

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**QUALIDADE ESTRUTURAL DE LATOSSOLO
VERMELHO DISTROFÉRICO SUBMETIDO À
ESCARIFICAÇÃO EM ÁREA DE COLHEITA
MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR.**

MARCOS VINICIOS GARBIATE

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2013**

**QUALIDADE ESTRUTURAL DE LATOSSOLO VERMELHO
DISTROFÉRICO SUBMETIDO À ESCARIFICAÇÃO EM ÁREA
DE COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR.**

MARCOS VINÍCIOS GARBIATE
Engenheiro Agrônomo

Orientador: PROF. DR. ANTONIO CARLOS TADEU VITORINO

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

Dourados
Mato Grosso do Sul
2013

631.4 Garbiate, Marcos Vinicios.

G213 Qualidade estrutural de Latossolo Vermelho Distroférico submetido a escarificação em área de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. / Marcos Vincios Garbiate. – Dourados, MS : UFGD, 2013.

76f.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados.

1. Solo - Uso. 2. Latossolo Vermelho. 3. Plantação de cana-de-açúcar. I. Título.

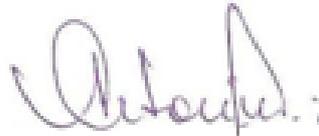
**QUALIDADE ESTRUTURAL DE LATOSSOLO VERMELHO
DISTROFÉRICO SUBMETIDO À ESCARIFICAÇÃO EM ÁREA DE
COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR.**

por

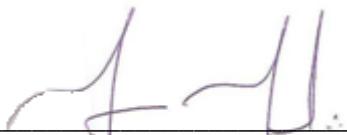
Marcos Vinicios Garbiate

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

Aprovada em: 22 /03/2013



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



Prof. Dr. Munir Mauad
Co-Orientador – UFGD/FCA



Prof. Dr. Anderson Cristian Bergamin
UFAM/IEAA

“A mente que se abre para uma nova ideia, jamais voltará ao seu tamanho original.”
(Albert Einstein)

DEDICO.

Aos meus pais, Luiz Carlos Garbiate e Vera Lucia de Fátima Lanza Garbiate, aos meus irmãos Carlos Eduardo Garbiate e Ana Paula Garbiate que embora distantes sempre me apoiaram na busca de meus objetivos. A minha namorada Hellen Cristina Moraes de Avelino pelo companheirismo e incentivo durante a realização deste trabalho. Muito obrigado a todos. Amo muito vocês.

OFEREÇO.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFGD, em especial ao professor Antonio Carlos Tadeu Vitorino pelos ensinamentos e companheirismo durante a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e pela oportunidade de mais esta realização profissional.

Ao professor Antonio Carlos Tadeu Vitorino, pela transmissão de conhecimentos, dedicação de seu tempo, orientação e principalmente por sua amizade.

Aos mais que amigos Antonio Luiz Viegas Neto, Diego Menani Heid, Leandro Henrique de Sousa Mota, Rafael Heinz e João Alfredo pelos momentos de aprendizado e descontração e acima de tudo pela amizade e companheirismo durante toda a caminhada.

Aos amigos do Laboratório de Física do Solo, pelos momentos de trabalho e amizade, Daniel Espindola, Welliton Henrique, Laira Rodrigues, Leandro Paim e Eber Prado.

Ao grande amigo Anderson Bergamin cujo apoio foi fundamental na execução deste trabalho, muito obrigado.

A todos os professores do programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFGD pelos ensinamentos transmitidos.

A Bunge-Monte Verde, em especial ao amigo Antonio Higino por toda dedicação, empenho e apoio na realização deste trabalho.

Ao professor Rodrigo Kelson pelo apoio com os veículos.

Ao laboratorista João Augusto pela amizade e auxílio durante todo trabalho.

A toda minha família.

A Capes pela bolsa concedida.

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

Muito Obrigado!!!

SUMÁRIO

| | PÁGINA |
|--|--------|
| RESUMO GERAL | vii |
| 1 INTRODUÇÃO GERAL | 1 |
| 2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS. | 4 |
| 3 ARTIGO 1 | 6 |
| ESCARIFICAÇÃO EM PÓS COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR E SEUS EFEITOS EM ALGUNS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO. | |
| 3.1 Resumo | 6 |
| 3.2 Abstract | 7 |
| 3.3 Introdução | 8 |
| 3.4 Material e métodos. | 10 |
| 3.5 Resultados e discussões | 14 |
| 3.6 Conclusões. | 22 |
| 3.7 Referências bibliográficas | 23 |
| 4 ARTIGO 2 | 26 |
| INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO DE LATOSSOLO ESCARIFICADO PÓS COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR. | |
| 4.1 Resumo | 26 |
| 4.2 Abstract | 27 |
| 4.2 Introdução | 28 |
| 4.3 Material e métodos. | 30 |
| 4.4 Resultados e discussões | 34 |
| 4.5 Conclusões. | 43 |
| 4.6 Referências bibliográficas | 44 |
| 5 ARTIGO 3 | 47 |
| CAPACIDADE DE SUPORTE DE CARGA DE LATOSSOLO ESCARIFICADO PÓS COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR. | |
| 5.1 Resumo | 47 |
| 5.2 Abstract | 48 |
| 5.2 Introdução | 49 |

| | |
|--|----|
| 5.3 Material e métodos. | 51 |
| 5.4 Resultados e discussões | 55 |
| 5.5 Conclusões. | 63 |
| 5.6 Referências bibliográficas | 64 |
| 6.0 CONCLUSÕES GERAIS | 67 |

QUALIDADE ESTRUTURAL DE LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO SUBMETIDO À ESCARIFICAÇÃO EM ÁREA DE COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR.

RESUMO

A colheita mecanizada tem sido cada vez mais utilizada nas unidades produtoras de cana-de-açúcar. No entanto, a utilização deste sistema de colheita tem proporcionado redução na qualidade estrutural dos solos devido à compactação ocasionada pelo intenso tráfego de máquinas. Para contornar este problema, a escarificação de soqueiras de cana-de-açúcar tem sido frequentemente utilizada para minimizar os efeitos da compactação. Contudo, pouco se sabe sobre o real benefício desta prática da qualidade física do solo e seus benefícios para a cultura. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar alguns atributos físicos do solo, o intervalo hídrico ótimo e a capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho distroférico submetido a escarificação. O estudo foi realizado em área comercial da usina Monte Verde pertencente ao grupo Bunge, no município de Ponta Porã, MS, no ano agrícola 2011/2012. O delineamento experimental foi de blocos casualizados com cinco repetições sendo os tratamentos constituídos por cinco manejos de escarificação de soqueiras de cana-de-açúcar: T1: escarificador haste simples com escarificação a 0,15 m de profundidade; T2: escarificador haste simples com escarificação a 0,30 m de profundidade; T3: escarificador dupla ação com escarificação a 0,15 m de profundidade; T4: escarificador dupla ação com escarificação a 0,30 m de profundidade; T5: testemunha sem escarificação. A escarificação nas entrelinhas de soqueira de cana-de-açúcar não alterou a estabilidade de agregados, porosidade e densidade do solo. Já a resistência do solo a penetração foi reduzida com o escarificador dupla ação a 0,30 m de profundidade. A escarificação do solo foi eficiente na melhoria da qualidade física do solo por aumentar a disponibilidade hídrica na camada de 0-0,15 m, fato não observado para a camada de 0,15-0,30 m. Resultados semelhantes foram obtidos em relação à capacidade de suporte de carga do solo, uma vez que, a escarificação promoveu menor pressão de preconsoidação do solo na camada de 0-0,15 m de profundidade, sendo o escarificador dupla ação operando a 0,30 m o tratamento que promoveu os menores valores. Na camada de 0,15-0,30 m pouca influência dos tratamentos foi observada para a capacidade de suporte de carga do solo.

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

STRUCTURAL QUALITY OF OXISOL UNDER DIFFERENT MANAGEMENTS SCARIFICATION AFTER HARVEST MECHANIZED OF SUGAR CANE.

