (Mg ha ⁻¹)	-	-	-
1,37	20,09	1,37	7,6
12,17	19,64	12,17	64,6
17,96	17,96	17,96	100,0
Escarificação	-	-	-
Com	20,15	11,35	57,20
Sem	18,03	9,93	53,91

A escarificação foi realizada com um cultivador/adubador de soqueiras da marca DMB e modelo Novo São Francisco, equipado com discos de corte da palhada e hastes escarificadoras que trabalham a uma profundidade aproximada de 0,3 m no centro da entrelinha da cana-de-açúcar.

Em setembro de 2015, após a colheita da segunda soqueira com aplicação do recolhimento total e parcial do palhicho e escarificação da soqueira, amostras de solo foram coletadas com estrutura preservada, em cilindros metálicos de 83 cm^3 , raio de 3,22 cm e 2,55 cm de altura, distante 5 cm da linha, centralizados nas profundidades de 0,05 m e 0,15 m. Em cada parcela foram coletadas 7 amostras em cada profundidade, portanto 42 amostras por tratamento (21 amostras em cada profundidade). Foram coletadas 504 amostras que foram levadas ao laboratório para análises.

As 21 amostras de cada tratamento (de cada profundidade) foram divididas em 7 grupos de 5 amostras, sendo cada grupo submetido à saturação por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingirem cerca de dois terços da altura do cilindro metálico para posterior estabilização do teor de água, submetidos à potenciais matriciais utilizando a mesa de tensão (-0,006 Mpa) e câmara de Richards aos seguintes potenciais: -0,006; -0,01; -0,033; -0,066; -0,1; -0,3 e -1,5 MPa, conforme Klute (1986). Os macroporos foram avaliados de acordo com a diferença entre o conteúdo de água no solo saturado e o conteúdo de água no solo após a aplicação da tensão de 0,006 Mpa, como proposto em Donagema et al. (2011).

Quando as amostras atingiram o equilíbrio nas referidas tensões foi medida a resistência do solo à penetração, utilizando um penetrômetro eletrônico com velocidade constante de penetração de 1 cm min^{-1} , com diâmetro de base de 4 mm. No centro geométrico de cada amostra foi introduzida a haste de penetração. As leituras obtidas nos 5 mm superiores e inferiores da amostra foram descartadas, visando eliminar o efeito da periferia da amostra, conforme proposto por Bradford (1986). A frequência de leituras de resistência à penetração corresponderá à coleta de um valor a cada 0,25 segundos, obtendo-se um total de 800 leituras por amostra, das quais um valor médio foi utilizado.

O intervalo hídrico ótimo (IHO) foi determinado com base nos procedimentos descritos em Silva et al. (1994). Os valores críticos de umidade associados com o potencial matricial associado a resistência do solo à penetração e a porosidade de aeração, respectivamente, pelo teor de água na capacidade de campo (θ_{CC}), no potencial de -0,006 MPa (REICHARDT, 1988); ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) no potencial de -1,5 MPa (SAVAGE et al., 1996); umidade volumétrica em que a resistência do solo à penetração (θ_{RP}) atinge 2,0 MPa (TAYLOR et al., 1966) e o umidade volumétrica em que a porosidade de aeração (θ_{PA}) é de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (GRABLE; SIEMER, 1968).

Os valores de θ_{CC} e θ_{PMP} foram obtido através do modelo matemático do tipo [$\theta = \exp(a+bDs)\Psi^c$], proposto por Silva et al. (1994), para ajuste dos dados originais, em

que utiliza a variável de 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 parâmetros empíricos de ajuste do modelo utilizado.

Os valores de RP foram ajustados matematicamente, de acordo com o modelo $[RP = d\theta^e D_s^f]$ em que utilizou os valores de θ e D_s conhecidas, 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. Através dessa equação foi possível determinar o valor crítico de θ para que a RP não ultrapassasse 2,0 MPa (θ_{RP}), em função da D_s , desta forma na equação a RP foi substituída pelo valor de 2,0 MPa, considerado como limitante ao desenvolvimento radicular, para efeito de cálculo do IHO.

Os valores de θ_{PA} foram obtidos de acordo com o modelo $[\theta_{PA} = (1 - (D_s/D_p)) - 0,10]$, em que θ_{PA} é o teor de água volumétrico do solo em que a porosidade de aeração é de $0,10 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$; D_s é a densidade do solo (g m^{-3}); D_p é a densidade de partículas (g m^{-3}), sendo aplicado o valor de $2,65 \text{ Mg m}^{-3}$ como média da densidade de partículas.

Com relação aos limites superiores do IHO, considerou-se o θ_{CC} , ou aquele em que a θ_{PA} é considerada adequada ao crescimento e desenvolvimento vegetal. Na determinação dos limites inferiores foram considerados o θ_{PMP} ou a θ_{RP} que seja limitante ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das culturas. Após a determinação dos limites do IHO foi estabelecida a densidade crítica do solo (D_{sc}), que é a densidade do solo em que o IHO se iguala à zero, pois o limite superior equivale numericamente ao limite inferior (SILVA et al., 1994).

Os ajustes dos modelos matemáticos e dos parâmetros “a”, “b”, “c”, “d”, “e” e “f”, foram realizados pelo método de regressão não linear. E as curvas de retenção de água ajustadas 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

Os valores de coeficientes de determinação (R^2) de retenção de água no plantio direto (Quadro 2 e 3) apresentaram valores de F significativos a 1%. Os intervalos de confiança dos coeficientes ajustados foram significativos em grande parte dos tratamentos, pois não incluem o valor igual a zero de acordo com Blainski et al. (2009). Exceto para o parâmetro “b” em ambas profundidades do plantio direto, não apresentaram significância para alguns tratamentos. Na profundidade de 0,05 m (Quadro 2) o coeficiente “b” somente foi significativo a 1% pelo teste de F os tratamentos 0% e 50% de palhicho sem escarificação, já na profundidade de 0,15 m (Quadro 3) apenas o tratamento com 0% de palhicho com escarificação teve efeito significativo.

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 0,05 m de um Latossolo Vermelho distroférrico, submetido a diferentes níveis de palhicho e escarificação em plantio direto de cana-de-açúcar.

Coeficientes	Valor estimado	Intervalo de confiança		Valor estimado	Intervalo de confiança	
		Li	Ls		Li	Ls
		0% CE.....			0% SE	
a	-1,74377	-2,40338	-1,08416	-2,52869	-3,13861	-1,91878
b	0,42151	-0,06094	0,90395	0,86898	0,47466	1,26330
c	-0,04768	-0,07460	-0,02077	-0,06533	-0,09456	-0,03611
R^2	0,70**			0,81**		
		50% CE			50% SE	
a	-1,96000	-2,65146	-1,26854	-2,44763	-3,21314	-1,68211
b	0,46189	-0,05736	0,98114	1,02565	0,49088	1,56041
c	-0,10927	-0,14086	-0,07769	-0,05510	-0,08966	-0,02054
R^2	0,88**			0,78**		
		100% CE			100% SE	
a	-1,52075	-2,04880	-0,99269	-1,74377	-2,40338	-1,08416
b	0,13768	-0,25140	0,52677	0,42151	-0,06094	0,90395
c	-0,09331	-0,12016	-0,06645	-0,04768	-0,07460	-0,02077
R^2	0,87**			0,70**		

θ : teor de água no solo ($m^3 m^{-3}$); 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%. SE: sem escarificação, CE: com escarificação.

Resultados semelhantes foram observados por Prado (2015), que trabalhou com culturas de renovação de canavial após um ciclo da cultura da cana-de-açúcar em Latossolo Vermelho distroférico, também verificou a não significância deste coeficiente para curva de retenção de água.

QUADRO 3. 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 0,15 m de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido a diferentes níveis de palhiço e escarificação em plantio direto de cana-de-açúcar.

Coeficientes	Valor estimado	Intervalo de confiança		Valor estimado	Intervalo de confiança	
		Li	Ls		Li	Ls
		..... 0% CE.....			..... 0% SE.....	
a	-2,74443	-3,59778	-1,89107	-1,33766	-2,26064	-0,41467
b	0,99484	0,42061	1,56907	-0,08657	-0,75329	0,58015
c	-0,10847	-0,14128	-0,07565	-0,10407	-0,16776	-0,04038
R^2	0,88**			0,67**		
		..... 50% CE.....			..... 50% SE.....	
a	-1,32437	-2,55148	-0,09724	-1,70870	-2,25120	-1,16620
b	-0,22135	-1,09004	0,64734	0,20806	-0,14313	0,55925
c	-0,16772	-0,20526	-0,13017	-0,11150	-0,13626	-0,08675
R^2	0,91**			0,91**		
		..... 100% CE .....			..... 100% SE.....	
a	-2,15594	-3,82182	-0,49005	-2,07861	-3,05035	-1,10688
b	0,56733	-0,56461	1,69926	0,34971	-0,27677	0,97619
c	-0,11312	-0,15554	-0,07070	-0,15590	-0,19840	-0,11340
R^2	0,82**			0,89**		

θ : teor de água no solo ($m^3 m^{-3}$); 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%. SE: sem escarificação, CE: com escarificação.

No preparo convencional os coeficientes de determinação (R^2) foram significativos a 1% de probabilidade, pois o intervalo de confiança dos coeficientes dos modelos não inclui o valor zero, podendo afirmar que estes foram estatisticamente significativos conforme Blainski et al. (2009) e Blainski et al. (2012). Os ajustes de retenção de água para os parâmetros “a” e “c” foram significativos para ambas profundidades (Quadro 4 e 5), já o coeficiente “b” somente apresentou significância ($p < 0,01$) para o tratamento 0% de palhiço sem escarificação.

QUADRO 4. 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 0,05 m de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido a diferentes níveis de palhicho e escarificação em preparo convencional de cana-de-açúcar.

Coeficientes	Valor Estimado	Intervalo de confiança		Valor estimado	Intervalo de confiança	
		Li	Ls		Li	Ls
		.....0% CE.....			..... 0% SE	
a	-1,90631	-2,86983	-0,94278	-1,93713	-2,33201	-1,54225
b	0,56710	-0,11919	1,253392	0,56692	0,29432	0,83952
c	-0,07776	-0,13021	-0,02530	-0,05769	-0,08010	-0,03528
R^2	0,62**			0,82**		
		..... 50% CE .....			..... 50% SE	
a	-2,13167	-3,26289	-1,00045	-0,509994	-1,47957	0,459579
b	0,66257	-0,21585	1,54098	-0,625685	-1,31448	0,063111
c	-0,06863	-0,12424	-0,01302	-0,089374	-0,12748	-0,05127
R^2	0,57**			0,78**		
		..... 100% CE .....			..... 100% SE	
a	-1,56146	-2,02489	-1,09802	-1,32413	-1,90944	-0,73881
b	0,13991	-0,18922	0,46904	-0,10310	-0,51305	0,306852
c	-0,07631	-0,09644	-0,05617	-0,11403	-0,14552	-0,08253
R^2	0,91**			0,88**		

θ : teor de água no solo ($m^3 m^{-3}$); 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%. SE: sem escarificação, CE: com escarificação.

A curva de retenção de água θ foi negativamente correlacionada com a Ds para os tratamentos na profundidade de 0,05 m e 0,15 m em preparo convencional (Quadros 4 e 5). A densidade do solo influencia a retenção de água devido a sua influência na porosidade e distribuição dos tamanhos dos poros. Assim o sinal negativo do coeficiente “c” indica que a retenção de água não aumentou com a densidade do solo (TORMENA et al., 1998).

QUADRO 5. 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 0,15 m de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido a diferentes níveis de palhicho e escarificação em preparo convencional de cana-de-açúcar.

Coeficientes	Valor Estimado	Intervalo de confiança		Valor Estimado	Intervalo de confiança	
		Li	Ls		Li	Ls
	.....0% CE .....			..... 0% SE		
a	-0,85407	-1,89254	0,18439	-1,45591	-2,41198	-0,49983
b	-0,49806	-1,28109	0,28497	-0,07661	-0,72263	0,56942
c	-0,14911	-0,19853	-0,09970	-0,15097	-0,17348	-0,12845
R ²	0,85**			0,96**		
	..... 50% CE .....			..... 50% SE		
a	-1,53619	-1,92166	-1,15072	-1,96130	-3,14049	-0,78210
b	0,00865	-0,26892	0,28621	0,32286	-0,52398	1,16970
c	-0,12999	-0,15691	-0,10307	-0,14637	-0,17399	-0,11874
R ²	0,93**			0,94**		
	..... 100% CE .....			..... 100% SE		
a	-1,50474	-2,20889	-0,80059	-2,08164	-2,59158	-1,57170
b	0,06281	-0,46164	0,58726	0,37380	0,01132	0,73629
c	-0,13023	-0,16513	-0,09533	-0,13057	-0,15560	-0,10554
R ²	0,89**			0,94**		

θ : teor de água no solo ($m^3 m^{-3}$); 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%. SE: sem escarificação, CE: com escarificação.

O coeficiente “b” referente a curva de retenção de água apresentou grande variação nos dois sistemas de plantio em ambas profundidades (Quadro 2, 3, 4 e 5), está associado a densidade do solo em relação a retenção de água e deveria sustentar uma discussão de relação direta ou inversa entre as variáveis. No entanto, como a retenção de água tem maior relação com a microporosidade do solo e as variações na densidade, geralmente refletem alterações de macroporosidade, espera-se que esse coeficiente seja significativo quando houver alterações na macroporosidade do solo, o que nem sempre ocorre em solos com histórico de compactação, justificando a variação de significância do coeficiente “b” da equação.

Na determinação dos coeficientes da curva de resistência a penetração no plantio direto os valores de R^2 foram significativos ($p < 0,01$) segundo Blainski et al. (2009) e Blainski et al. (2012) (Quadros 6 e 7). Quanto aos valores do intervalo de confiança houve uma variação entre os parâmetros, o coeficiente “d” em ambas profundidades não apresentou significância. Trabalhando na mesma classe de solo Garbiate (2013) não

verificou significância para este coeficiente em nenhum tratamento avaliado em cultivo de cana-de-açúcar submetido à escarificação.