ABSTRACT

Mechanized harvesting of sugar cane has been increasingly used in the units producing cane sugar. However, the use of this new system has reduced crop quality because of the structural problem of soil compaction caused by heavy traffic machines. To circumvent this problem scarification of brass knuckles has often been used to minimize the effects of compaction on soil physical quality. However, despite routine activity areas producing cane sugar, little is known about the real benefit of scarification of brass knuckles in improving the physical quality of the soil and its benefits to the stumps. This study aimed to evaluate the changes in soil physical properties, in limiting water range and compressibility of an Oxisol cultivated with sugar cane and subjected to scarification with different depths of equipment and operation. The study was conducted in a commercial area of Monte Verde plant belonging to the group Bunge, in the city of Ponta Porã, MS, during the growing season 2011/2012. O experimental design was a randomized block with five replicates, and treatments were five managements scarification of brass knuckles: T1: Simple ripper shank to 0.15 m depth, T2: ripper shank simple to 0.30 m depth; T3: ripper dual action at 0.15 m depth; T4: double action chisel to 0, 30 m depth; T5: Control without scarification. Scarification canopy of ratoon cane sugar did not change the aggregate stability, porosity and bulk density. Regarding resistance to the grower double penetration action at 0.30 m depth was more effective in reducing the resistance to penetration. The soil scarification proved effective in improving the physical quality by increasing the availability of water in the layer 0-0.15 m layer, which was not observed for the layer 0.15-0.30 m which suffered little influence of the treatments. Similar results were obtained for the compressibility of the soil, once the scarification in lower load bearing capacity of the soil scarified areas in the layer 0 to 0.15 m depth, with the double acting working cultivator 0, 30 mo who promoted the lowest values. For the layer of 0.15-0.30 m little effect of the treatments was observed for the compressibility of the soil.

Keywords: limiting water range, load bearing capacity, compaction, soil physical quality.

INTRODUÇÃO GERAL

O setor sucroalcooleiro apresenta grande importância econômica e social, sendo o Brasil, o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, possuindo uma área cultivada superior a oito milhões de hectares com uma produção de 560 milhões de toneladas. O estado de Mato Grosso do Sul atualmente é o quinto maior produtor nacional com área total cultivada de 542,70 mil hectares. (CONAB, 2012).

A cultura da cana-de-açúcar nos últimos anos vem passando por um processo de mudança em relação ao seu sistema de colheita. O manejo de colheita com queima, comumente utilizado para eliminar o grande volume de matéria seca no dossel da planta está sendo substituído pelo manejo de cana crua, caracterizado pelo uso de máquinas para realizar a colheita, o que reduz a contaminação do ambiente e de centros urbanos e ainda traz maior eficiência e rendimento na operação (SPADOTO, 2008).

No entanto, uma das características do sistema de colheita mecanizada da cultura da cana-de-açúcar é a utilização de colhedoras e transbordos com massa total de 20–30 t, cujo tráfego é repetido durante os vários ciclos da cultura (BRAUNACK et al., 2006). Nesse sentido, Severiano et al. (2008) relatam que as operações de manejo que envolvem o tráfego de máquinas em conteúdos inadequados de água no solo em áreas canavieiras têm promovido a compactação do solo.

Observa-se em alguns trabalhos os efeitos nocivos da compactação sobre os atributos físicos dos solos em áreas cultivadas com cana-de-açúcar (SOUZA et al., 2005; TOMASINI et al., 2010; GARBIATE et al., 2011; CAVALIERI et al., 2011), mas poucos estudos têm avaliado práticas de manejo que possam evitar ou minimizar os efeitos da compactação ao longo do ciclo da cultura.

Para contornar esse problema, atualmente vem sendo empregada uma prática mecânica no solo num manejo pós-colheita de cana crua, com o objetivo de descompactação do solo e adubação química por meio da escarificação nas entrelinhas da cultura. A escarificação das soqueiras de cana-de-açúcar favorece o aumento da macroporosidade com consequente redução da microporosidade (CAMILLOTI et al., 2005). Avaliando a escarificação de soqueiras em um Latossolo Vermelho Paulino et al. (2004) também verificaram melhoria na qualidade física do solo escarificado com redução da densidade e aumento da sua macroporosidade até a profundidade de 0,15 m.

Apesar de relatos na literatura de melhorias nos atributos físicos do solo em áreas de cana-de-açúcar submetidas à escarificação, existe a necessidade de mais estudos em relação a essa prática, uma vez que se encontram diversos modelos de escarificadores no mercado recomendados para este manejo.

Dessa forma, a avaliação e monitoramento da qualidade física dos solos durante o período de cultivo da cultura da cana de açúcar, que é de pelo menos cinco anos, são estratégicos na definição de sistemas de manejo para diminuir a degradação estrutural e física dos solos (CAVALIERI et al., 2011). A avaliação da qualidade física em áreas cultivadas com cana-de-açúcar tem sido realizada por meio de atributos físicos como porosidade do solo (GARBIATE et al., 2011), estabilidade de agregados (SOUZA et al., 2005), densidade do solo (CARVALHO et al., 2011) e infiltração de água no solo (TOMASINI et al., 2010). No entanto, preconiza-se que a avaliação da qualidade física do solo deva integrar diferentes propriedades num reduzido número de parâmetros que expresse o ambiente físico a que as plantas são submetidas (SILVA et al., 1994; TORMENA et al., 1998).

Nesse sentido, o uso do intervalo hídrico ótimo (IHO) e da capacidade de suporte de carga para avaliação da qualidade física e estrutural do solo têm se apresentado como um bom indicador da qualidade física do solo. A curva de compressão do solo tem sido utilizada para mostrar alterações na estrutura do solo (LARSON et al., 1989; DIAS JUNIOR e PIERCE, 1996). Essa curva representa graficamente a relação entre o logaritmo da pressão aplicada e alguma característica relacionada com o arranjo das partículas do solo, sendo a densidade do solo o parâmetro mais frequente utilizado para esse fim (CASAGRANDE, 1936; DIAS JUNIOR e PIERCE, 1996; KONDO, 1998).

Por sua vez, o IHO permite identificar por meio da quantificação e da integração dos dados relativos à água disponível, aeração e resistência do solo à penetração, as restrições impostas pela degradação estrutural à qualidade física do solo para o crescimento das plantas (ARAUJO et al., 2004). Nesse cenário, o IHO significa grande avanço nos estudos de biofísica do solo, sendo o indicador de qualidade física e estrutural do solo que melhor se correlaciona com o crescimento das plantas (TORMENA et al., 2007).

Este trabalho encerra três artigos, todos realizados em Latossolo Vermelho distroférico de textura argilosa, analisando diferentes escarificadores e profundidades de operação. No primeiro é descrita a influência dos escarificadores sobre a densidade,

porosidade, estabilidade de agregados e resistência do solo à penetração. O segundo artigo envolve o efeito promovido pela escarificação do solo sobre o intervalo hídrico ótimo (IHO). O terceiro e último artigo avalia a capacidade de suporte de carga do solo e a produtividade de soqueira de cana-de-açúcar submetida à escarificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distroférico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.337-345, 2004.

BRAUNACK, M.V.; ARVIDSSON, J. & HÅKANSSON, I. Effect of harvest traffic position on soil conditions and sugarcane (*Saccharum officinarum*) response to environmental conditions in Queensland, Australia. **Soil Tillage Research**, v.89, p.103-121, 2006.

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, jan./abr. 2005.

CARVALHO, L.C.; MEURER, I.; SILVA JUNIOR, C.A.; CAVALIERI, K.M.V.; SANTOS, C.F.B. 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.

CASAGRANDE, A. **The determination of the pre-consolidation load and its practical significance**. In: CONFERENCE ON SOIL MECH. AND FOUND. ENG., PROC. of the ICSMFE. Cambridge, 1936, v.3. p.60-64.

CAVALIERI, K.M.V.; CARVALHO, L.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L.; TORMENA, C.A. Qualidade física de três solos sob colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1541-1549, 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-CONAB. Cana-de-açúcar: safra 2012/2013 terceiro levantamento. 2012. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em: 31/12/2012.

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

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

KONDO, M.K. **Compressibilidade de três Latossolos sob diferentes usos**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 95p 1998. (Dissertação de Mestrado).

LARSON, W.E.; BLAKE, G.R.; ALLMARAS, R.R. VOORHEES, W.B. ; GUPTA, S.C. Mechanics and related processes in structured agricultural soils. The Netherlands, **Kluwer Academic Publishers**, 1989. 273p.

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, p.911-917, 2004.