Para o coeficiente “f” na profundidade de 0,05 m não foi significativo para os tratamentos de 0% de palhiço com escarificação e os tratamentos de 100% de palhiço com e sem escarificação, já na profundidade de 0,15 m não apresentou equações significativas nos tratamentos de 50% de palhiço com e sem escarificação.

A curva de resistência do solo à penetração foi positivamente correlacionada com a Ds e negativamente correlacionada com θ para os tratamentos na profundidade de 0,05 m em plantio direto (Quadros 6).

QUADRO 6. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de resistência do solo à penetração ($RP = d\theta^e Ds^f$), com respectivos coeficientes de determinação (R^2), na profundidade de 0,05 m de um Latossolo Vermelho distroférrico, submetido a diferentes níveis de palhiço e escarificação em plantio direto de cana-de-açúcar.

Coeficientes	Valor Estimado	Intervalo de confiança		Valor estimado	Intervalo de confiança	
		Li	Ls		Li	Ls
.....0% CE.....			..... 0% SE			
d	0,00279	-0,15082	0,25815	0,05367	-0,00839	0,01396
e	-4,25841	-4,94325	-0,00583	-2,47454	-6,64634	-1,87048
f	5,87873	-1,59375	8,15053	3,27839	2,32923	9,42824
R ²	0,76 **			0,49**		
..... 50% CE .....			..... 50% SE			
d	0,03657	-0,01684	0,08998	0,02587	-0,05016	0,10190
e	-3,07881	-4,13012	-2,02750	-2,65872	-4,55855	-0,75889
f	2,40223	0,66451	4,13995	4,18835	0,42518	7,95152
R ²	0,87**			0,63**		
..... 100% CE .....			..... 100% SE			
d	0,12312	-0,01777	0,26402	0,05367	-0,15082	0,25815
e	-2,10768	-2,84694	-1,36843	-2,47454	-4,94325	-0,00583
f	0,58297	-1,11988	2,28581	3,27839	-1,59375	8,15053
R ²	0,84**			0,49**		

θ : teor de água no solo ($m^3 m^{-3}$); 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%. SE: sem escarificação, CE: com escarificação.

Na profundidade de 0,15 m ocorreu o inverso, houve relação negativa da curva resistência do solo à penetração com θ para todos tratamentos e para Ds todos tratamentos tiveram correlação positiva, exceto para 0% e 50% de palhiço sem escarificação (Quadro 7).

QUADRO 7. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de resistência do solo à penetração ($RP = d\theta^e Ds^f$), com respectivos coeficientes de determinação (R^2), na profundidade de 0,15 m de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido a diferentes níveis de palhço e escarificação em plantio direto de cana-de-açúcar.

Coeficientes	Valor Estimado	Intervalo de confiança		Valor estimado	Intervalo de confiança	
		Li	Ls		Li	Ls
.....0% CE .....			..... 0% SE			
d	0,10993	-0,01367	0,23353	0,55809	0,19459	0,92158
e	-1,62312	-2,15483	-1,09141	-1,01103	-1,44890	-0,57315
f	3,45831	1,72943	5,18718	-0,53221	-1,00759	-0,05682
R ²	0,84**			0,76**		
..... 50% CE .....			..... 50% SE			
d	0,43276	-0,05633	0,92185	0,24652	-0,00327	0,49631
e	-1,49446	-2,08575	-0,90316	-1,57291	-2,16970	-0,97612
f	-0,67121	-3,72348	2,38106	1,35358	-0,30255	3,00969
R ²	0,83**			0,83**		
..... 100% CE .....			..... 100% SE			
d	0,09276	-0,06519	0,25071	0,02490	-0,02529	0,07509
e	-1,20365	-1,82639	-0,58091	-2,04833	-2,82856	-1,26809
f	4,93082	1,60530	8,25633	3,90411	1,21727	6,59094
R ²	0,73**			0,84**		

θ : teor de água no solo ($m^3 m^{-3}$); 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%. SE: sem escarificação, CE: com escarificação.

Os coeficientes da curva de resistência a penetração em preparo convencional os valores de R^2 foram significativos ($p < 0,01$), exceto para os tratamentos de 0% e 50% de palhço com escarificação na profundidade de 0,05 m conforme Blainski et al. (2009) e Blainski et al. (2012) (Quadros 8 e 9).

QUADRO 8. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de resistência do solo à penetração ($RP = d\theta^e Ds^f$), com respectivos coeficientes de determinação (R^2), na profundidade de 0,05 m de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido a diferentes níveis de palhço e escarificação em preparo convencional de cana-de-açúcar.

Coeficientes	Valor estimado	Intervalo de confiança		Valor estimado	Intervalo de confiança	
		Li	Ls		Li	Ls
.....0% CE .....			..... 0% SE			
d	0,48502	-0,19286	1,16290	0,00492	-0,00960	0,01944
e	-0,85336	-1,78400	0,07727	-3,73596	-5,88335	-1,58857
f	2,98858	-0,04800	6,02515	5,51393	2,73328	8,29459
R ²	0,54 ^{ns}			0,78**		

...Continua...

	..... 50% CE .....			..... 50% SE		
d	0,92611	-0,53778	2,390015	0,08627	-0,03659	0,20912
e	-0,31056	-1,33762	0,716493	-2,22044	-2,95253	-1,48834
f	1,46350	-1,68692	4,613928	1,95441	-0,13379	4,04261
R ²	0,25 ^{ns}			0,85**		
	..... 100% CE .....			..... 100% SE		
d	0,00365	-0,00374	0,01104	0,06960	0,00201	0,13718
e	-3,30384	-4,48157	-2,12612	-2,67402	-3,27259	-2,07545
f	6,80148	3,77997	9,82299	1,81340	0,62216	3,00465
R ²	0,90**			0,93**		

θ : teor de água no solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); D_s : densidade do solo (Mg m^{-3}); Ψ : potencial de água no solo (MPa); Li e Ls: limite inferior e superior do intervalo de confiança 95%, respectivamente; **: significativo pelo teste “F” a 1%. SE: sem escarificação, CE: com escarificação.

Entre os coeficientes do intervalo de confiança o parâmetro “d” foi significativo apenas para os tratamentos com 100% de palhicho sem escarificação na profundidade de 0,05 m, já para 0,15 m os únicos tratamentos significativos foram de 0% e 50% de palhicho com escarificação e 100% de palhicho sem escarificação.

QUADRO 9. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de resistência do solo à penetração ($RP = d\theta^e D_s^f$), com respectivos coeficientes de determinação (R^2), na profundidade de 0,15 m de um Latossolo Vermelho distroférrico, submetido a diferentes níveis de palhicho e escarificação em preparo convencional de cana-de-açúcar.

Coeficientes	Valor estimado	Intervalo de confiança		Valor estimado	Intervalo de confiança	
		Li	Ls		Li	Ls
	.....0% CE .....			..... 0% SE		
d	0,65342	0,25034	1,05650	0,15234	-0,11606	0,42074
e	-1,05225	-1,56611	-0,53838	-1,73818	-2,25700	-1,21935
f	-0,87227	-2,76222	1,01767	1,56881	-1,90564	5,04327
R ²	0,75**			0,89**		
	..... 50% CE .....			..... 50% SE		
d	0,31748	0,00824	0,62671	0,18604	-0,02189	0,39398
e	-1,20672	-1,81812	-0,59532	-1,72769	-2,35733	-1,09805
f	0,59441	-1,40980	2,59862	1,29809	-2,64017	5,23634
R ²	0,69**			0,87**		
	..... 100% CE .....			..... 100% SE		
d	0,00657	-0,02049	0,03364	0,36540	0,00358	0,72723
e	-2,40435	-4,04319	-0,76551	-0,97017	-1,37819	-0,56217
f	10,04714	3,05026	17,04402	1,40947	-0,60563	3,42458
R ²	0,74**			0,74**		

θ : teor de água no solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); D_s : densidade do solo (Mg m^{-3}); Ψ : potencial de água no solo (MPa); Li e Ls: limite inferior e superior do intervalo de confiança 95%, respectivamente; **: significativo pelo teste “F” a 1%. SE: sem escarificação, CE: com escarificação.

Na figura 1 são apresentados a variação das tensões matriciais, os limites críticos correspondentes à capacidade de campo (CC) (0,006 Mpa), representado pelo ponto de murcha permanente (PMP) (1,5 MPa), à porosidade de aeração (PA) de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e a umidade em que a resistência do solo à penetração (RP) é de 2,0 MPa, para cada valor de densidade do solo na profundidade de 0,05 m em plantio direto.

Os atributos capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e resistência a penetração (RP) aumentaram e a porosidade de aeração (PA) diminuiu conforme houve aumento na densidade do solo em todos tratamentos (Figura 1), corroborando com os resultados de diversos autores que também avaliaram estes atributos em sistemas de cultivo de cana-de-açúcar (ARAÚJO et al., 2013; ARANTES, 2015; GARBIATE et al., 2016). Esse aspecto demonstra uma importante participação desses atributos como regulador da qualidade ambiental nos ambientes de solos estudados.

Pode ser observado que houve um aumento no IHO em todos tratamentos que receberam a escarificação, e uma amplitude maior no tratamento que recebeu 100% de palhicho com escarificação, em que não houve Dsc pois o conteúdo de água foi disponível em toda amplitude. Resultados semelhantes foram verificados por Cavalieri et al. (2006) que também observaram melhora nos atributos do IHO em solo escarificado, possibilitando um solo com atributos físicos favoráveis ao crescimento das radicular.

O limite superior dos tratamentos com 0% de palhicho com e sem escarificação (Figura 1A e 1B) foi definido pela CC, e os demais tratamentos com palhicho remanescente a PA substituiu a CC como limite superior de conteúdo de água próximo da densidade $1,3 \text{ g cm}^{-3}$ (Figura 1). Blainski et al. (2012) também observou seus estudos em que a PA passou a ser o limite superior do IHO em plantio direto, indicando diminuição dos macroporos, que são os poros responsáveis pela drenagem de água e difusão de gases no solo. Já com relação ao limite inferior foi definido pelo PMP em todos tratamentos exceto para 100% de palhicho sem escarificação em que a RP limitou o conteúdo de água (Figura 1).

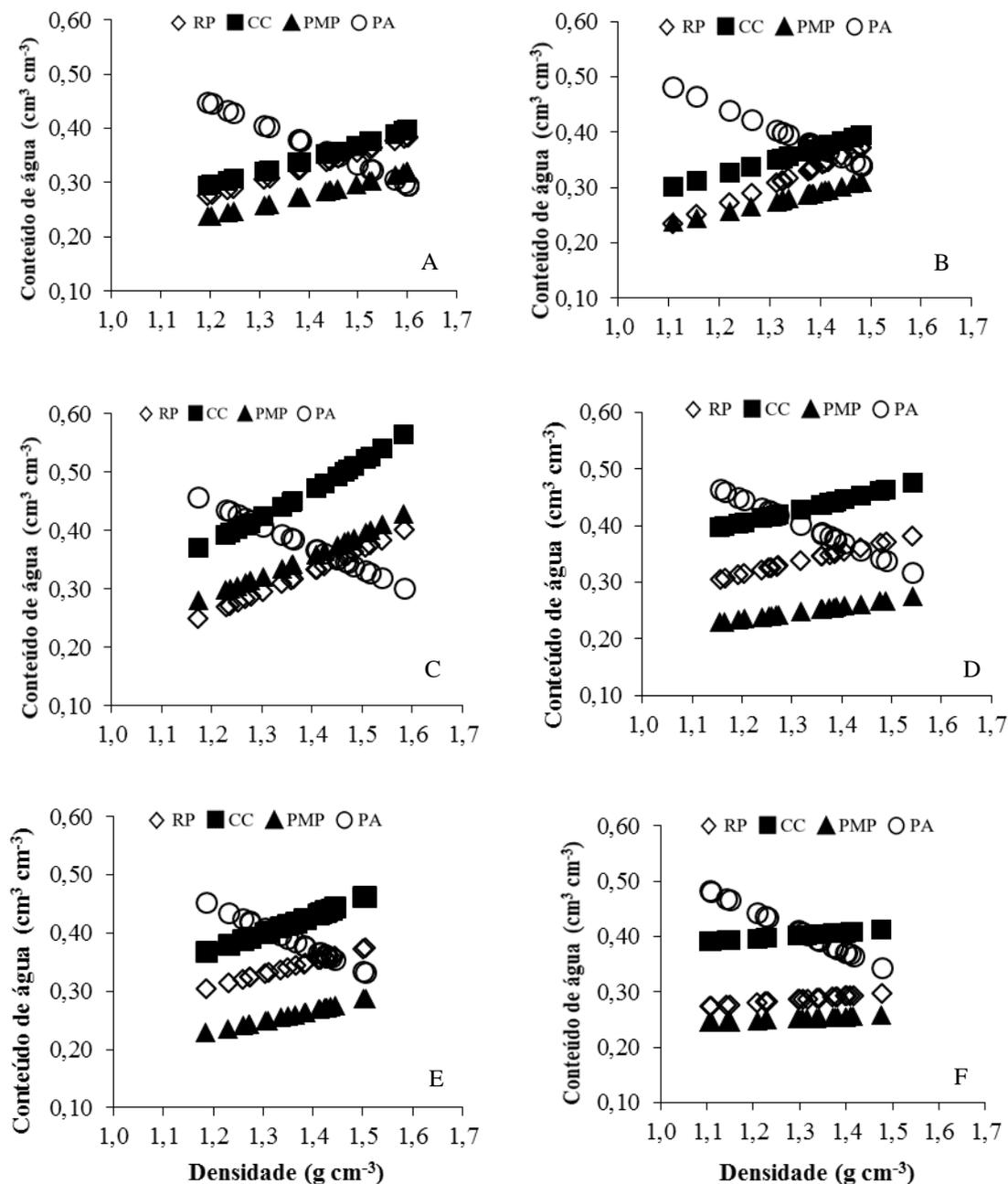


FIGURA 1. Variação do conteúdo de água na capacidade de campo (θ_{CC}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), porosidade de aeração de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (θ_{PA}) e resistência do solo à penetração de $2,0 \text{ MPa}$ (θ_{RP}), em função da densidade de um Latossolo Vermelho distroférrico, na profundidade de $0,05 \text{ m}$ submetido a diferentes níveis de palhicho e escarificação em plantio direto de cana-de-açúcar. A: 0% de palhicho sem escarificação, B: 0% de palhicho com escarificação, C: 50% de palhicho sem escarificação, D: 50% de palhicho com escarificação, E: 100% de palhicho sem escarificação, F: 100% de palhicho com escarificação.