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

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

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

SPADOTO, A. F. **Desenvolvimento de programa computacional aplicado ao empacotamento do palhão de cana-de-açúcar**. Botucatu: UNESP, 2008. 62p. Dissertação Mestrado.

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

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**, v.22, p.573-581, 1998.

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, p.211-219, 2007.

ARTIGO 1

ATRIBUTOS FÍSICOS DE LATOSSOLO ESCARIFICADO EM ÁREA DE COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR.

RESUMO

O cultivo de soqueiras tem sido realizado como prática essencial para aumentar a longevidade dos canaviais, além de ser considerada como uma prática capaz de reduzir a compactação do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar em um Latossolo Vermelho distroférico cultivado com cana-de-açúcar, o efeito de diferentes manejos de escarificação sobre a densidade, porosidade, estabilidade de agregados e resistência do solo à penetração. O estudo foi realizado em uma área comercial da usina Monte Verde, no município de Ponta Porã-MS. O delineamento experimental foi de blocos casualizados com cinco repetições. Os tratamentos utilizados foram: T1: escarificador haste simples com escarificação a 0,15 m de profundidade; T2: escarificador haste simples com escarificação a 0,30 m de profundidade; T3: escarificador dupla ação com escarificação a 0,15 m de profundidade; T4: escarificador dupla ação com escarificação a 0,30 m de profundidade; T5: testemunha sem escarificação.. Não houve efeito significativo dos tratamentos avaliados na densidade, porosidade e estabilidade de agregados do solo. Para a resistência do solo à penetração foi observado efeito significativo dos tratamentos, restrito às entrelinhas das soqueiras, apenas a uma distância de 0,30 m da linha da soqueira de cana-de-açúcar. O tratamento T4 demonstrou ser mais eficiente na redução da resistência do solo à penetração tanto em profundidade quanto em relação à distância da soqueira.

Palavras-chave: *Saccharum sp*, compactação, resistência do solo à penetração.

CHISEL PLOWING IN MECHANIZED POST HARVEST OF CANE SUGAR AND ITS EFFECTS ON THE PHYSICAL ATTRIBUTES OF SOIL.

ABSTRACT

Sugarcane cultivation has been adopted as an essential practice to elevate the longevity of the sugar plantations, since this practice is adopted as a resource to reduce soil compaction. The objective of this study was to evaluate in an Oxisol cultivated with sugar cane third ratoon, the effect of different managements of scarification on the density, porosity, aggregate stability and the consequences on resistance to penetration profile soil. The study was conducted in a commercial area of Monte Verde plant in the municipality of Ponta Porã, MS. The experimental design was a randomized block with five replications. The treatments were: T1: Single rod cultivator to 15 cm depth; T2: Single rod cultivator to 30 cm depth; T3: dual action cultivator to 15 cm depth; T4: dual action cultivator to 30 cm depth; T5: control without scarification. There was no significant effect of treatments on density, porosity and aggregate stability in soils. Assessing the resistance to penetration was observed that the treatment effect is restricted between the lines of brass knuckles being verified significant effect only to 0,30 m of the cane row. Among the treatments T4 proved to be more efficient in reducing the resistance to penetration both in depth and in relation to distance from the stumps.

Keywords: *Saccharum sp*, compression, resistance to penetration.

INTRODUÇÃO

O sistema de produção da cana-de-açúcar no Brasil passou por um rápido processo de modernização, adotando técnicas de manejo e colheita intensamente mecanizadas que promovem alterações nos atributos físicos e hídricos do solo e na produtividade dos canaviais (SOUZA et al., 2004).

O cultivo intensivo dos solos e a utilização de máquinas e equipamentos pesados na cultura da cana-de-açúcar levam à degradação das condições físicas, principalmente pelo incremento da compactação do solo (SOUZA et al., 2006). Avaliando os atributos físicos de três classes de solos cultivados com cana-de-açúcar, Carvalho et al. (2011) verificaram redução da porosidade total e aumento da densidade do solo na camada de 0,2-0,4 m devido ao processo de compactação nesses solos. Como consequência da compactação, o crescimento das raízes e das plantas é negativamente alterado devido ao empobrecimento da qualidade física dos solos, culminando com a redução da produtividade e, ou, encurtando o ciclo de produção da cultura de cana-de-açúcar (CAVALIERI et al., 2011).

Nesse sentido, é necessário conhecer os estados de compactação que reduzem o crescimento do sistema radicular das plantas, visando o uso do solo de forma eficiente e sustentável, minimizando os efeitos adversos da compactação do solo (BERGAMIN et al., 2010). Dentre os atributos físicos utilizados para avaliar a compactação do solo, a resistência do solo à penetração e a densidade do solo têm sido priorizadas para avaliar sistemas de uso e manejo, por serem atributos relacionados ao crescimento das plantas, sendo ambos de fácil e rápida determinação (BUSSCHER et al., 2000).

A resistência do solo à penetração é um termo utilizado para descrever a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele, como uma raiz em crescimento ou uma ferramenta de cultivo (PEDROTTI, et al., 2001). Essa resistência geralmente aumenta com a compactação e com a redução da umidade do solo, o que pode ocasionar uma redução no desenvolvimento do sistema radicular (BENGHOUGH e MULLINS, 1990). Em geral, valores de resistência do solo à penetração, considerados críticos ao crescimento radicular, variam de 1,5 a 3,0 MPa (SOUZA et al., 2006).

De forma a reduzir os efeitos negativos causados pela compactação do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, uma alternativa que tem sido recomendada é a escarificação do solo nas entrelinhas das soqueiras. De acordo com Paulino et al. (2004), a escarificação de soqueiras de cana-de-açúcar promove aumento da macroporosidade do solo com conseqüente redução da sua densidade, reduzindo dessa forma o problema da compactação.

Em cultivos altamente tecnificados, como no caso da cana-de-açúcar, o monitoramento da qualidade física dos solos durante o período de cultivo da cultura, são estratégicos na definição de sistemas de manejo para diminuir a degradação estrutural e física dos solos (CAVALIERI et. al., 2011).

Nesse contexto, objetivou-se com este estudo avaliar o efeito de diferentes escarificadores e profundidades de operação sobre alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico cultivado com cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em área comercial da usina Monte Verde pertencente ao grupo Bunge, no município de Ponta Porã, MS, no ano agrícola 2011/2012. O local situa-se em latitude de 22° 14' 08" S, longitude de 54° 59' 13" W e altitude de 434 m. O clima é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen. Os dados relativos à temperatura média e à precipitação pluviométrica acumulada durante o período de execução do trabalho são apresentados na Figura 1.

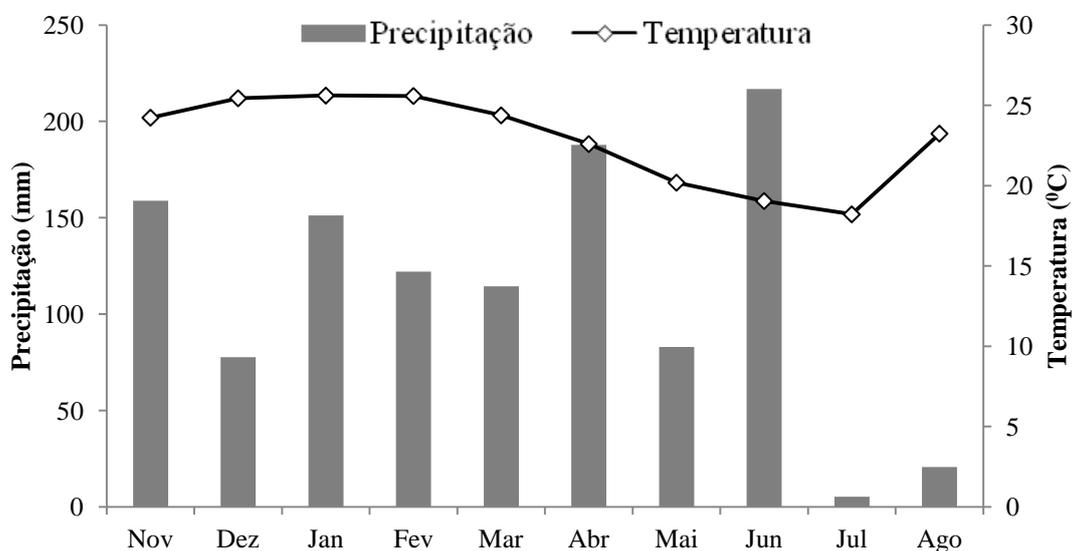


FIGURA 1. Precipitação pluviométrica acumulada e temperatura média durante o período experimental.