A densidade crítica do solo (D_{sc}), que é a densidade do solo em que o IHO se iguala a zero, ou seja, quando o limite superior do IHO equivale ao limite inferior (SILVA et al., 1994) para os tratamentos avaliados na profundidade de $0,15 \text{ m}$ foi obtida próximas da

densidade de $1,4 \text{ g cm}^{-3}$ para a maioria dos tratamentos, exceto para 0% sem escarificação e 100% de palhço com escarificação (Figura 2A e 2F) que indicaram Dsc nas densidade de $1,5$ e $1,6 \text{ g cm}^{-3}$, respectivamente. De acordo com Blainski et al. (2009), valores de densidade do solo maiores que a densidade critica desenvolve condições físicas altamente restritivas pela redução da aeração e excessiva resistência do solo a penetração.

Os valores de potenciais matriciais de capacidade de campo, porosidade de aeração, ponto de murcha permanente e resistência a penetração são apresentados na Figura 2, em plantio direto na profundidade de $0,15 \text{ m}$.

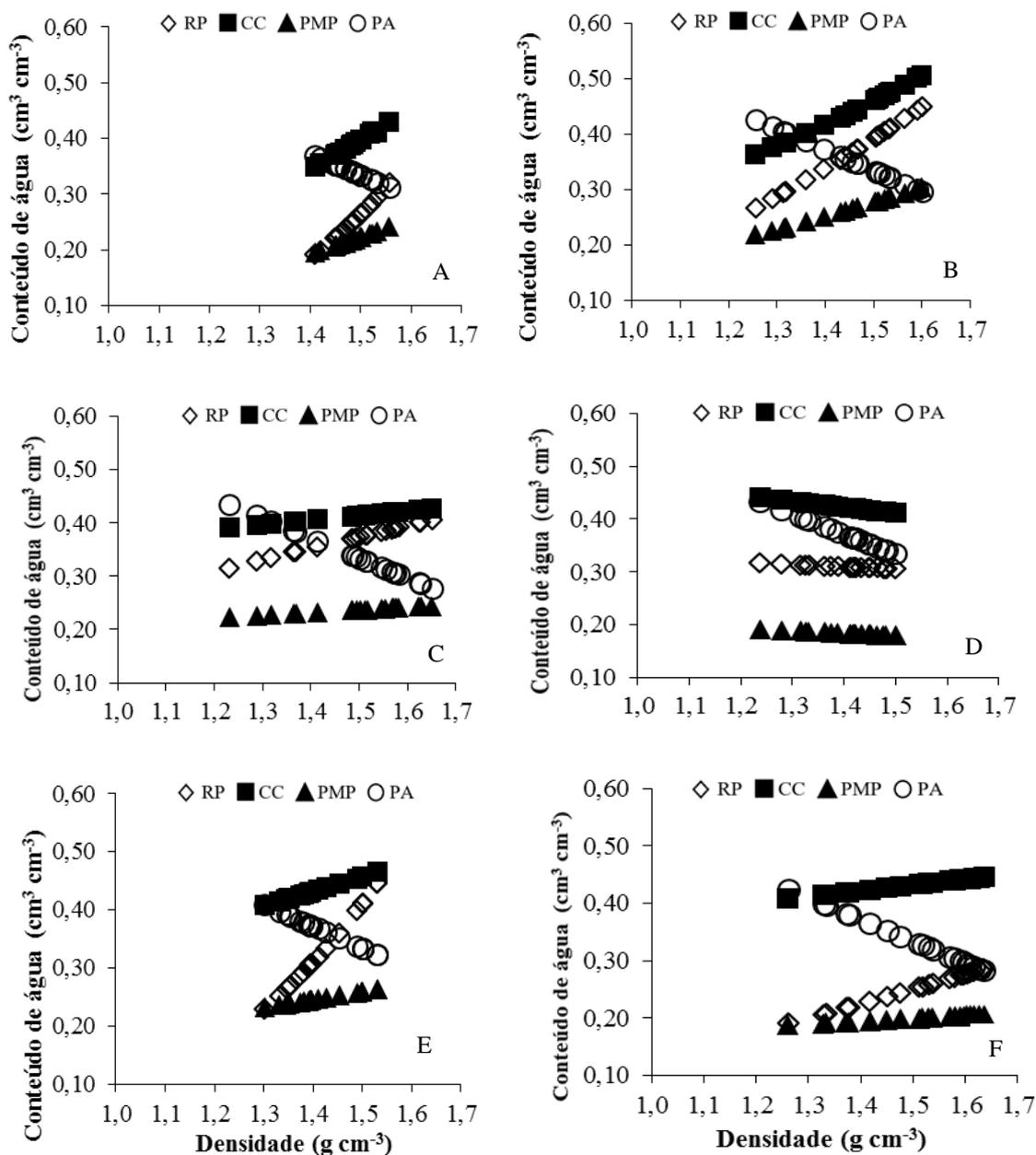


FIGURA 2. Variação do conteúdo de água na capacidade de campo (θ_{CC}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), porosidade de aeração de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (θ_{PA}) e resistência do solo à penetração de $2,0 \text{ MPa}$ (θ_{RP}), em função da densidade

de um Latossolo Vermelho distroférico, na profundidade de 0,15 m submetido a diferentes níveis de palhicho e escarificação em plantio direto de cana-de-açúcar. A: 0% de palhicho sem escarificação, B: 0% de palhicho com escarificação, C: 50% de palhicho sem escarificação, D: 50% de palhicho com escarificação, E: 100% de palhicho sem escarificação, F: 100% de palhicho com escarificação.

O manejo com escarificação nos tratamentos apresentou alteração no IHO, o sistema com 100% de palhicho com escarificação (Figura 2F) novamente apresentou uma amplitude maior no IHO que os demais na profundidade de 0,15 m. Garbiate et al. (2016) também trabalhando com o uso de escarificação em sistema de cultivo mecanizado de cana-de-açúcar observaram que a escarificação reduziu o IHO na profundidade de 30 cm em um Latossolo Vermelho distroférico, demonstrando não ser uma prática eficaz na melhoria da qualidade física e em maiores profundidades. Variações de respostas à escarificação podem também estar relacionadas à umidade presente no solo no momento da operação agrícola e a quantidade de palhicho.

Para o plantio direto na profundidade de 0,15 m (Figura 2), o limite superior foi definido pela CC até a densidade de $1,3 \text{ g cm}^{-3}$, sendo substituída a partir deste ponto pela PA, exceto para os tratamentos de 0% de palhicho sem escarificação e 50% de palhicho com escarificação (Figura 2A e 2D) que a PA limitou o conteúdo de água em todo limite de IHO. Para o limite inferior a RP restringiu o IHO em todos tratamentos, semelhante aos resultados de Calonego et al. (2011) em que no limite inferior das amostras a RP superou o PMP em toda a amplitude de densidade encontrada. Resultados deste trabalho e os encontrados por Calonego et al. (2011) são típicos de solos adensados e que necessitam de uma umidade elevada para que a RP não limite o desenvolvimento radicular.

Observa-se na Figura 3 os valores de capacidade de campo (CC) (0,006 Mpa), representado pelo ponto de murcha permanente (PMP) (1,5 MPa), à porosidade de aeração (PA) de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e a resistência do solo à penetração (RP) de 2,0 MPa, para cada valor de densidade do solo na profundidade de 0,05 m em preparo convencional do solo.

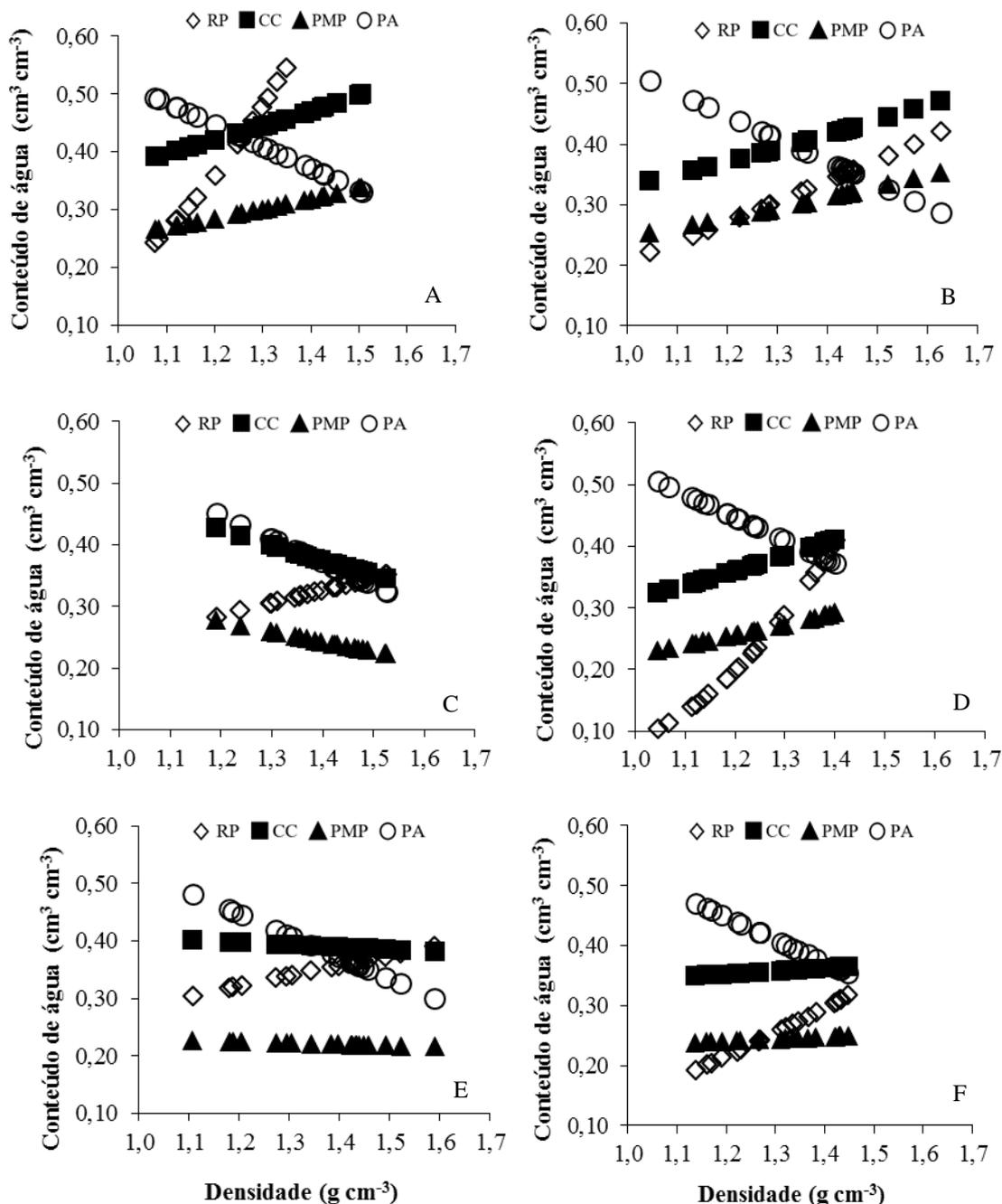


FIGURA 3. Variação do conteúdo de água na capacidade de campo (θ_{CC}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), porosidade de aeração de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (θ_{PA}) e resistência do solo à penetração de $2,0 \text{ MPa}$ (θ_{RP}), em função da densidade de um Latossolo Vermelho distroférrico, na profundidade de $0,05 \text{ m}$ submetido a diferentes níveis de palhicho e escarificação em preparo convencional do solo. A: 0% de palhicho sem escarificação, B: 0% de palhicho com escarificação, C: 50% de palhicho sem escarificação, D: 50% de palhicho com escarificação, E: 100% de palhicho sem escarificação, F: 100% de palhicho com escarificação.

A Dsc variou ficou próxima do valor de $1,4 \text{ g cm}^{-3}$ em todos tratamentos nesta profundidade de $0,05 \text{ m}$, exceto para 0% de palhicho sem escarificação (Figura 3A). De

acordo com Camargo e Alleoni (1997), amostras que apresentem valores de Dsc maiores que $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$ já são considerados críticos para solos argilosos.

Com relação ao limite superior esse foi definido pela CC em todos tratamentos até a densidade de $1,4 \text{ g cm}^{-3}$, exceto para 0% de palhicho com escarificação (Figura 3B) em que a PA substituiu como limite superior do conteúdo de água. Resultados semelhantes foram observados por Guimarães et al. (2013), Souza et al. (2015) e Vischi Filho, et al. (2016), todos avaliaram os atributos de IHO em sistemas mecanizados de cana-de-açúcar e com sistemas convencionais de preparo, a PA não teve interferência significativa como limite superior no conteúdo de água. Portanto, mesmo que tenha ocorrido um decréscimo da PA com o aumento da densidade, esse não foi um fator limitante para o desenvolvimento das plantas.

Para o limite inferior os tratamentos sem uso da escarificação (Figura 3A, 3C e 3E) a RP limitou a amplitude do IHO, assim como verificado por Tormena et al. (2007) e Calonego et al. (2011). Para os tratamentos que receberam a escarificação no manejo da cultura (Figura 3B, 3D e 3F) seus limites foram definidos inicialmente pelo PMP até a densidade de $1,2 \text{ g cm}^{-3}$, a partir deste ponto a RP passou a limitar o IHO. Portanto, são necessárias estratégias que possibilitem a redução da RP a fim de aumentar o IHO, podendo ser mediante práticas mecânicas para diminuir a Ds como a escarificação ou pelo manejo da irrigação, mantendo-se uma boa umidade no solo cultivado (BLAINSKI et al., 2009).

Houve grande aumento na amplitude do IHO, na profundidade de 0,15 m em preparo convencional, com o uso da escarificação (Figura 4).