O solo foi é um Latossolo Vermelho distroférico, cuja composição granulométrica, determinada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997) foi 498,7 g kg⁻¹ de argila, 197,6 g kg⁻¹ de silte e 303,7 g kg⁻¹ de areia. As características químicas foram: pH (H₂O) = 5,4; Ca²⁺ = 61,3 mmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 14,6 mmol_c dm⁻³; Al³⁺ = 0,0 mmol_c dm⁻³; H + Al = 25,7 mmol_c dm⁻³; P = 17,9 mg dm⁻³; K = 13,4 mmol_c dm⁻³; e MO = 32 g kg⁻¹ determinados pelos métodos descritos em Embrapa (1997).

O delineamento experimental foi de blocos casualizados com cinco repetições, e os tratamentos foram cinco manejos de escarificação de soqueiras: T1: escarificador haste simples com escarificação a 0,15 m de profundidade; T2: escarificador haste simples com escarificação a 0,30 m de profundidade; T3:

escarificador dupla ação com escarificação a 0,15 m de profundidade; T4: escarificador dupla ação com escarificação a 0,30 m de profundidade; T5: testemunha sem escarificação. As parcelas mediam 15 m de comprimento e 9 m de largura, possuindo uma área total de 135 m².

O experimento foi instalado em área cultivada com cana-de-açúcar, variedade RB83 5054 no espaçamento de 1,5 m entre linhas e que havia passado pelo terceiro corte de forma mecanizada. No momento da aplicação dos tratamentos a cana-de-açúcar estava na fase de perfilhamento e o solo possuía um conteúdo de água na camada de 0-15 m de 0,20 kg kg⁻¹ e na camada de 0,15-0,30 m de 0,22 kg kg⁻¹, determinado conforme proposto em Embrapa (1997). Os escarificadores utilizados foram acoplados a um trator agrícola Agrale BX 6180, com rodado de pneus standard e pressão de inflação de 110,24 kPa para os pneus dianteiros e 137,8 kPa para os pneus traseiros.

A escarificação foi realizada no centro das entrelinhas, sendo utilizados para a operação o escarificador haste simples DMB, composto por duas hastes subsoladoras semi parabólicas com ponteiros aladas, dois discos de corte de 23” e dois rolos destorroadores (Figura 2-A) e o escarificador dupla ação DRIA, composto por duas hastes subsoladoras duplas semi parabólicas com ponteiros retas, dois discos de corte de 23” e dois rolos destorroadores (Figura 2-B).



FIGURA 2. Equipamentos utilizados para a prática da escarificação das soqueiras de cana-de-açúcar. A – Escarificador haste simples; B – Escarificador dupla ação.

Após 30 dias da aplicação dos tratamentos, foram coletadas amostras com estrutura preservada em cilindros metálicos com 6,45 cm de diâmetro e 2,54 cm de

altura para determinação da densidade e espaço poroso do solo. As amostras foram coletadas a 0,45 m da linha da soqueira da cana-de-açúcar e centradas nas camadas de 0-0,15 m e 0,15-0,30 m.

Após o preparo das amostras, essas foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingir cerca de 2/3 da altura do anel e realizado o procedimento para obtenção da microporosidade pelo método da mesa de tensão conforme descrito em Embrapa (1997). Posteriormente, 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. A densidade, a porosidade total e a macroporosidade foram obtidas como proposto em Embrapa (1997).

A distribuição de agregados foi determinada para as duas profundidades, utilizando o método do peneiramento úmido. Sendo retirados blocos de solo com estrutura levemente alterada, secados ao ar, e passados em peneiras de 9,52 e 4,76 mm. Os agregados retidos na peneira de 4,76 mm foram empregados nas análises de estabilidade de agregados via úmida, a qual foi realizada colocando as amostras sobre um jogo de peneiras com malhas de 2,0; 1,0; 0,5 e 0,105 mm, e submetendo-as a oscilações verticais, durante 15 minutos numa frequência de 32 oscilações por minuto. Foram adotados como índices de estabilidade, o diâmetro médio geométrico e o diâmetro médio ponderado, cujos cálculos foram feitos seguindo o proposto por Kemper e Rosenau (1986).

Após 30 dias da instalação do experimento foi determinada a resistência do solo à penetração (RP), empregando-se um penetrômetro eletrônico Falker PLG 1020, com sistema de aquisição automático de dados até a profundidade de 0,40 m. A velocidade de penetração da haste foi mantida em 30 mm s⁻¹, de acordo com a instrumentação do aparelho. Foi utilizado cone com diâmetro de 12,83 mm e ângulo de penetração de 30°. Juntamente com as determinações de RP foram realizadas amostragens de solo com auxílio de um trado holandês nas profundidades de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m para determinação da umidade gravimétrica do solo como proposto em Embrapa (1997).

Na determinação da RP, foram realizadas cinco repetições por parcela, sendo as leituras realizadas a partir da linha da soqueira de cana-de-açúcar e a cada 0,15 m até a distância de 0,90 m da soqueira, de forma a elaborar mapas de contorno em duas dimensões, elaborados a partir da interpolação dos resultados com o auxílio do programa computacional Surfer 8.0 (GOLDEN SOFTWARE, 2002).

Os resultados foram submetidos à análise de variância, e quando significativa foi aplicado o teste de Tukey, a 5% de probabilidade para a comparação de médias. Para isso foi utilizado o aplicativo computacional SISVAR (FERREIRA, 2010).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estabilidade de agregados representada pelo diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) nas camadas de 0,0-0,15 m e 0,15-0,30 m é apresentada no Quadro 1. Verifica-se que independente do tratamento empregado não houve alteração dos índices de estabilidade avaliados.

QUADRO 1. Diâmetro médio geométrico (DMP) e diâmetro médio ponderado (DMP) nos tratamentos e profundidades avaliadas em um Latossolo Vermelho distroférico.

| Tratamentos ⁽¹⁾ | DMG (mm) | DMP (mm) |
|----------------------------|--------------------|--------------------|
| | | 0-0,15m |
| T1 | 1,10 | 1,74 |
| T2 | 1,22 | 1,91 |
| T3 | 1,15 | 1,88 |
| T4 | 1,05 | 1,81 |
| T5 | 1,33 | 2,10 |
| F | 0,41 ^{ns} | 0,62 ^{ns} |
| CV% | 22,82 | 19,72 |
| | | 0,15-0,30m |
| T1 | 1,26 | 1,98 |
| T2 | 1,24 | 1,96 |
| T3 | 1,19 | 1,96 |
| T4 | 1,37 | 1,91 |
| T5 | 1,20 | 1,48 |
| F | 2,83 ^{ns} | 2,96 ^{ns} |
| CV% | 20,65 | 15,56 |

⁽¹⁾T1: escarificador haste simples com escarificação a 0,15 m de profundidade; T2: escarificador haste simples com escarificação a 0,30 m de profundidade; T3: escarificador dupla ação com escarificação a 0,15 m de profundidade; T4: escarificador dupla ação com escarificação a 0,30 m de profundidade; T5: testemunha sem escarificação.

Os índices de estabilidade de agregados encontrados neste trabalho são menores que os verificados por Souza et al. (2005) para Latossolo Vermelho-Amarelo e Garbiate et al. (2011) para Latossolo Vermelho distrófico, em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. De acordo com Severiano et al. (2009), o tráfego de máquinas em condições inadequadas de umidade em áreas com cana-de-açúcar tem resultado na degradação da estrutura dos solos.

Para a densidade do solo os valores variaram de 1,34 (T4) a 1,46 Mg m⁻³ (T1), no entanto, não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos estudados (Quadro 2). Paulino et al. (2004), avaliando os efeitos da escarificação nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob cana queimada, verificaram efeito significativo da escarificação na redução da densidade do solo na camada de 0,0-0,15 m de profundidade.