Os valores de Dsc que correspondem à densidade do solo onde o intervalo hídrico é nulo ou zero (SILVA et al., 1994), na profundidade de 0,15 m os tratamentos sem uso da escarificação (Figura 4A, 4C e 4E) a Dsc ocorreu entre a densidade de $1,4 \text{ g cm}^{-3}$. A maior Dsc foi observada na densidade de $1,58 \text{ g cm}^{-3}$ no tratamento com 50% de palhicho com escarificação (Figura 4D). De acordo com Calonego e Rosolem (2011) quanto maior a Dsc, menor será a probabilidade de a planta permanecer em condições de estresse, desta forma este tratamento com 50% sem escarificação foi mais eficiente na melhoria das condições físicas do solo para a profundidade de 0,15 m de profundidade em plantio convencional.

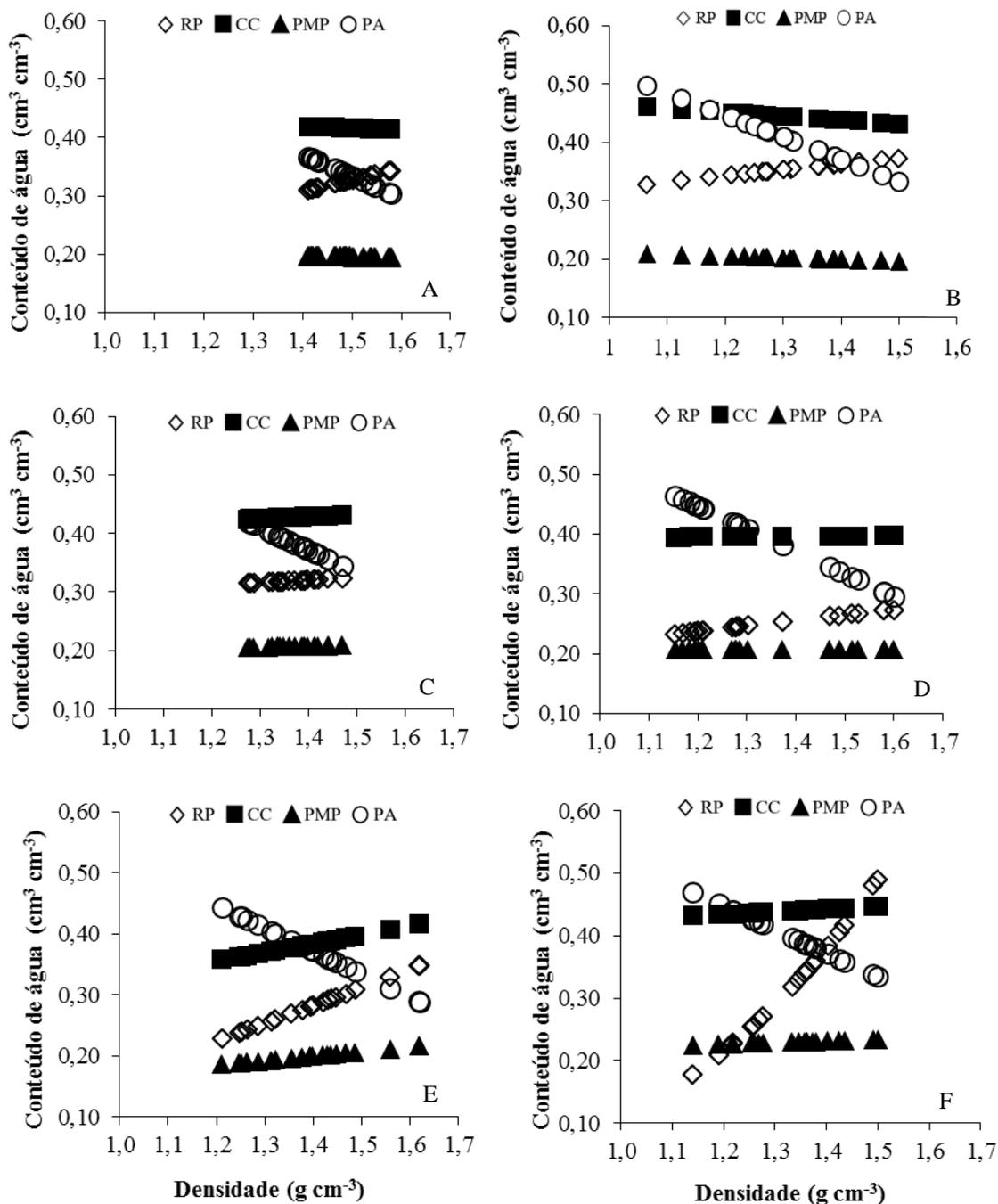


FIGURA 4. Variação do conteúdo de água na capacidade de campo (θ_{CC}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), porosidade de aeração de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (θ_{PA}) e resistência do solo à penetração de $2,0 \text{ MPa}$ (θ_{RP}), em função da densidade de um Latossolo Vermelho distroférrico, na profundidade de $0,15 \text{ m}$ submetido a diferentes níveis de palhço e escarificação em plantio convencional de cana-de-açúcar. A: 0% de palhço sem escarificação, B: 0% de palhço com escarificação, C: 50% de palhço sem escarificação, D: 50% de palhço com escarificação, E: 100% de palhço sem escarificação, F: 100% de palhço com escarificação.

Os tratamentos com 0% e 50% de palhço sem escarificação (Figura 4A e 4C) tiveram seus limites superiores definidos pela PA, os demais foram limitados pela CC até

a densidade de $1,15 \text{ g cm}^{-3}$, $1,31 \text{ g cm}^{-3}$, $1,35 \text{ g cm}^{-3}$ e $1,22 \text{ g cm}^{-3}$ (Figura 4B, 4D, 4E e 4F) a partir deste ponto foi substituído pela PA. Todos tratamentos tiveram como limite inferior a RP, exceto para 100% de palhiço com escarificação (Figura 4F) em que PMP limitou próximo a densidade de $1,2 \text{ g cm}^{-3}$. Diferindo de Garbiate (2013) em que trabalhando com o uso de escarificação na cana-de-açúcar, sem a presença de palhiço na profundidade de 30 cm em um Latossolo Vermelho distroférico o PMP definiu o limite inferior em todos tratamentos avaliados.

Garbiate et al. (2016) que trabalhando com diferentes profundidades da escarificação em cultivo da soqueira da cana-de-açúcar observaram um aumento na RP sem o uso do escarificador no IHO. Resultados que corroboram com este estudo em que pode ser observado que o IHO aumentou com o palhiço e os tratamentos com palhiço mais escarificação (Figura 4B, 4D e 4F) tiveram, por ação mecânica do implemento adicionado aos benefícios da matéria orgânica, uma mitigação mais expressiva dos efeitos negativos da compactação, refletidos por alívio da RP e PA, e aumento do IHO.

CONCLUSÕES

A manutenção do palhço e o uso da escarificação tanto em plantio direto como em sistema convencional resulta no aumento do IHO em ambas profundidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. S.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ARANTES, H. P. **Atributos físico-hídricos do solo após colheita mecanizada de cana-de-açúcar**. 2015. 45 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

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*, v. 48, n. 6, p. 651-660, 2013.

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*, 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*, v. 36, n. 1, p. 79-87, 2012.

BRADFORD, J. M. Penetrability. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analyses - physical and mineralogical methods**. 2 ed. Madson, ASA – SSSA, 1986. p. 463-478.

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

BUSSCHER, W.J. FREDERICK, J. R.; BAUER, P. J. Timing effects of deep tillage on penetration resistance and wheat and soybean yield. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 64, n. 3, p. 999-1003, 2000.

CALONEGO, J. C.; BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Intervalo hídrico ótimo e compactação do solo com cultivo consorciado de milho e braquiária. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 6, 2011.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Least limiting water range in soil under crop rotations and chiseling. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 3, p. 759-771, 2011.

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

CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; DIAS, F. L. F.; CASAGRANDE, A. A.; SILVA, A. R.; 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, p. 189-198, 2005.

CAVALIERI, K. M. V.; TORMENA, C. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; GONÇALVES, A. C. A.; COSTA, A. C. S. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um

Latossolo Vermelho Distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 137-147, 2006

DONAGEMA, G.K. et al. (2011) - **Manual de métodos de análise de solos**. 2^a ed. Revista. Rio de Janeiro, Embrapa solos, 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

GARBIATE, M. V. **Qualidade estrutural de um Latossolo Vermelho distroférico submetido à escarificação pós colheita mecanizada de cana-de-açúcar**. 2013. 67 f. (Mestrado em Agronomia, Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

GARBIATE, M. V.; VITORINO, A. C. T.; PRADO, E. A. F.; MAUAD, M.; PELLIN, D. M. P. Hydrophysical Quality of an Oxisol and Sugarcane Yield in Chisel Plow-Based Sugarcane Ratoon Management. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 40, p. e0150411, 2016.

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 America Journal**, v. 32, n. 2, p. 18-186, 1968.

GUIMARÃES, R. M. L.; TORMENA, C. A.; BLAINSKI, E.; FIDALSKI, J. Intervalo hídrico ótimo para avaliação da degradação física do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 37, n. 6, p. 1512-1521, 2013.

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

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**. v. 1, n. 1, p. 277-294, 1985.

PEREIRA, A. H. F. **Atributos físicos do solo sob tipos de transbordo em colheita mecanizada de cana crua**. 2014. 54 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

PRADO, E. A. F. **Qualidade física promovida por manejos de solo e espécies na renovação do canavial**. 2015. 89 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

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**, v. 41, n. 9, p. 1536-1542, 2011.

- ROSS, P. J.; WILLIAMS, J.; BRISTOW, K. L. Equations for extending water-retention curves to dryness. **Soil Science Society of American Journal**, 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**. v. 88, n. 5, p. 844-851, 1996.
- SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of America Journal**. v. 58, n. 6, p. 1775-1781, 1994.
- SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; DIAS JÚNIOR, M. S.; IMHOFF, S.; KLEIN, V. A. Indicadores da qualidade física do solo. In: VAN LIER Q. de J. (Ed.). **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2010. p. 241-281.
- SOUZA, G. S.; SOUZA, Z. M.; COOPER, M.; TORMENA, C. A. Controlled traffic and soil physical quality of an Oxisol under sugarcane cultivation. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 3, p. 270-277, 2015.
- SOUZA, G. S.; SOUZA, Z.M.; SILVA, R.B.; ARAÚJO, F.S.; BARBOSA, R.S. Compressibilidade do solo e sistema radicular da cana-de-açúcar em manejo com e sem controle de tráfego. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 47, n. 4, p. 603-612, 2012.
- SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v. 40, n. 1, 2009.
- TAYLOR, H.; ROBERSON, G. M.; PARKER Jr., J. J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, v. 102, n. 1, p. 18-22, 1966.
- TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; FIDALSKI, J.; COSTA, J. M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 2, p.211-219, 2007.
- 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.
- VASCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; MOURA, G. B. A.; ROLIM, M. M.; MONTENEGRO, C. E. V. Compressibilidade de um Latossolo Amarelo distrocoeso não saturado sob diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 2, p. 525-536, 2012.
- VISCHI FILHO, O. J.; SOUZA, Z. M.; SOUZA, G. S.; SOUSA, A. C. M.; SILVA, R. B. Intervalo hídrico ótimo em área de cana-de-açúcar com diferentes ciclos de colheita mecanizada. **Irriga**, Edição Especial, Grandes Culturas, p. 96-108, 2016.

ARTIGO 2

NÍVEIS DE PALHIÇO E MANEJO DE CANA-DE-AÇÚCAR NA CAPACIDADE DE SUPORTE DE CARGA DE UM LATOSSOLO, E SUAS RELAÇÕES COM A PRODUTIVIDADE

RESUMO

A intensa mecanização envolvida em lavouras de cana-de-açúcar por longo tempo e em muitas vezes com conteúdo inadequado de água pode resultar na compactação do solo e redução da produtividade. A pressão de pré-consolidação vem sendo utilizada como um dos indicadores da sustentabilidade da estrutura do solo em conteúdos de água predeterminados. Objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos da retirada mecanizada de palhiço, aliada a escarificação anual das soqueiras, em sistemas de plantio direto e convencional na cultura da cana-de-açúcar sobre a capacidade de suporte de carga (CSC) do solo e nos parâmetros de produtividade da cultura. O experimento foi desenvolvido no ano agrícola de 2015/2016 em uma área experimental de longa duração da Embrapa Agropecuária Oeste em parceria com a da Usina São Fernando no município de Dourados-MS em um Latossolo Vermelho distroférico, textura muito argilosa. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema de parcelas sub-subdivididas. As parcelas foram compostas pelos sistemas de plantio (direto e convencional), as subparcelas por níveis de palhiço remanescente (retirada total de palhiço - 0%, retirada parcial de palhiço - 50 % e sem retirada de palhiço - 100 %) e as sub-subparcelas por escarificação mecânica no cultivo das soqueiras (com e sem escarificação nas entrelinhas da cana-de-açúcar). As amostras foram coletadas com estrutura preservada nas profundidades de 0,05 m e 0,15 m, e posteriormente analisadas em laboratório. A manutenção da palhiço total ou parcial, independente do manejo do solo e das profundidades avaliadas favorecem menores valores de CSC, portanto melhoram a qualidade física do solo. O uso da escarificação das soqueiras em preparo convencional promoveu maiores valores de CSC, indicando uma possível compactação adicional no solo dessas áreas,. A manutenção de umidade em plantio direto beneficiou a produção de colmos, diminuiu a concentração de açúcares e promoveu aumento da produção de açúcares, enquanto que a remoção total do palhiço promove efeito positivo na concentração de açúcar (ATR).

Palavras-chave: compressibilidade, plantio direto, escarificação.