QUADRO 2. Densidade (Ds), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e volume total de poros (VTP) nos tratamentos e profundidades avaliadas em um Latossolo Vermelho distroférico.

| Tratamentos ⁽¹⁾ | Ds (Mg m ⁻³) | Macro (m ³ m ⁻³) | Micro (m ³ m ⁻³) | VTP (m ³ m ⁻³) |
|----------------------------|--------------------------------------|---|---|---------------------------------------|
| 0-0,15 m | | | | |
| T1 | 1,46 | 0,12 | 0,39 | 0,51 |
| T2 | 1,37 | 0,13 | 0,36 | 0,49 |
| T3 | 1,36 | 0,16 | 0,38 | 0,54 |
| T4 | 1,34 | 0,16 | 0,38 | 0,55 |
| T5 | 1,43 | 0,13 | 0,39 | 0,52 |
| F | 1,38 ^{ns} | 1,15 ^{ns} | 0,80 ^{ns} | 0,93 ^{ns} |
| CV% | 6,67 | 28,88 | 7,33 | 9,38 |
| 0,15-0,30 m | | | | |
| | Ds (m ³ m ⁻³) | Macro (m ³ m ⁻³) | Micro (m ³ m ⁻³) | VTP (m ³ m ⁻³) |
| T1 | 1,45 | 0,12 | 0,38 | 0,50 |
| T2 | 1,40 | 0,14 | 0,38 | 0,52 |
| T3 | 1,42 | 0,12 | 0,39 | 0,51 |
| T4 | 1,42 | 0,13 | 0,38 | 0,51 |
| T5 | 1,45 | 0,12 | 0,39 | 0,51 |
| F | 0,81 ^{ns} | 1,23 ^{ns} | 0,69 ^{ns} | 0,39 ^{ns} |
| CV% | 3,59 | 12,81 | 3,08 | 4,08 |

⁽¹⁾T1: escarificador haste simples com escarificação a 0,15 m de profundidade; T2: escarificador haste simples com escarificação a 0,30 m de profundidade; T3: escarificador dupla ação com escarificação a 0,15 m de profundidade; T4: escarificador dupla ação com escarificação a 0,30 m de profundidade; T5: testemunha sem escarificação.

Os valores de macroporosidade foram superiores a 0,10 m³ m⁻³ em todos os tratamentos avaliados na camada de 0,0-0,15 m e 0,15-0,30 m de profundidade (Quadro 2), indicando não haver limitações ao arejamento do solo neste local, pois de maneira geral, condições físicas do solo favoráveis ao crescimento das plantas tem sido associadas a uma porosidade de aeração mínima de 0,10 m³ m⁻³ (PAGLIAI et al., 2003), abaixo da qual a difusão de oxigênio se torna limitante ao desenvolvimento das raízes (CUNHA et al., 2010).

Seguindo a mesma tendência dos dados de densidade e macroporosidade do solo, os valores de microporosidade e volume total de poros não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Resultados semelhantes foram obtidos por Paulino et al. (2004) que não verificaram diferença nos valores de porosidade total em Latossolo Vermelho escarificado na profundidade de 0,30 m, após a colheita de cana-de-açúcar.

Concomitantemente com a avaliação da resistência do solo à penetração, efetuou-se amostragem para determinação do teor de água no solo (Quadro 3), não sendo observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, permitindo assim a comparação dos valores de resistência do solo à penetração, uma vez que a mesma é altamente influenciada pelo teor de água no solo (COLET et. al., 2009).

QUADRO 3. Umidade gravimétrica, nos tratamentos e profundidades avaliadas em um Latossolo Vermelho distroférrico.

| Tratamentos ⁽¹⁾ | Profundidade (m) | | |
|----------------------------|---|--------------------|--------------------|
| | 0,0 - 0,10 | 0,10 - 0,20 | 0,20 - 0,40 |
| | umidade gravimétrica (m ³ m ³) | | |
| T1 | 0,16 | 0,17 | 0,17 |
| T2 | 0,17 | 0,17 | 0,18 |
| T3 | 0,16 | 0,17 | 0,17 |
| T4 | 0,17 | 0,17 | 0,17 |
| T5 | 0,17 | 0,18 | 0,18 |
| F | 0,62 ^{ns} | 1,21 ^{ns} | 0,23 ^{ns} |
| CV% | 7,46 | 8,54 | 11,36 |

⁽¹⁾T1: escarificador haste simples com escarificação a 0,15 m de profundidade; T2: escarificador haste simples com escarificação a 0,30 m de profundidade; T3: escarificador dupla ação com escarificação a 0,15 m de profundidade; T4: escarificador dupla ação com escarificação a 0,30 m de profundidade; T5: testemunha sem escarificação.

Os valores de resistência do solo à penetração até a profundidade de 0,40 m são apresentados na Figura 3. Verifica-se que apesar de não terem promovido modificações na densidade e porosidade do solo os tratamentos promoveram mudanças nos valores de resistência à penetração nos diferentes pontos de amostragem. De acordo com Abreu et al. (2004), a resistência do solo a penetração apresenta maior sensibilidade em detectar níveis de compactação em comparação com a densidade e porosidade do solo.

Analisando os dados de RP apresentados na Figura 3 é possível observar por meio dos valores da testemunha (T5) que os maiores valores de RP ocorrem a partir dos

0,30 m da linha da soqueira (Figura 3), fato que pode ser explicado pelo maior tráfego de máquinas ocorrido nesta região.

Nota-se que os tratamentos de escarificação não promoveram efeitos significativos nos valores de resistência à penetração na linha da soqueira e aos 0,15 m da linha (Figura 3A e 3B), exceto aos 0,15 m de distância na profundidade de 0,15 m. Isso demonstra que o efeito da escarificação de soqueiras independentemente do equipamento fica restrito a região das entrelinhas.

A partir dos 0,30 m da linha da soqueira (Figura 3C) verificam-se efeitos significativos dos tratamentos nos valores de RP. Todos os tratamentos utilizando escarificação proporcionaram menores valores de RP até os 0,10 m de profundidade, concordando com os dados de Colet, et al. (2009) que observaram menores valores de RP em área escarificada na camada de 0,0 – 0,10 m em Latossolo Vermelho-Amarelo. Além disso, nota-se que independentemente do equipamento utilizado na operação, os tratamentos com escarificação realizados a 0,30 m de profundidade (T2 e T4) foram mais eficientes na redução da RP até os 0,20 m de profundidade no ponto a 0,30 m da soqueira (Figura 3C).

De maneira geral é possível observar nas Figuras 3D e 3E que o cultivador dupla ação, independentemente da profundidade de operação, promoveu menores valores de RP quando comparado com o cultivador haste simples. Este fato pode ser explicado pela diferença existente entre as ponteiros das hastes destes equipamentos, uma vez que, o cultivador dupla ação promove uma ação lateral de movimentação do solo muito maior que o cultivador haste simples que tem uma ação mais restrita. De acordo com Machado e Chang (1996), ponteiros com maiores ângulos de ataque tendem a apresentar valores mais elevados de forças horizontal, vertical e uma maior área de solo mobilizado.

Quando avaliada a RP no local de passagem das hastes (Figura 3F), verifica-se que tanto os cultivadores regulados para operar a 0,30 m (T2 e T4) como os regulados para operar a 0,15 m (T1 e T3) de profundidade, apresentaram resultados semelhantes, reduzindo a RP até a profundidade de 0,30 m. Essa semelhança nos resultados encontrados pode estar relacionada à transmissão de tensões de ruptura para camadas abaixo da camada mobilizada no caso dos tratamentos T1 e T3 como relatado por Rosa et al. (2011).

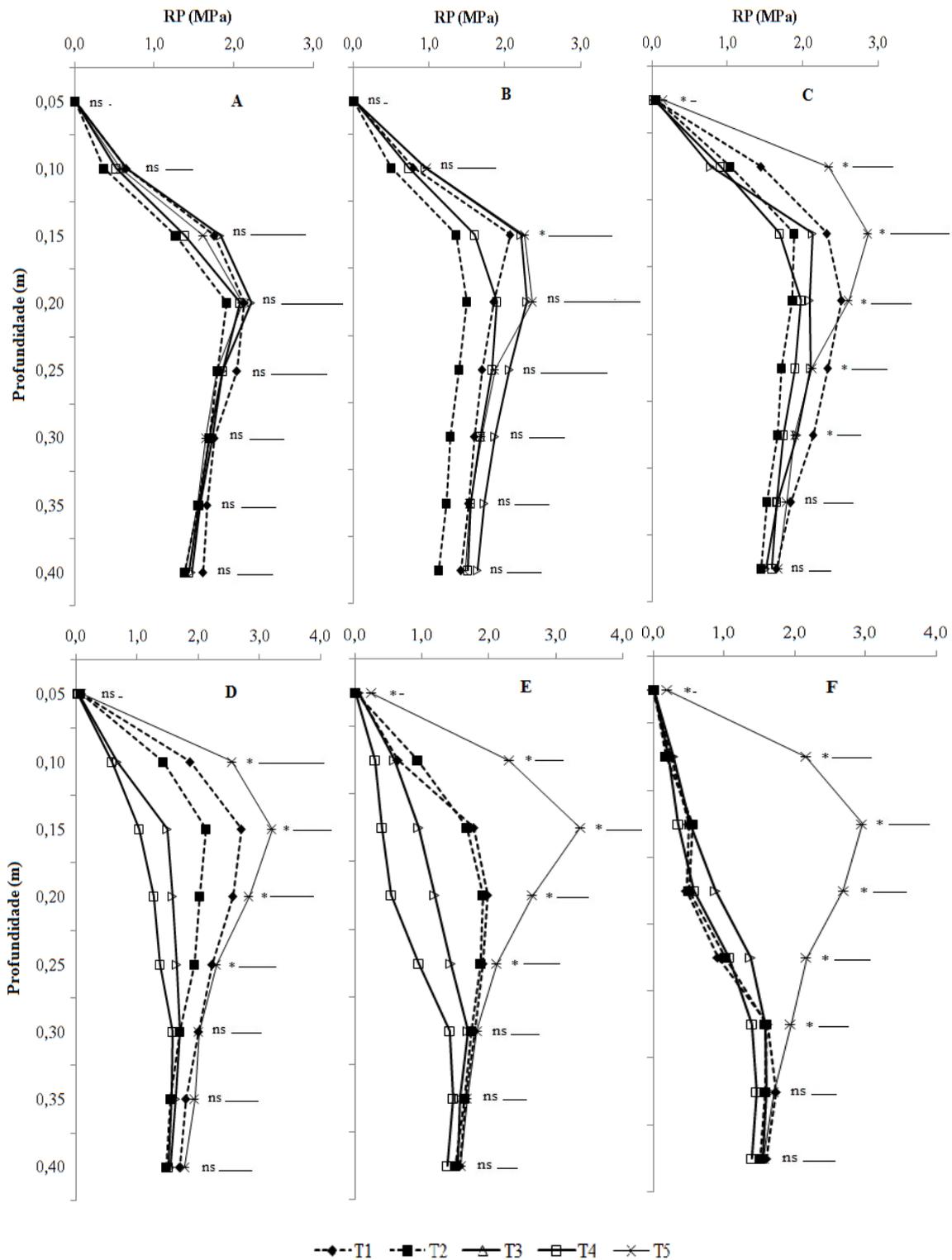


FIGURA 3. Resistência do solo à penetração até a profundidade de 0,40 m à 0,0 m (A); 0,15 m (B); 0,30 m (C); 0,45 m (D), 0,60 m (E) e 0,75 m (F) da linha da soqueira.

Os dados de resistência do solo à penetração foram utilizados para obter estimativas em locais não amostrados por Krigagem, produzindo mapas de estimativas

de ocorrência do atributo na área estudada (Figura 4). A resistência do solo a penetração apresentou valores que chegaram a 3 MPa, valor considerado alto para Latossolos de acordo com Silva et al. (2000). Ressalta-se que o valor de 2 MPa tem sido aceito como limite crítico para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas (TORMENA et. al., 1998).

Verifica-se nas áreas onde foi utilizado o escarificador haste simples (Figura 4A e 4B) que este equipamento promoveu uma menor mobilização do solo apresentando áreas com maiores valores de RP, quando comparado ao cultivador haste dupla (Figura 4C e 4D).

No entanto, quando comparadas as duas profundidades de trabalho do escarificador haste simples (T1 e T2) a profundidade de operação de 0,30 m (T2) se mostrou mais eficiente na redução da RP do que quando regulado para 0,15 m de profundidade (T1). Quando avaliado o perfil do solo no tratamento T1 é possível observar valores de RP que chegam a 3 MPa diferindo do tratamento T2 que apresentou valores máximos de RP não ultrapassando os 2,5 MPa. Gamero (2008), avaliando o desempenho operacional de um subsolador operando a diferentes profundidades de trabalho, verificou que o aumento de 0,10 m na profundidade de operação do equipamento proporcionou uma área mobilizada de solo 40% maior, evidenciando assim que, maiores profundidades de operação promovem uma maior mobilização no perfil do solo.

Analisando a RP nos tratamento T3 e T4 é possível observar uma grande área de solo mobilizada pelo cultivador dupla ação (Figura 4C e 4D), com conseqüente redução dos valores de RP. Em relação a profundidade de operação foram encontrados resultados semelhantes ao cultivador haste simples, sendo que na profundidade de operação de 0,30 m (T4) houve uma maior área de solo mobilizada em comparação a operação a 0,15 m de profundidade. Assim sendo, o cultivador dupla ação operando a 0,30 m de profundidade (T4) demonstrou maior eficiência na redução da RP no perfil do solo em comparação aos outros tratamentos avaliados.

Na Figura 4E é apresentado o perfil da área testemunha sem escarificação do solo. Observa-se a presença de uma área compactada entre as profundidades de 0,10 m a 0,20 m de profundidade, estes resultados concordam com os obtidos por Carvalho et al. (2008) que verificaram maiores valores de RP abaixo da camada de 0,10 m em um Latossolo Vermelho sob cultivo contínuo com cana-de-açúcar.