TRASH LEVELS AND MANAGEMENT OF SUGARCANE ON LOAD-BEARING CAPACITY OF A OXISOL, AND ITS RELATIONSHIP WITH PRODUCTIVITY

ABSTRACT

The intense mechanization involved in crops of sugarcane for a long time and often with inappropriate content of water may result in soil compaction. Pré-consolidação pressure is being used as one of the indicators of the sustainability of the soil structure in predetermined water content. The objective of this work to evaluate the effects of the withdrawal of mechanized trash on culture of sugarcane on the load-bearing capacity (LBC) of the soil tillage and conventional systems and in the parameters of productivity of culture. The experiment was developed in the agricultural year of 2015/2016 in a long-term experimental area of Embrapa Agropecuária Oeste in partnership with that of the Usina São Fernando in the municipality of Dourados-MS in a classified as Oxisol. The experimental design was randomized blocks with four repetitions, in sub-subdivididas plots scheme. The plots were composed by planting systems (direct and conventional), the subplots for remaining trash levels (total withdrawal of trash -0%, partial withdrawal of trash -50% and without removal of trash -100%) and the sub-subparcelas by mechanical scarification in the cultivation of knuckle-dusters (with and without rip fence between the lines of sugar cane). The samples were collected with preserved structure in the depths of 0.05 m and 0.15 m, and subsequently analyzed in the laboratory. The maintenance of the total or partial plow, regardless of the soil management and the evaluated depths, favors lower LBC values, thus improving the physical quality of the soil. The use of scarification in LBC in conventional tillage caused higher soil pressures, indicating an additional compaction. The maintenance of moisture in no-tillage benefited the production of stalks, decreased the concentration of sugars and promoted increase of sugar production, while the removal of the straw promoted a positive effect for the production of sugar (ATR).

Keywords: compressibility, tillage, scarification.

INTRODUÇÃO

A intensa mecanização em lavouras de cana-de-açúcar por longo período pode resultar na compactação do solo, com conseqüente aumento de densidade, diminuição da porosidade e redução da condutividade hidráulica (SILVA, et al., 2003; SAFFIH HDADI et al., 2009). Em áreas agrícolas a pressão imposta pelos veículos e implementos agrícolas no solo tem sido apontada como a principal causa da compactação, em especial nas áreas com solos argilosos (MARSILI et al., 1998; ROSIM et al., 2012).

As principais causas de problemas com a compactação são devido às operações de manejo que envolvem o tráfego de máquinas em solos com conteúdo inadequado de água (PEREIRA et al., 2015). De acordo com Kondo e Dias Junior (1999), para determinar a umidade máxima em que as operações mecanizadas podem ocorrer deve ser levado em conta o limite de plasticidade do solo, bem como deve ser considerado o tipo de tensão exercida por cada tipo de equipamento utilizado.

O processo de compactação pode ser atribuído ao aumento da densidade do solo, diminuição do espaço poroso entre os agregados e a destruição dos agregados, provocando um rearranjo e orientação das partículas (HORN et al., 1995; REICHERT et al., 2010). Assim, a degradação estrutural do solo conseqüente da compactação causada pelo manejo tem provocado efeitos negativos em suas propriedades físicas, químicas e biológicas, com prejuízos para o desenvolvimento das plantas e em conseqüência à produção das culturas (CAMARGO; ALLEONI, 1997).

A aplicação de pressões maiores do que a capacidade de suporte de carga no solo podem causar deformações definitivas na estrutura do solo (SILVA et al., 2006; IMHOFF et al., 2016). Solos mais argilosos por apresentarem maior capacidade de retenção de água tem maior susceptibilidade à compactação adicional quando submetidos a cargas superiores às que o solo já sofreu, portanto necessitam de maior atenção com o tráfego de máquinas (REICHERT et al., 2010).

Gontijo et al. (2007) afirmaram que existe a necessidade de conhecer melhor os estados de compactação que reduzem o crescimento do sistema radicular das plantas, visando o uso do solo de forma eficiente e sustentável. Assim, a pressão de pré-consolidação vem sendo utilizada como um dos indicadores da sustentabilidade da estrutura do solo em conteúdo de água predeterminados (DIAS JUNIOR; PIERCE, 1996; GONTIJO et al., 2007).

A pressão de pré-consolidação (σ_p), é determinada pela curva de compressão obtida com o ensaio de compressão uniaxial. Essa variável é definida como a maior pressão que o solo já sofreu no passado, é a capacidade de suporte de carga, ou seja, máxima pressão que o solo suporta antes que ocorra uma compactação adicional (DIAS JUNIOR; PIERCE, 1996). Assim, a aplicação de pressões maiores que as que o solo já foi submetido causará deformações não recuperáveis alterando consideravelmente suas propriedades físicas (REICHERT et al., 2010).

Uma medida efetiva na prevenção da compactação do solo é a aplicação de pressões inferiores à capacidade de suporte de carga, mas também podem ser adotadas outras estratégias como uso de máquinas em conteúdo de água adequada no solo, não revolvimento de forma rotineira, escolha de equipamentos e técnicas de manejo que minimizem o risco de compactação, disposição de resíduos sobre as entrelinhas de tráfego de máquinas, etc. (DEBIASI et al., 2008; REICHERT et al., 2010).

De acordo com Keller et al. (2002), os efeitos da compactação na camada superficial do solo podem ser controlados por meio do preparo do solo, como o uso de escarificação nas entrelinhas da cultura. Mas a maior preocupação deve estar focada na compactação da subsuperfície, visto que a redução da compactação nas camadas mais profundas demanda altos custos e diversas técnicas utilizando mais tráfegos de máquinas, e como consequência implica comprometimento na produtividade das culturas.

Objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos da retirada mecanizada de palhço e uso da escarificação nas soqueiras da cana-de-açúcar em sistemas plantio direto e convencional, sobre a capacidade de suporte de carga do solo e nos parâmetros de produtividade da cultura.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no ano agrícola de 2015/2016 em uma área experimental da Embrapa Agropecuária Oeste em parceria com a Usina São Fernando no município de Dourados-MS. O local situa-se na latitude $-22^{\circ}25'86''$ S, e longitude $-54^{\circ}97'47''$ W, altitude de 410m. O clima da região, conforme a classificação de Köppen é Am, tropical monçônico, com estações chuvosa no verão e seca no inverno (ALVARES et al., 2013). O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico, textura muito argilosa (Embrapa, 1997).

O experimentado foi conduzido em área cultivada com cana-de-açúcar renovada em 2013, que foi submetida à colheita mecanizada, sem recolhimento do palhicho residual, durante o ciclo anterior (2006 a 2012).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema de parcelas sub-subdivididas. As parcelas foram compostas pelos sistemas de plantio (direto e convencional), as subparcelas por níveis de palhicho remanescente: sem retirada de palhicho – (100 %), retirada parcial de palhicho – (50%) e retirada total de palhicho (0%), e as sub-subparcelas por escarificação mecânica no cultivo das soqueiras (com e sem escarificação nas entrelinhas da cana-de-açúcar). As 36 parcelas experimentais foram compostas por seis linhas de cana-de-açúcar espaçadas de 1,5 m com 30 metros de comprimento (270 m^2).

Parte da área foi conduzida no plantio direto com eliminação química do rebrote da última soqueira da cana, através da aplicação de $6,0 \text{ L ha}^{-1}$ do herbicida glifosato + $1,8 \text{ L ha}^{-1}$ do herbicida 2,4-D e volume de calda de 150 L ha^{-1} . Aplicação de corretivos ($2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de gesso agrícola e $4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de calcário dolomítico) na superfície do solo. A outra parte da área no sistema de preparo convencional com eliminação química do rebrote da última soqueira da cana, aplicação de corretivos (gesso agrícola e calcário) nas mesmas fontes e doses do plantio direto. Neste sistema os corretivos juntamente com o palhicho residual foram incorporados ao solo com as operações de preparo convencional, realizados com gradagem com grade aradora, subsolagem, gradagem com grade intermediária e gradagem com grade niveladora.

Após a aplicação dos corretivos e preparo do solo, no sistema de preparo convencional, toda a área do experimento foi cultivada com soja durante a safra 2012/13. Após a colheita da soja em março de 2013 implantou-se novo canavial com a cultivar RB 966928, através do plantio mecanizado no espaçamento simples de 1,5 m entre as linhas

de cana. A adubação de plantio utilizada em toda a área experimental foi de 600 kg ha⁻¹ da fórmula N-P-K 05-25-25. Os demais tratamentos culturais para controle das plantas daninhas e pragas foram realizados sempre que necessários e de acordo com as recomendações para a cultura.

Após a colheita da cana-planta em setembro de 2014 foram aplicados nas subparcelas os níveis de palhicho residual: sem retirada de palhicho – (100 %), retirada parcial de palhicho – (50%) e retirada total de palhicho (0%). Para recolhimento do palhicho foram realizadas as operações de enleiramento com um ancinho enleirador, modelo AL 1290, marca New Holland, tracionada por um trator de 110 CVs. Em seguida realizou-se o enfardamento das leiras de palha com uma enfardadeira marca New Holland, modelo BB 1290, tracionada por um trator de 180 CVs. Por último realizou-se o recolhimento dos fardos com uma carreta, marca New Holland, modelo AC 1290, tracionada por um trator de 110 CVs. O recolhimento parcial (50%) foi estabelecido através de regulagem da altura de trabalho do ancinho enleirador de palha.

As quantidades de palhicho residual que permaneceram sobre o solo após a aplicação dos tratamentos, bem como suas respectivas porcentagens em relação a área sem retirada do palhicho, são apresentadas no Quadro 1.

QUADRO 1. Produção de palha, palha remanescente e % da palha remanescente após o recolhimento total e parcial da palha da cana-de-açúcar. Dourados, MS/Brasil, Safra 2014/15.

Tratamentos	Palha Total	Palha Residual	Remanescente
	Mg ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹	%
Plantio Direto	18,64	10,06	57,20
Preparo Convencional	19,54	11,22	53,91
Palha (Mg ha ⁻¹)	-	-	-
1,37	20,09	1,37	7,6
12,17	19,64	12,17	64,6
17,96	17,96	17,96	100,0
Escarificação	-	-	-
Com	20,15	11,35	57,20
Sem	18,03	9,93	53,91

A escarificação foi realizada com um cultivador/adubador de soqueiras da marca DMB e modelo Novo São Francisco, equipado com discos de corte da palhada e hastes escarificadoras que trabalham a uma profundidade aproximada de 0,3 m no centro da entrelinha da cana-de-açúcar.

Em setembro de 2015, após a colheita da segunda soqueira com aplicação do recolhimento total e parcial do palhiço e escarificação da soqueira, amostras de solo foram coletadas com estrutura preservada, em cilindros metálicos de 83 cm^3 , raio de 3,22 cm e 2,55 cm de altura, distante 5 cm da linha, centralizados nas profundidades de 0,05 m e 0,15 m. Em cada parcela foram coletadas 7 amostras em cada profundidade, portanto 42 amostras por tratamento (21 amostras em cada profundidade).

As 21 amostras de cada tratamento (de cada profundidade) foram divididas em 7 grupos de 5 amostras, sendo cada grupo submetido à saturação por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingirem cerca de dois terços da altura do cilindro metálico para posterior estabilização do teor de água, posteriormente submetidas à potenciais matriciais utilizando a mesa de tensão (-0,006 Mpa) e câmara de Richards aos seguintes potenciais: -0,004; -0,01; -0,033; -0,066; -0,1; -0,3 e -1,5 MPa, conforme Klute (1986). Os macroporos foram avaliados de acordo com a diferença entre o conteúdo de água no solo saturado e o conteúdo de água no solo após a aplicação da tensão de 0,006 Mpa, como proposto em Donagema et al. (2011).

Quando as amostras atingiram o equilíbrio nas referidas tensões foi medida a resistência do solo à penetração, utilizando um penetrômetro eletrônico com velocidade constante de penetração de 1 cm min^{-1} , com diâmetro de base de 4 mm. No centro geométrico de cada amostra foi introduzida a haste de penetração. As leituras obtidas nos 5 mm superiores e inferiores da amostra foram descartadas, visando eliminar o efeito da periferia da amostra, conforme proposto por Bradford (1986). A frequência de leituras de resistência à penetração corresponderá à coleta de um valor a cada 0,25 segundos, obtendo-se um total de 800 leituras por amostra, das quais um valor médio foi utilizado.

Após este processo as amostras foram levadas ao 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 seja alcançada (HOLTZ; KOVACS, 1981). 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 Donagema et al. (2011).

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 (1996). As letras “a” e “b” representam os coeficientes empíricos de ajuste do modelo, ou seja, o coeficiente linear e angular, respectivamente.

As comparações entre os modelos foram realizadas de acordo com 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 $\log \sigma_p = a + b\theta$. Este teste 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 segundo Blainski et al. (2009) e Blainski et al. (2012).

Os resultados de produção da cana-de-açúcar e atributos da estrutura do solo foram submetidos à análise de variância, e quando significativa foi aplicado o teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para a comparação de médias e verificação da interação entre manejos de solo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores de densidade do solo (Ds) não apresentaram significância ($p < 0,05$) em nenhuma interação na profundidade de 0,05 m (Quadro 2).

QUADRO 2. Densidade do solo (Ds), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e porosidade total do solo (Pt) nos tratamentos na profundidade de 0,05 m avaliadas em um Latossolo Vermelho distroférrico submetido a diferentes níveis de palhiço e escarificação em sistemas de manejo de cana-de-açúcar.

Tratamentos	Ds	Macro	Micro	Pt
	g cm^{-3}	$\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$		
Manejo do solo				
Direto	1,37 a	0,12 a	0,37 a	0,49 a
Convencional	1,32 a	0,10 a	0,37 a	0,47 a
F	3,88 ns	2,82 ns	0,22 ns	0,05 ns
CV (%)	6,61	2,38	5,83	4,56
Níveis de palhiço				
0%	1,31 a	0,09 a	0,39 a	0,48 a
50%	1,34 a	0,11 a	0,37 ab	0,48 a
100%	1,38 a	0,10 a	0,35 b	0,45 a
F	3,21 ns	0,57 ns	5,00*	3,28 ns
CV (%)	5,52	3,45	7,86	8,25
Escarificação				
Com	1,33 a	0,13 a	0,37 a	0,50 a
Sem	1,36 a	0,10 b	0,37 a	0,47 b
F	2,88 ns	11,11**	0,43 ns	5,547*
CV (%)	5,57	3,78	7,85	8,83

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ** e * significativos a 1 e 5% respectivamente. CV: coeficiente de variação

A ausência de efeito da escarificação da soqueira da cana na densidade do solo corroboram com os resultados de Roque et al. (2011) e Garbiate et al. (2014) que também trabalharam com sistema mecanizado em cultivo de cana-de-açúcar e não observaram diferenças significativas quanto a densidade do solo.

Houve aumento significativo da macroporosidade apenas nos tratamentos com escarificação nas entrelinhas da soqueira da cana (Quadro 2). Paulino et al. (2004), também verificaram efeito positivo do uso da escarificação na macroporosidade de um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar, e diminuição na microporosidade conforme o aumento da profundidade das hastes do escarificador.

A microporosidade (Micro) foi influenciada significativamente apenas pelos níveis de palhiço, com 0% de palhiço no solo apresentou maiores valores de microporos, superior aos tratamentos com 100% de palhiço, mas semelhante ao nível de 50% (Quadro 2). A porosidade total (Pt) somente apresentou significância ao manejo do solo, os tratamentos que receberam escarificação foram superiores (Quadro 2).

Prado (2015) observou resultados semelhantes em sistema de renovação de canal com uso de plantas de cobertura após um ciclo de cultivo de cana-de-açúcar, em que o preparo do solo não influenciou a microporosidade e a porosidade total. Contudo, avaliando a interação da semeadura direta os tratamentos com palhada de *Crotalaria Juncea* e girassol influenciaram de forma positiva em relação a porosidade, comparado aos tratamentos sem palhada de culturas antecessoras.

Na profundidade de 0,15 m a densidade foi significativa somente para o fator escarificação, em que na ausência da escarificação houve um aumento na densidade (Quadro 3).

QUADRO 3. Densidade do solo (Ds), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e porosidade total do solo (Pt) nos tratamentos na profundidade de 0,15 m avaliadas em um Latossolo Vermelho distroférrico submetido a diferentes níveis de palhiço e escarificação em sistemas de manejo de cana-de-açúcar.

Tratamentos	Ds	Macro	Micro	Pt
	g cm ⁻³	-----m ³ m ⁻³ -----		
Manejo de solo				
Direto	1,46 a	0,10 b	0,38 a	0,48 b
Convencional	1,37 a	0,12 a	0,39 a	0,51 a
F	3,81 ns	40,75 *	0,60 ns	5,78 **
CV (%)	2,27	4,80	4,04	0,81
Níveis de palhiço				
0%	1,43 a	0,10 b	0,38 a	0,48 b
50%	1,41 a	0,10 b	0,39 a	0,49 b
100%	1,41 a	0,13 a	0,39 a	0,52 a
F	0,24 ns	77,83 **	0,17 ns	0,57 **
CV (%)	6,52	7,23	10,04	7,98
Escarificação				
Com	1,37 b	0,12 a	0,38 a	0,50 a
Sem	1,46 a	0,10 b	0,38 a	0,48 b
F	16,94 **	5,15 *	0,003 ns	6,96 *
CV (%)	4,99	5,78	8,69	6,60

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ** e * significativos a 1 e 5% respectivamente. CV: coeficiente de variação

A macroporosidade e a porosidade total do solo foram influenciadas de forma significativa ($p < 0,05$) pelo sistema de plantio, níveis de palhicho e uso da escarificação, assim, em plantio convencional, com 100% de palhicho e com uso da escarificação foram observados maiores valores de para ambas variáveis (Quadro 3). De acordo com Baver et al. (1972), o valor mínimo de macroporos deve ser de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para promover o desenvolvimento satisfatório do sistema radicular, e neste estudo todos tratamentos apresentaram valores superiores ou iguais a esse limite anteriormente citado independente da profundidade.

Para a microporosidade não houve diferenças significativas ($p < 0,05$) em nenhum dos tratamentos avaliados (Quadro 3), estando esses resultados de acordo com Roque et al. (2011), Arantes (2015) e Garbiate et al. (2014) que trabalharam com cultivo de cana-de-açúcar com diferentes manejos de preparo do solo e não encontraram diferenças significativas para a microporosidade em função do manejo aplicado.

Todas as curvas ajustadas dos modelos de CSC apresentaram coeficientes de determinação (R^2) significativos a 1 % ($p < 0,01$) pelo teste de F (Quadro 4 e 5). O intervalo de confiança dos coeficientes do ajuste dos modelos foi significativo de acordo como descrito por Blainski et al. (2009) e Blainski et al. (2012), pois não incluiu valor igual a zero, exceto para o coeficiente “b” no tratamento T2 na profundidade de 0,05 m em plantio direto de cana-de-açúcar.

QUADRO 4. 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), coletadas em duas profundidades de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido a diferentes níveis de palhicho e escarificação em plantio direto de cana-de-açúcar.

Tratamentos	A			b			R^2
	Valor estimado	Intervalo de confiança		Valor estimado	Intervalo de confiança		
		Li	Ls		Li	Ls	
0,05 m							
T1	3,644	3,067	4,222	-3,643	-5,242	-2,043	0,82**
T2	3,196	2,292	4,100	-2,250	-4,532	0,031	0,43**
T3	2,809	2,247	3,371	-1,342	-2,657	-0,027	0,48**
T4	3,352	2,781	3,924	-2,968	-4,516	-1,419	0,77**
T5	3,419	2,875	3,963	-3,240	-4,794	-1,686	0,75**
T6	3,199	2,587	3,810	-2,934	-4,729	-1,139	0,66**
0,15 m							
T1	2,857	2,683	3,031	-1,076	-1,549	-0,602	0,75**
T2	3,308	2,979	3,638	-2,071	-2,987	-1,154	0,76**

T3	3,241	2,943	3,540	-2,812	-3,763	-1,862	0,85**
T4	3,116	2,834	3,398	-2,204	-3,045	-1,363	0,83**
T5	3,044	2,783	3,305	-1,915	-2,635	-1,195	0,82**
T6	2,699	2,434	2,964	-1,277	-2,049	-0,506	0,64**

T1: 0% de palhiço sem escarificação, T2: 0% de palhiço com escarificação, T3: 50% de palhiço sem escarificação, T4: 50% de palhiço com escarificação, T5: 100% de palhiço sem escarificação, T6: 100% de palhiço com escarificação. Li e Ls: limite inferior e superior do intervalo de confiança 95 %, respectivamente; ** significativo pelo teste “F” a 1%.

Na profundidade de 0,05 m o tratamento T3 (50% de palhiço sem escarificação) apresentou os menores valores de coeficientes que os demais tratamentos, já para a profundidade de 0,15 m o tratamento T6 com 100% de palhiço com escarificação indicou menores valores de coeficientes no plantio direto. De acordo com Pacheco e Cantalice (2011), quando as estimativas de coeficiente apresentam menores valores tanto para o coeficiente angular quanto para o linear, esse tratamento pode ter uma menor amplitude da CSC. Indicando, portanto, solos menos compactados com melhores condições para desenvolvimento vegetal (Quadro 4).

Para o preparo convencional os intervalos de confiança dos coeficientes do ajuste dos modelos são significativo como descrito por Blainski et al. (2009) e Blainski et al. (2012), para todos tratamentos exceto para o coeficiente “b” na profundidade de 0,05 m para T2 e T4 (Quadro 5).

QUADRO 5. 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), coletadas em duas profundidades de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido a diferentes níveis de palhiço e escarificação em preparo convencional de cana-de-açúcar.

Tratamentos	a			b			R^2
	Valor estimado	Intervalo de confiança		Valor estimado	Intervalo de confiança		
		Li	Ls		Li	Ls	
0,05 m							
T1	3,089	2,364	3,814	-2,051	-3,910	-0,192	0,52**
T2	2,798	2,130	3,465	-1,648	-3,511	0,213	0,37**
T3	3,284	2,842	3,725	-2,847	-4,109	-1,585	0,73**
T4	2,554	2,229	2,880	-0,792	-1,709	0,124	0,41**
T5	2,948	2,787	3,109	-2,131	-2,636	-1,625	0,91**
T6	3,547	3,150	3,943	-3,598	-4,853	-2,344	0,84**

...Continua...

QUADRO 5 Cont.

	0,15 m						
T1	3,082	2,909	3,254	-2,146	-2,666	-1,626	0,91**
T2	3,085	2,869	3,301	-1,786	-2,355	-1,217	0,86**
T3	2,971	2,825	3,118	-2,348	-2,807	-1,890	0,93**
T4	2,833	2,643	3,023	-1,619	-2,192	-1,045	0,81**
T5	3,034	2,840	3,227	-2,259	-2,866	-1,652	0,88**
T6	2,985	2,762	3,207	-1,523	-2,037	-1,010	0,82**

T1: 0% de palhiço sem escarificação, T2: 0% de palhiço com escarificação, T3: 50% de palhiço sem escarificação, T4: 50% de palhiço com escarificação, T5: 100% de palhiço sem escarificação, T6: 100% de palhiço com escarificação. Li e Ls: limite inferior e superior do intervalo de confiança 95 %, respectivamente; ** significativo pelo teste “F” a 1 %.

O tratamento T4 apresentou os menores valores de coeficientes na profundidade de 0,05 m para o coeficiente angular (b) e para a profundidade de 0,15 m somente para o coeficiente linear (a), portanto menor amplitude da CSC, conforme Pacheco e Cantalice (2011).

O teste de homogeneidade de modelos lineares proposto por Snedecor e Cochran (1989) foi utilizado para comparar as alterações na estrutura do solo causadas pelos diferentes níveis de palhiço remanescente no solo e uso da escarificação em plantio direto de cana-de-açúcar, nos modelos de CSC (Quadro 6).

QUADRO 6. Teste de significância de acordo com Snedecor e Cochran (1989) entre os modelos de capacidade de suporte de carga [$\sigma_p = 10^{(a+bt)}$] de um Latossolo Vermelho distroférico, nas profundidades de 0,05 m e 0,15 m, submetido a diferentes níveis de palhiço e escarificação em plantio direto de cana-de-açúcar.

Tratamentos	F	F	
		Coeficiente angular, b	Coeficiente linear, a
0,05 m			
T1 vs T2	H	ns	ns
T1 vs T3	H	ns	ns
T1 vs T4	NH	**	**
T1 vs T5	H	ns	ns
T1 vs T6	NH	**	**
T2 vs T3	H	ns	ns
T2 vs T4	NH	**	**
T2 vs T5	H	ns	ns
T2 vs T6	NH	**	**
T3 vs T4	H	ns	ns
T3 vs T5	H	ns	ns
T3 vs T6	H	ns	ns
T4 vs T5	NH	**	**

...Continua...

T4 vs T6	H	ns	ns
T5 vs T6	NH	**	**
0,15 m			
T1 vs T2	H	ns	ns
T1 vs T3	NH	**	**
T1 vs T4	H	ns	ns
T1 vs T5	H	ns	ns
T1 vs T6	NH	**	**
T2 vs T3	NH	**	**
T2 vs T4	H	ns	ns
T2 vs T5	H	ns	ns
T2 vs T6	NH	**	**
T3 vs T4	NH	**	**
T3 vs T5	H	ns	ns
T3 vs T6	H	ns	ns
T4 vs T5	H	ns	ns
T4 vs T6	NH	**	**
T5 vs T6	H	ns	ns

T1: 0% de palhiço sem escarificação, T2: 0% de palhiço com escarificação, T3: 50% de palhiço sem escarificação, T4: 50% de palhiço com escarificação, T5: 100% de palhiço sem escarificação, T6: 100% de palhiço com escarificação. 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; ** significativo a 1 %.

Na profundidade de 0,05 m os tratamentos T1, T2, T3 e T5 foram semelhantes, evidenciando o efeito da ausência de palhiço no tratamento com 0%, e da escarificação nos tratamentos com 50% e 100% de palhiço. No teste de homogeneidade e acordo como proposto por Snedecor e Cochran (1989). Para a profundidade de 0,15 m os tratamentos T3, T4, T6 foram homogêneos (Quadro 6).

As comparações entre os modelos de CSC que não se diferenciaram, portanto foram homogêneas, foram ajustadas uma nova equação a cada conjunto de dados, considerando todos os valores de CSC e θ (Figura 1 e 2). Foram formados os seguintes agrupamentos para a profundidade de 0,05 m em plantio direto: 1º: T1=T2=T3=T5; 2º: T3=T4=T6 (Figura 1).

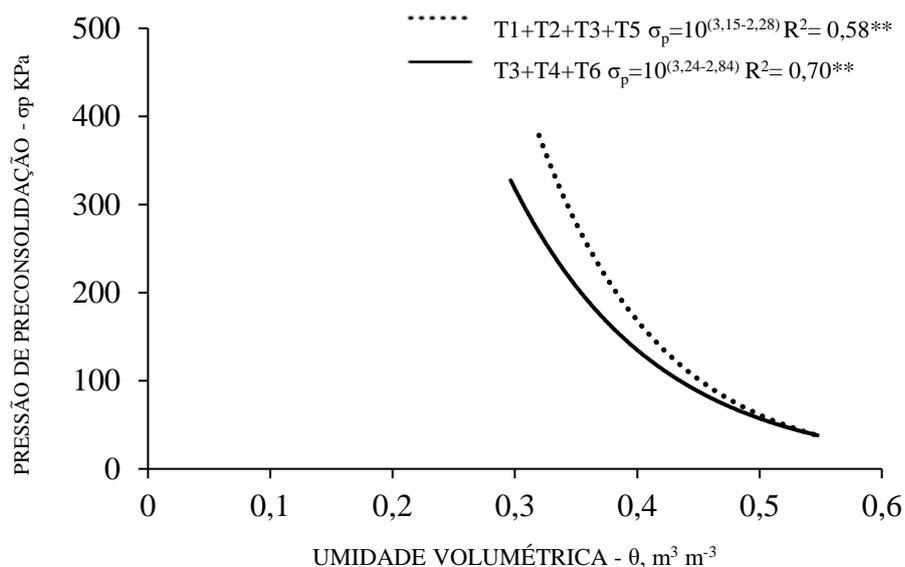


FIGURA 1. Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico, submetido a plantio direto, na profundidade de 0,05 m submetido a diferentes níveis de palhço e escarificação em plantio direto de cana-de-açúcar. T1: 0% de palhço sem escarificação, T2: 0% de palhço com escarificação, T3: 50% de palhço sem escarificação, T4: 50% de palhço com escarificação, T5: 100% de palhço sem escarificação, T6: 100% de palhço com escarificação.