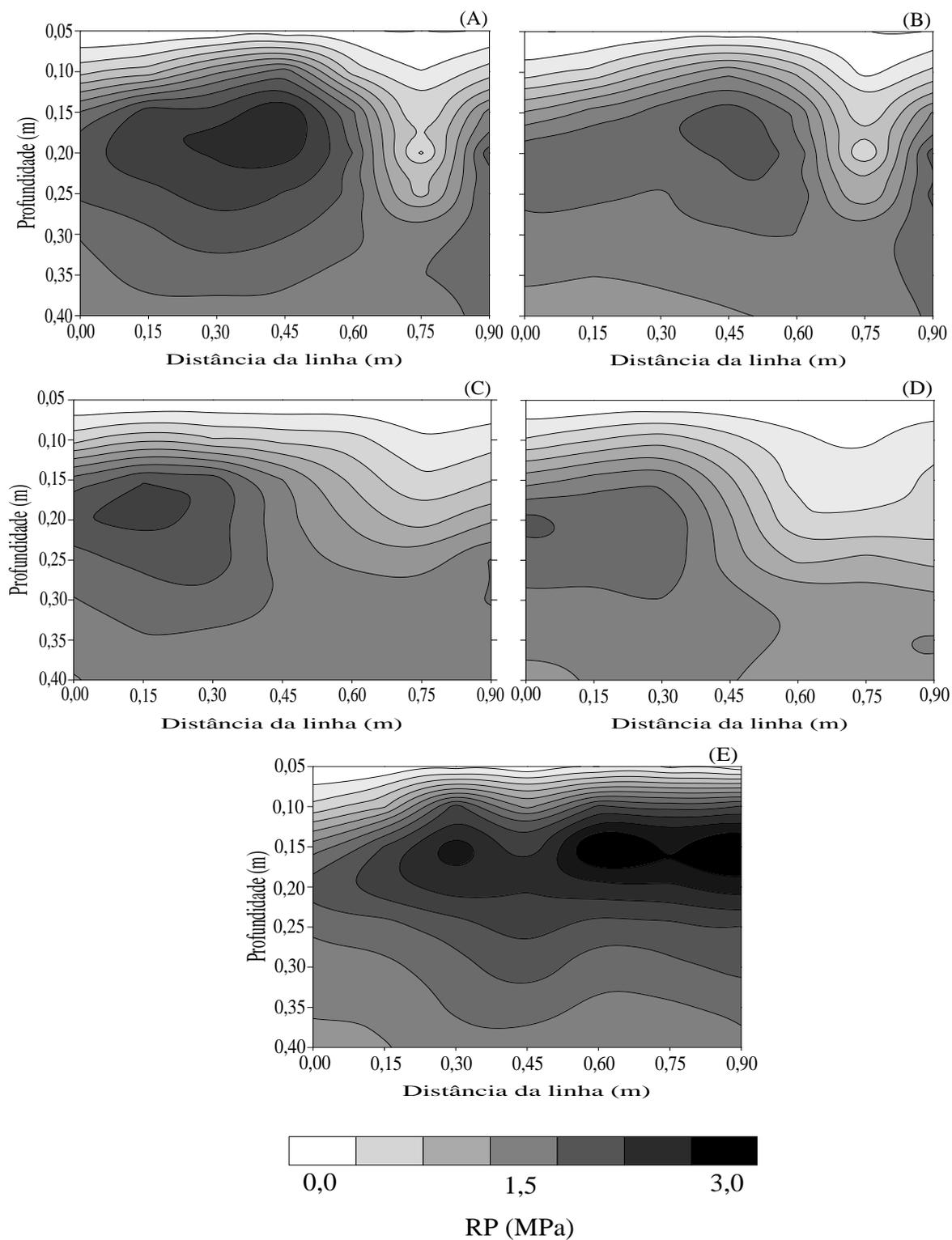


FIGURA 4. Resistência do solo à penetração no perfil de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar nos manejos: (A) escarificador haste simples com escarificação a 0,15 m de profundidade; (B) escarificador haste simples com escarificação a 0,30 m de profundidade; (C) escarificador dupla ação com escarificação a 0,15 m de profundidade; (D) escarificador haste dupla com escarificação a 0,30 m de profundidade; (E) testemunha sem escarificação.

Além disso, pode-se notar na Figura 4E que apesar dos maiores valores de RP serem encontrados na camada de 0,10 a 0,20 m de profundidade, valores superiores a 2 MPa podem ser encontrados até a profundidade de 0,30 m de profundidade, estando portanto acima do valor de RP considerado prejudicial ao desenvolvimento do sistema radicular de acordo com Tormena et al. (1998).

CONCLUSÕES

1. A escarificação das entrelinhas de soqueira de cana-de-açúcar não altera a estabilidade de agregados, porosidade e densidade do solo.

2. A escarificação com o escarificador dupla ação a 0,30 m de profundidade é mais efetiva na redução da resistência do solo à penetração até a profundidade de 0,30 m.

3. O uso do escarificador dupla ação operando a 0,15 m e 0,30 m de profundidade proporcionou os menores valores de resistência do solo a penetração em relação a distancia de 0,30 m a 0,60 m da soqueira da cana-de-açúcar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, S.L.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.519-531, 2004.

BENGHOUGH, A.G. & MULLINS, C.E. Mechanical impedance to root growth responses: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal Soil Science.**, v.41, p.341- 358, 1990.

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

BUSSCHER, W.J. et al. 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.

CARVALHO, L.A.; NETO, V.J.M.; SILVA, L.F.; PEREIRA, J.G.; NUNES, W.A.G.A.; CHAVES, C.H.C. Resistência mecânica do solo a penetração (RMP) sob cultivo de cana-de-açúcar, no município de Rio Brilhante-MS. **Agrarian**, v.1, n.2, p.7-22, out./dez. 2008.

CARVALHO, L.C.; MEURER, I.; SILVA JUNIOR, C.A.; CAVALIERI, K.M.V.; SANTOS, C.F.B. 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.; CARVALHO, L.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L.; TORMENA, C.A. Qualidade física de três solos sob colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1541-1549, 2011.

COLET, M.J.; SVERZUT, C.B.; WEIRICH NETO, P.H.; SOUZA, Z.M. Alterações em atributos físicos de um solo sob pastagem após escarificação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 361-368, mar./abr., 2009.

CUNHA, E.Q.; STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A.; FERREIRA, E.P.B.; DIDONET, A.D. Atributos físicos do solo sob diferentes preparos e cobertura influenciados pela distribuição de poros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.11, p.1160-1169, 2010.

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

FERREIRA, D. F. Sisvar versão 5.3 (Biud 75). **Sistemas de análises de variância para dados balanceados: programa de análises estatísticas e planejamento de experimentos**. Lavras, MG, Universidade Federal de Lavras, 2010.

GAMERO, A.C. **Desempenho operacional de um subsolador de haste com curvatura lateral (“paraplow”), em função de diferentes velocidades de deslocamento e profundidade de trabalho.** 2008. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia na Agricultura). Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu–SP.

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

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer: countouring and 3D surface mapping for scientists and engineers.** Version 8. New York: Golden Software, 2002. 640p.

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. **Aggregate stability and size distribution.** In: KLUTE, A. (Ed.). *Methods of soil analysis.* Madison : American Society of Agronomy, 1986.

MACHADO, A.L.T.; CHANG, C. Influencia da geometria no desempenho de ponteiros aladas de escarificadores. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.2, nº 1, 11-16, Jan.-Abr., 1996.

PAGLIAI, M.; MARSILI, A.; SERVADIO, P.; VIGNOZZI, N.; PELLEGRINI, S. Changes in some physical properties of a Clay soil in central italy following the passage of rubber tracked and wheeled tractors of médium Power. **Soil & Tillage Research**, v.73, n.1-2, p.119-129, 2003.

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, p.911-917, 2004.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E.A.; CRESTANA, S.; FERREIRA, M.M.; DIAS JUNIOR, M.S.; GOMES, A.S.; TURATTI, A.L. Resistência mecânica a penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.521-529, 2001.

ROSA, D.P.; REICHERT, J.M.; MENTGES, M.I.; BARROS, C.A.P.; REINERT, D.J. VIEIRA, D.A. Cultivo mínimo: Efeito da compactação e deformação abaixo da atuação da ponteira do subsolador. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.11, p.1199–1205, 2011.

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

SILVA, M.L.N.; CURI, N.; BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.12, p.2485-2492, dez. 2000.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; MOREIRA, L.F. Influência da pedofórmula na variabilidade espacial de alguns atributos físicos e hídricos de um Latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Irriga**, Botucatu, v. 9, n. 1, p. 1-11, janeiro-abril, 2004.

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

SOUZA, Z.M.; CAMPOS, M.C.C.; CAVALCANTE, I.H.L.; MARQUES JÚNIOR, J.; CESARIN, L.G.; SOUZA, S.R. Dependência espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água do solo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v.36, n.1, 2006.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. da; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, p. 573-581, 1998.

ARTIGO 2

INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO DE UM LATOSSOLO SUBMETIDO A ESCARIFICAÇÃO EM ÁREA DE COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR.

RESUMO

A escarificação em áreas de soqueira tem sido empregada como prática rotineira para redução da compactação do solo cultivado com cana-de-açúcar, porém o real benefício desta prática para a melhoria da qualidade físico hídrica do solo é pouco conhecido. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes escarificadores e profundidades de operação, sobre o Intervalo Hídrico Ótimo (IHO) de um Latossolo Vermelho distroférico, cultivado com cana-de-açúcar. O estudo foi realizado em área comercial da usina Monte Verde, no município de Ponta Porã - MS. O delineamento experimental foi de blocos casualizados com cinco repetições. Os tratamentos utilizados foram: T1: escarificador haste simples com escarificação a 0,15 m de profundidade; T2: escarificador haste simples com escarificação a 0,30 m de profundidade; T3: escarificador dupla ação com escarificação a 0,15 m de profundidade; T4: escarificador dupla ação com escarificação a 0,30 m de profundidade; T5: testemunha sem escarificação. As parcelas mediam 15 m de comprimento e 9 m de largura, possuindo uma área total de 135 m². Amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas com o auxílio de cilindros metálicos nas profundidades de 0-0,15 e 0,15-0,30 m. As amostras foram retiradas a uma distância de 0,45 m da linha da soqueira. A escarificação do solo foi eficiente na melhoria da qualidade física do solo, por aumentar a disponibilidade hídrica na camada de 0-0,15 m, exceto para o escarificador haste simples operando a 0,15 m (T1). Na camada de 0,15-0,30 m não houve influência da escarificação sobre o IHO, sendo que apenas o escarificador haste simples operando a 0,30 m (T2), promoveu melhoria da qualidade física do solo.

Palavras-chave: *Saccharum sp.*, porosidade do solo, água disponível.