Em todos os modelos de CSC da cultura estudada, verificou-se que a CSC variou inversamente com a θ , em ambas profundidades avaliadas. Então quanto menor a umidade, mais resistente será a matriz do solo, garantindo maior resistência às deformações provocadas por pressões externas, suportando assim maiores cargas (HILLEL, 1980). Portanto com a diminuição da umidade no solo, há um aumento na CSC em todos tratamentos, conforme os resultados de diversos autores (ARAUJO JUNIOR et al., 2011; PACHECO; CANTALICE 2011; PEREIRA et al., 2015; PRADO 2015). Do ponto de vista mecânico, solos com menores umidades podem suportar operações mecanizas com menores riscos de compactação, se comparado as consequências de manejo em solos saturados, contudo não é benéfico para o desenvolvimento da cultura.

A não obtenção de modelos de CSC individuais deve-se ao fato da constante alteração da estrutura do solo ocasionadas pelas operações de cultivo, que promovem a inversão das camadas e deposições diferenciais de partículas influenciando a CSC (GONTIJO et al., 2007).

O agrupamento definido por T3=T4=T6 apresentaram menor CSC ao longo de todo o intervalo de umidade. Os tratamentos T1=T2=T3=T5 indicaram maiores valores de CSC, variando de 33,64 a 383,07 KPa (Figura 1) em toda a faixa de umidade avaliada.

De acordo com Souza et al. (2012) a CSC pode ser elevada quando o solo apresenta um grau de compactação elevado, ou a falta de revolvimento do solo pode refletir na maior resistência à compressão, promovendo uma influência negativa no desenvolvimento vegetal.

Assim pode se afirmar que na camada mais superficial o nível ideal de palhicho no solo foi de 50%, o tratamento com 100% somente foi semelhante com o uso da escarificação, para promover os melhores valores de CSC. Portanto para plantio direto de cana-de-açúcar a retirada total de palhicho e a ausência da escarificação podem agravar problemas com a compactação, e em consequência diminuição na produtividade da cultura.

Na profundidade de 0,15 m em plantio direto, podem ser definidos 2 agrupamentos: 1º: T1=T2=T4=T5; 2º: T3=T5=T6 (Figura 2).

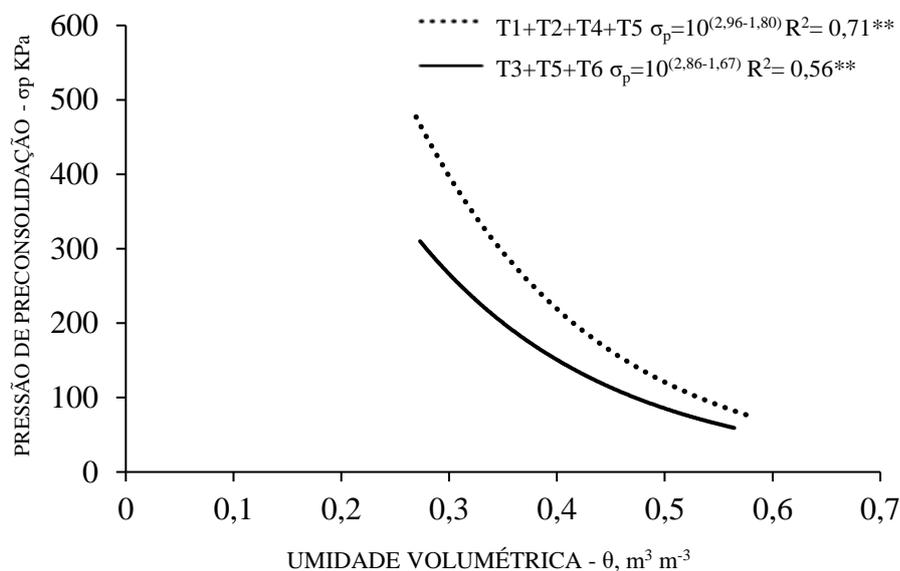


FIGURA 2. Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico, submetido a plantio direto, na profundidade de 0,15 m submetido a diferentes níveis de palhicho e escarificação das soqueiras da cana-de-açúcar. T1: 0% de palhicho sem escarificação, T2: 0% de palhicho com escarificação, T3: 50% de palhicho sem escarificação, T4: 50% de palhicho com escarificação, T5: 100% de palhicho sem escarificação, T6: 100% de palhicho com escarificação.

Os tratamentos apresentaram um aumento na CSC, em que os maiores valores foram observados no agrupamento com T1 + T2 + T4+ T5 que chegou próximo de 500 KPa, semelhante ao resultado de Prado (2015) trabalhando com renovação de canavial com plantas de cobertura após um ciclo de plantio de cana-de-açúcar, onde observou um aumento da CSC nas maiores profundidades.

O segundo agrupamento composto T3=T5=T6 apresentaram menores valores de CSC que os demais modelos (Figura 2), evidenciando o efeito positivo do palhiço remanescente nos sistemas avaliados para minimizar a influência dos manejos mecanizados realizados na área antes e após o plantio da cana-de-açúcar, diminuindo assim a compactação do solo nesta profundidade.

No Quadro 7 é apresentado o teste de homogeneidade de modelos lineares proposto por Snedecor e Cochran (1989) comparando as alterações na estrutura do solo causadas pelos diferentes níveis de palhiço remanescente no solo e uso da escarificação em plantio convencional de cana-de-açúcar, nos modelos de CSC entre os tratamentos e duas profundidades.

QUADRO 7. Teste de significância de acordo com Snedecor e Cochran (1989) entre os modelos de capacidade de suporte de carga [$\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$] de um Latossolo Vermelho distroférico, nas profundidades de 0,05 m e 0,15 m, submetido a diferentes níveis de palhiço e escarificação em preparo convencional de cana-de-açúcar.

Tratamentos	F	F	
		Coefficiente angular b	Coefficiente linear, a
0,05 m			
T1 vs T2	H	ns	ns
T1 vs T3	H	ns	ns
T1 vs T4	H	ns	ns
T1 vs T5	NH	**	**
T1 vs T6	H	ns	ns
T2 vs T3	H	ns	ns
T2 vs T4	H	ns	ns
T2 vs T5	NH	**	**
T2 vs T6	H	ns	ns
T3 vs T4	H	ns	ns
T3 vs T5	NH	**	**
T3 vs T6	H	ns	ns
T4 vs T5	NH	**	**
T4 vs T6	H	ns	ns
T5 vs T6	NH	**	**
0,15 m			
T1 vs T2	H	ns	ns
T1 vs T3	H	ns	ns
T1 vs T4	NH	**	**
T1 vs T5	H	ns	ns
T1 vs T6	H	ns	ns
T2 vs T3	H	ns	ns
T2 vs T4	NH	**	**
T2 vs T5	H	ns	ns
T2 vs T6	H	ns	ns

...Continua...

T3 vs T4	H	ns	ns
T3 vs T5	H	ns	ns
T3 vs T6	H	ns	ns
T4 vs T5	NH	**	**
T4 vs T6	NH	**	**
T5 vs T6	H	ns	ns

T1: 0% de palhicho sem escarificação, T2: 0% de palhicho com escarificação, T3: 50% de palhicho sem escarificação, T4: 50% de palhicho com escarificação, T5: 100% de palhicho sem escarificação, T6: 100% de palhicho com escarificação. 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 5 e 1 %, respectivamente.

Na profundidade de 0,05 m todos tratamentos foram homogêneos exceto para o T5 correspondente a 100% de palhicho sem escarificação, que não foi semelhante a nenhum tratamento. Já na profundidade de 0,15 m os tratamentos T3 e T4 com 50% de palhicho sem e com escarificação, não foi homogêneo comparado com os demais (Quadro 7). Os tratamentos que não se diferenciaram, foram ajustadas uma única equação a todos os valores de CSC e θ , obtendo-se assim um único modelo de CSC.

De acordo com o teste de Snedecor e Cochran (1989) os tratamentos foram agrupados da seguinte forma: 1º:T1=T2=T3=T4=T6; 2º: T5 (Figura 5).

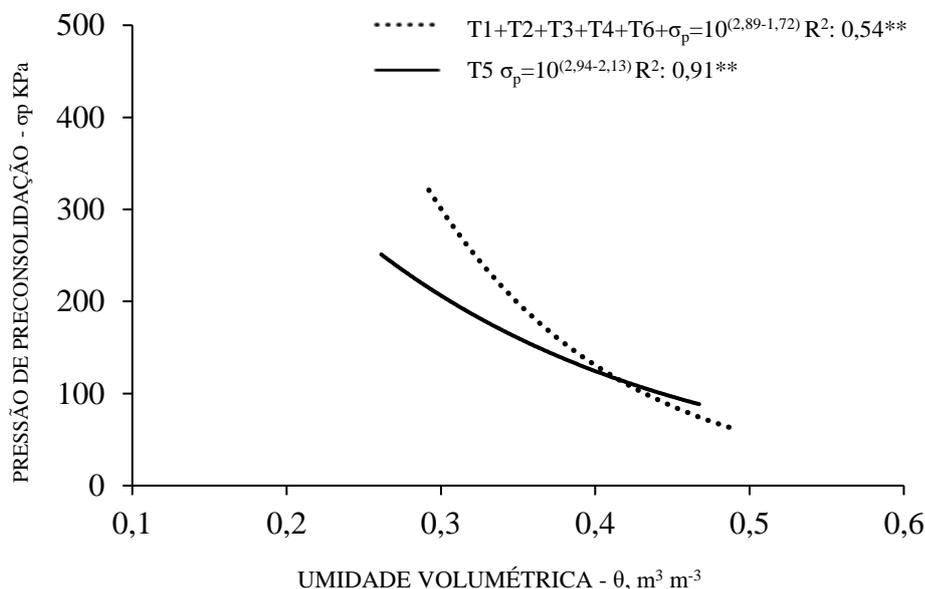


FIGURA 3. Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico, submetido a preparo convencional, na profundidade de 0,05 m, submetido a diferentes níveis de palhicho e escarificação das soqueiras da cana-de-açúcar. T1: 0% de palhicho sem escarificação, T2: 0% de palhicho com escarificação, T3: 50% de palhicho sem escarificação, T4: 50% de palhicho com escarificação, T5: 100% de palhicho sem escarificação, T6: 100% de palhicho com escarificação.

A CSC variou significativamente e inversamente com a θ nas duas profundidades do sistema convencional (Figura 3 e 4) assim como no plantio direto, pois quanto menores os teores de água, mais resistente fica a matriz do solo, conferindo maior resistência às pressões externas (HILLEL, 1980). Silva et al. (2006) também relataram que a pressão de preconsoidação aumenta com a redução da umidade, aumentando a capacidade de suporte de carga do solo. Contudo do ponto de vista agrônomo, valores altos de CSC indicam solos mais compactados, influenciando de forma negativa ao desenvolvimento vegetal.

A profundidade de 0,05 m a CSC não ultrapassou 400 KPa e não houve grande efeito do palhicho nestes tratamentos, pois o agrupamento T1=T2=T3=T4=T6 foram homogêneos. Pacheco e Cantalice (2011) confirma tal fato que a compactação do solo em áreas de produção de cana-de-açúcar, pode não estar relacionada apenas ao plantio e colheita, mas também pelas operações de tratos culturais.

Apenas o T5 com 100% de palhicho sem escarificação apresentou menor amplitude de CSC (Figura 3). Quando houve a ausência de escarificação a 100% de palhicho há um valor menor de CSC, isso sugere que a escarificação pode estar sendo um agente de compactação adicional. Esta compactação adicional em áreas com escarificação da soqueira pode estar ocorrendo por executar tal prática de solo em condições de umidade inadequada. Outra possível e mais provável causa deste aumento da compactação em áreas escarificadas e sem recolhimento do palhicho residual é o aumento da umidade do solo promovido pela palha associado a redução da densidade e aumento da macroporosidade do solo que resultam e menor capacidade de suporte de carga na colheita seguinte, resultando em maior compactação do solo promovido pela colhedora e conjunto de trator + transbordo que trafegam sobre as entrelinhas escarificadas.

Para a profundidade de 0,15 m foram feitos 2 agrupamentos entre os tratamentos em preparo convencional: 1º: T1=T2=T3=T5=T6; 2º: T3=T4 (Figura 4). Diferindo dos resultados de Garbiate (2013) que trabalharam com diferentes tipos de escarificadores e seu efeito na CSC em cultivo de cana-de-açúcar com plantio convencional e não houve agrupamento entre os manejos do solo.

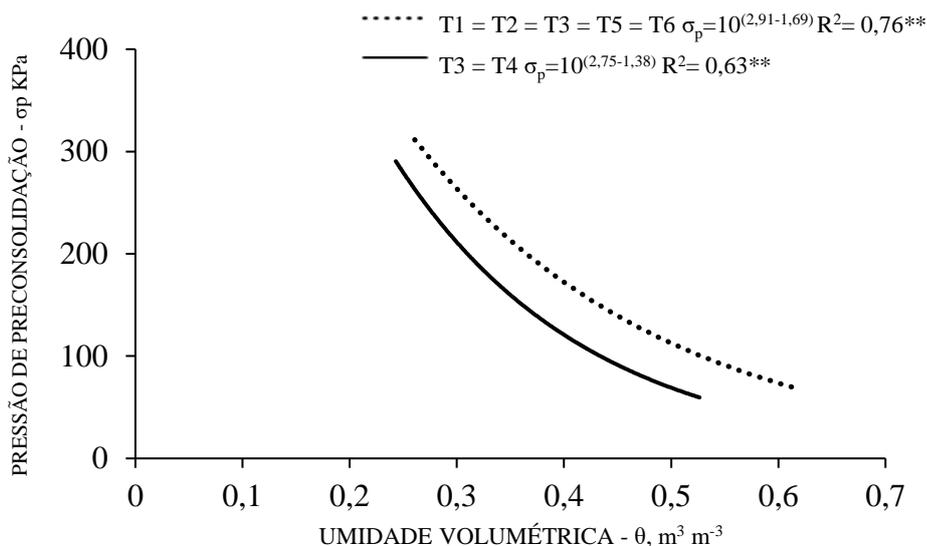


FIGURA 4. Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico, submetido a preparo convencional, na profundidade de 0,15 m, submetido a diferentes níveis de palhiço e escarificação das soqueiras da cana-de-açúcar. T1: 0% de palhiço sem escarificação, T2: 0% de palhiço com escarificação, T3: 50% de palhiço sem escarificação, T4: 50% de palhiço com escarificação, T5: 100% de palhiço sem escarificação, T6: 100% de palhiço com escarificação.

Os tratamentos T3 e T4 correspondentes a 50% de palhiço sem e com escarificação respectivamente, apresentaram os menores valores de CSC comparado com os demais, demonstrando serem os manejos mais eficientes na redução dos efeitos da compactação do solo nesta profundidade (Figura 4). O agrupamento com T1=T2=T3=T5=T6 apresentaram maiores valores de CSC, portanto solos com maiores níveis de compactação, assim esta condição pode levar a restrições ao desenvolvimento radicular das culturas.

Com relação a umidade volumétrica na profundidade de 0,15 m em preparo convencional o 1º agrupamento com maiores níveis de compactação obteve sua menor amplitude de CSC na umidade de $0,61 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ com pressão de 65,73 KPa, a mesma verificada no agrupamento T3=T4, contudo estes tratamentos nesta mesma pressão a umidade necessária foi menor, em que a menor umidade foi observada em $0,52 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Portanto em maiores profundidades em preparo convencional o tratamento com 50% de palhiço independente do uso da escarificação, foi mais eficiente para diminuir os efeitos da compactação.

Assim de acordo com as operações de mecanização em sistemas de cana-de-açúcar podem resultar na compactação do solo, com efeitos prejudiciais à qualidade física

(SOUZA et al., 2012). O conhecimento prévio destes efeitos pode minimizar os problemas futuros na lavoura, uma vez que a mecanização gera importante contribuição na produtividade e rendimento das colheitas.

Os valores de toneladas de colmo por hectare (TCH) apresentaram significância apenas para os sistemas de plantio, sendo que o plantio direto apresentou maior produtividade comparado ao sistema convencional (Quadro 8).

QUADRO 8. Produtividade de cana, em toneladas de colmo por hectare (TCH), açúcar total recuperável (ATR), toneladas de açúcar por hectare (TAH) e colmos por metro em relação ao cultivo de cana-de-açúcar submetido a diferentes níveis de palhicho e escarificação em plantio direto e preparo convencional.

Tratamentos	TCH	Colmo/m	ATR	TAH
	Mg ha ⁻¹	nº	kg/Mg ⁻¹ colmo	Mg ha ⁻¹
Manejo do solo				
Direto	74,177 a	12,552 a	159,744 b	11,825 a
Convencional	68,626 b	11,918 a	162,811 a	11,183 b
CV (%)	1,66	7,24	0,72	0,87
Níveis de palhicho				
0%	69,867 a	12,452 a	163,655 a	11,432 a
50%	68,998 a	11,902 a	160,919 ab	11,108 a
100%	75,250 a	12,352 a	159,258 b	11,971 a
CV (%)	9,64	6,83	2,52	10,70
Escarificação				
Sem	71,909 a	12,044 a	161,390 a	11,597 a
Com	70,834 a	12,426 a	161,165 a	11,411 a
CV (%)	13,04	7,51	1,44	13,42

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação.

Resultados semelhantes foram observados por Duarte Júnior e Coelho (2008), tais autores avaliaram os parâmetros de produtividade da cana-de-açúcar em plantio direto sob diferentes plantas de cobertura, e em plantio convencional, observaram que para a produção de colmos todos os sistemas de plantio direto foram superiores que o plantio sem palhada remanescente. Tavares et al. (2010) e Carvalho et al. (2011) que também avaliaram o plantio direto e preparo convencional de cana-de-açúcar, contudo não encontraram efeito significativo nos valores de TCH, indicando ser possível reduzir custos de produção, em função da retirada de várias operações de preparo do solo no sistema de renovação dos canaviais em plantio direto, sem tem prejuízo a produção de colmos.

Com relação ao número de colmos não houve efeito dos sistemas de plantio, níveis de palhada e uso da escarificação (Quadro 8), não influenciaram ($p>0,05$) nos resultados obtidos, corroborando com Paulino et al. (2004) e Moraes et al. (2016).

Dentre os atributos analisados a concentração de açúcares na cana representada pela variável Açúcar Total Redutor (ATR) é representado por todos açúcares presentes na cana-de-açúcar, tem grande importância para a indústria e para os produtores, visto que a partir desta variável as unidades industriais avaliam o preço pago aos produtores (SILVA et al., 2014). Neste experimento os valores de ATR sofreram influência significativa ($p<0,05$), sendo no preparo convencional observado os maiores valores com média de $162,811 \text{ kg MG}^{-1}$ de colmos, e quanto aos níveis de palhada o tratamento com 0% de palhada foi superior ao 100%, porém semelhante à 50% de palhada (Quadro 8).

Os tratamentos com 100% de palhicho podem ter influenciado de forma negativa o ATR, este resultado pode ser explicado pela maior retenção de umidade nos tratamentos sem a retirada da palhada, a maior umidade do solo pode resultar na redução dos teores de açúcar (MARCHIORI, 2004). Assim, a maior umidade provavelmente levou a um maior crescimento da planta como observado pelos valores de TCH (Quadro 8), o que fez com que a cana-de-açúcar continuasse seu crescimento, transformando a sacarose em glicose e frutose, os quais são quebrados em outras substâncias para o crescimento da cultura. Assim sob a condição de 100% de palhicho com maior umidade no solo a planta utilizou parte desta sacarose para seu metabolismo, enquanto que em plantio e preparo convencional e os tratamentos sem palhicho remanescente a condição de menor umidade do solo, reduziu o crescimento e com isso a planta acumulou mais sacarose em relação aos tratamentos com 100% de palhicho.

Para a interação do uso da escarificação não foi significativa para os valores de ATR (Quadro 8), assim como Silva et al. (2008) e Carvalho et al. (2011) que não observaram relação positiva para esta variável em cultivo de cana-de-açúcar. Já para os valores de tonelada de açúcar por hectare (TAH) somente foram significativos para o manejo de solo, em que o plantio direto foi superior (Quadro 8).

O uso da escarificação não influenciou qualquer variável de produção da cana-de-açúcar em ambos sistemas de cultivo, semelhante aos resultados de Prado et al. (2014) que ao avaliarem o efeito da escarificação de um Latossolo Vermelho em pós colheita de cana-de-açúcar não encontraram efeito significativo ($p>0,05$) para os componentes de produção.

CONCLUSÕES

A manutenção da palhiço total ou parcial, independente do manejo do solo e das profundidades avaliadas favorecem menores valores de CSC, portanto melhoram a qualidade física do solo.

O uso da escarificação das soqueiras em preparo convencional promoveu maiores valores de CSC, indicando uma possível compactação adicional no solo dessas áreas,

A manutenção de umidade em plantio direto beneficiou a produção de colmos, diminuiu a concentração de açúcares e promoveu aumento da produção de açúcares, enquanto que a remoção total do palhiço promove efeito positivo na concentração de açúcar (ATR).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. S.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ARANTES, H. P. **Atributos físico-hídricos do solo após colheita mecanizada de cana-de-açúcar**. 45 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS, 2015.

ARAUJO–JUNIOR, C. F.; DIAS JUNIOR, M. S.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALCÂNTARA, E. N. Capacidade de suporte de carga e umidade crítica de um Latossolo induzida por diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 115-131, 2011.

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. Soil structure: evaluation and agricultural significance. In: BAVAR, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. **Soil physics**. 4.ed. New York : J. Wiley, p.178-223. 1972.

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**, 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**, v. 36, n. 1, p. 79-87, 2012.

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

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

CARVALHO, L.A.; SILVA-JUNIOR, C.A.; NUNES, W. A. G. A.; MEURER, I.; SOUZA-JÚNIOR, W. S. Produtividade e viabilidade econômica da cana-de-açúcar em diferentes sistemas de preparo do solo no centro-oeste do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 34, n.1, p. 199-211, 2011.

DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CONTE, O.; MAZURANA, M. Capacidade de suporte e compressibilidade de um Argissolo, influenciadas pelo tráfego e por plantas de cobertura de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 2629-37, 2008.

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

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

DONAGEMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B. DE; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. **Manual de métodos de análise de solos**. 2ª ed. Revista. Rio de Janeiro, Embrapa solos, 212p. 2011.

DUARTE JÚNIOR, J. B.; COELHO, F. C. A cana-de-açúcar em sistema de plantio direto comparado ao sistema convencional com e sem adubação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 6, p. 576–583, 2008.

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

GARBIATE, M. V. **Qualidade estrutural de um Latossolo Vermelho distroférico submetido à escarificação pós colheita mecanizada de cana-de-açúcar**. 2013. 67 f. (Mestrado em Agronomia, Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

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*, v. 57, n. 4, p. 335-341, 2014.

GONTIJO, I. DIAS JUNIOR, M. S. OLIVEIRA, M. S. ARAUJO JUNIOR, C. F. PIRES, B. S. OLIVEIRA, C. A. Planejamento amostral da pressão de preconsolidação de um latossolo vermelho distroférico. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1245-1254, 2007.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physical**. New York, Academic Press. 413 p. 1980.

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

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

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; FALLOW, D. Susceptibility to compaction, load support capacity and soil compressibility of Hapludox. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, n. 1, p. 17-24, 2004.

KELLER, T.; TRAUTNER, A.; ARVIDSSON, J. Stress distribution and soil displacement under a rubber-tracked and a wheeled tractor during ploughing, both on-land and within furrows. **Soil & Tillage Research**, v. 68, n. 1, p. 39-47, 2002.

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

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

MARCHIORI, L. F. S. **Influência da época de plantio e corte na produtividade da cana-de-açúcar**. 2004. 275 f. Doutorado em Agronomia (Tese de Doutorado) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP.

MARSILI, A.; SERVADIO, P.; PAGLIAI, M.; VIGNOZZI, N. Changes of some physical properties of a clay soil following passage of rubber-and metal-tracked tractors. **Changes of some physical properties of a clay soil following passage of rubber-and metal-tracked tractors**, v. 49, n. 2, p. 185-199, 1998.

MORAES, E. R.; DOMINGUES, L. A. S.; MEDEIROS, M. H.; PEIXOTO, J. V. M.; LANA, R. M. Q. Produtividade e características agronômicas da cana-de-açúcar em diferentes sistemas de preparo do solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 3, n. 1, p. 27-32, 2016.

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**, v.35, n. 2, p.403-415, 2011.

PAULINO, A.F.; MEDINA, C.C.; AZEVEDO, M.C.B.; SILVEIRA, K.R.P.; TREVISAN, A.A.; MURATA, I.M. Escarificação de um Latossolo Vermelho na pós-colheita de soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 5, p. 911-917, 2004.

PEREIRA, A. H. F.; VITORINO, A. C. T.; PRADO, E. A. F.; BERGAMIN, A. C.; MAUAD, M.; ARANTES, H. O. Least Limiting Water Range and Load Bearing Capacity of Soil under Types of Tractor-Trailers for Mechanical Harvesting of Green Sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1603-1610, 2015.

PRADO, E. A. F. **Qualidade Física Promovida Por Manejos De Solo E Espécies Na Renovação Do Canavial**. 2015. 89 f. (Doutorado em Agronomia, Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

PRADO, E. A. F.; VITORINO, A. C. T.; OLIVEIRA, W. H.; ESPINDULA, D. L. P.; ARANTES, H. P. Índice de dispersão de agregados de um Latossolo Vermelho distroférico cultivado com cana sob aplicação de vinhaça. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 2347-2356, 2014.

REICHERT, J.M. et al. Mecânica do solo. In: REICHERT, J.M.et al. (Org.). **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010, v.1, p.29-102.

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**, v. 41, n. 9, p. 1536-1542, 2011.

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

SAFFIH-HDADI, K.; DÉFOSSEZ, P.; RICHARD, G.; CUI, Y.-J.; TANG, A.-M.; CHAPLAIN, V. A method for predicting soil susceptibility to the compaction of surface layers as a function of water content and bulk density. **Soil & Tillage Research**, v.105, n. 1, p.96-103, 2009.

SILVA, A. R. DIAS JUNIOR, M. S. GUIMARÃES, P. T. G. ARAÚJO JUNIOR, C. F. Modelagem da capacidade de suporte de carga e quantificação dos efeitos das operações mecanizadas em um latossolo amarelo cultivado com cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 30, n. 2, p. 207-216, 2006.

SILVA, A. J. N. **Alterações físicas e químicas de um argissolo amarelo coeso sob diferentes sistemas de manejo com cana-de-açúcar**. 2003. 135 f. (Doutorado em ciência do solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-MS.

SILVA, M. DE A.; ARANTES, M. T.; RHEIN, A. F. DE L.; GAVA, G. J. C.; KOLLN, O. T. Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 3, p. 241-249, 2014.

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

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

TAVARES, O. C. H.; LIMA, E.; ZONTA, E. Crescimento e produtividade da cana planta cultivada em diferentes sistemas de preparo do solo e de colheita. **Acta Scientiarum**. v. 32, n. 1, p. 61-68, 2010.

CONCLUSÕES GERAIS

Os sistemas de plantio utilizados com níveis de palhico e o manejo do solo com escarificação influenciaram no aumento do IHO em ambas profundidades. Os tratamentos com escarificação apresentaram aumento de água disponível no solo.

Os níveis de palhico remanescentes no solo influenciaram de forma positiva na CSC, em plantio direto os tratamentos com 50% e 100% proporcionaram menores valores de CSC, indicando, portanto, melhores condições físicas para o desenvolvimento vegetal.

Para o sistema convencional com maior revolvimento e uso de mecanização, na camada mais superficial somente 100% de palhico foi eficiente para minimizar os impactos da compactação causada durante os manejos antes do plantio da cultura.

Os sistemas de plantio influenciaram nas variáveis de TCH, ATR, TAH. Os níveis de palhico apenas influenciaram os teores de ATR, já a escarificação não indicou nenhuma influência nos parâmetros produtivos da cana-de-açúcar.