LEAST LIMITING WATER RANGE OF OXISOL AFTER MECHANICAL SUGARCANE HARVESTING

ABSTRACT

Scarification of brass knuckles has been used as a routine practice for reducing soil compaction in areas planted with sugar cane, but still do not know the real benefits of this practice for improving soil physical quality. Accordingly, the objective of this study was to evaluate the effect of different depths of operation and tillers on the IHO of an Oxisol cultivated with sugar cane. The study was conducted in a commercial area of Monte Verde plant in the municipality of Ponta Porã, MS. The experimental design was a randomized block with five replications. The treatments were: T1: Single rod cultivator to 15 cm depth; T2: Single rod cultivator to 30 cm depth; T3: dual action cultivator to 15 cm depth; T4: dual action cultivator to 30 cm depth; T5 : control without scarification. The plots measured 15 m and 9 m wide, having a total area of 135 m². One month after implantation of the experiment, samples were collected from undisturbed soil in metal cylinders at depths of 0-15 and 15-30 cm. Samples were taken at a distance of 0.45 m from the line of stumps. The soil scarification proved effective in improving the physical quality of the soil by increasing its water availability in the layer 0-0.15 m layer, except for the ripper shank simple operating at 0.15 m (T1). For the layer 0.15-0.30 m depth there was little effect of scarification on the IHO, and only the ripper shank simple operating at 0.30 m promoted improvement of soil physical quality (T2).

Keywords: *Saccharum* sp, soil porosity, water available.

INTRODUÇÃO

A modernização da agricultura, acompanhada pelo aumento do peso do maquinário e implementos agrícolas, bem como da intensidade de uso do solo, principalmente em áreas sob cultivo de cana-de-açúcar, é a principal causa da compactação do solo, trazendo prejuízos para a produtividade das culturas e contribuindo com processos erosivos (ROQUE et al., 2011). Em áreas canavieiras, a compactação tem ocorrido muitas vezes em virtude das operações de manejo que envolvem o tráfego de máquinas estando o solo em condições inadequadas de umidade (SEVERIANO et al., 2008).

Para reduzir os problemas causados pela compactação do solo ao longo do ciclo da cultura, tem-se tornado comum em áreas de produção de cana-de-açúcar a prática da escarificação do solo nas entrelinhas das soqueiras, logo após as operações da colheita mecanizadas. No entanto, apesar de rotineira em áreas produtoras de cana-de-açúcar, pouco se sabe sobre os reais benefícios desta prática na melhoria da qualidade física do solo, como relatado por Paulino et al. (2004) e Souza et al. (2005)

Para Silva e Ribeiro (1995), a falta de informações precisas sobre as alterações físicas e químicas dos solos submetidos ao cultivo de cana-de-açúcar pode dificultar a identificação dos fatores responsáveis por possíveis quedas de produtividade e conseqüentemente a implantação de práticas de manejo mais adequadas nos cultivos agrícolas. Assim, a avaliação e monitoramento da qualidade física dos solos durante o período de cultivo da cultura da cana de açúcar, são estratégicos na definição de sistemas de manejo para diminuir a degradação estrutural e física dos solos (CAVALIERI et al., 2011).

A qualidade física dos solos em áreas cultivadas com cana-de-açúcar tem sido avaliada por meio de atributos físicos como porosidade do solo (GARBIATE et al., 2011), estabilidade de agregados (SOUZA et al., 2005), densidade do solo (CARVALHO et al., 2011) e infiltração de água no solo (TOMASINI et al., 2010). No entanto, preconiza-se que a avaliação da qualidade física do solo deva integrar diferentes atributos num reduzido número de parâmetros que expresse o ambiente físico a que as plantas são submetidas (SILVA et al., 1994; TORMENA et al., 1998)

Nesse sentido, o uso do intervalo hídrico ótimo (IHO) para avaliação da qualidade física e estrutural do solo tem se apresentado um indicador que se

correlaciona com o desenvolvimento das plantas. O IHO, termo introduzido no Brasil por Tormena (1998), foi originalmente proposto por Letey (1985), sendo definido pelo limite superior e inferior de conteúdos de água no solo, considerados limitantes ao crescimento radicular (BEUTLER et al., 2006). O IHO integra os atributos físicos do solo que diretamente influenciam o desenvolvimento das culturas e estas inter-relações dependem da condição estrutural do solo e, portanto, do grau de degradação da estrutura a que ele está submetido (PACHECO e CANTALICE, 2011).

A utilização do IHO permite identificar, por meio da quantificação e da integração dos dados relativos à água disponível, aeração e resistência do solo à penetração, as restrições impostas pela degradação estrutural à qualidade física do solo para o crescimento das plantas (ARAUJO et al., 2004). Nesse cenário, o IHO significa grande avanço nos estudos de biofísica do solo, sendo o indicador de qualidade física e estrutural do solo que melhor se correlaciona com o crescimento das plantas (TORMENA et al., 2007).

Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito de diferentes escarificadores e profundidades de operação sobre o IHO de um Latossolo Vermelho distroférico, cultivado com cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em área comercial da usina Monte Verde pertencente ao grupo Bunge, no município de Ponta Porã, MS, no ano agrícola 2011/2012. O local situa-se em latitude de 22° 14' 08" S, longitude de 54° 59' 13" W e altitude de 435m. O clima é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen. Os dados relativos à temperatura média e precipitação pluviométrica acumulada durante o período de execução do trabalho são apresentados na Figura 1.

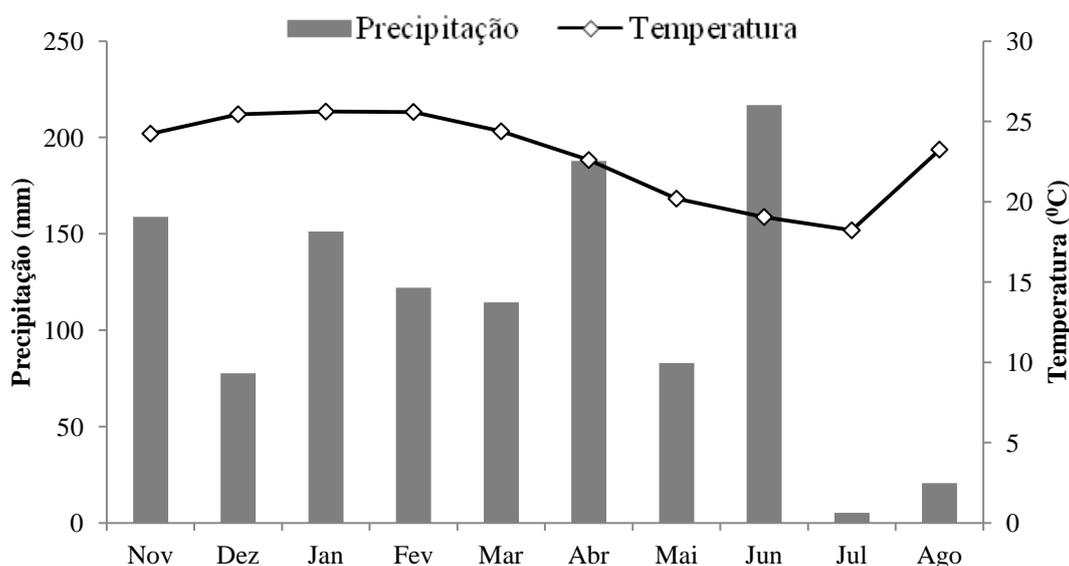


FIGURA 1. Precipitação pluviométrica acumulada e temperatura média durante o período experimental.

O solo na área do experimento foi um Latossolo Vermelho distroférico, cuja composição granulométrica, determinada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997) foi 498,7 g kg⁻¹ de argila, 197,6 g kg⁻¹ de silte e 303,7 g kg⁻¹ de areia. As características químicas foram: pH (H₂O) = 5,45; Ca²⁺ = 61,3 mmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 14,6 mmol_c dm⁻³; Al³⁺ = 0,0 mmol_c dm⁻³; H + Al = 25,7 mmol_c dm⁻³; P = 17,9 mg dm⁻³; K = 13,4 mmol_c dm⁻³; e MO = 32 g kg⁻¹ (EMBRAPA, 1997).

O delineamento experimental foi de blocos casualizados com cinco repetições, e os tratamentos foram cinco manejos de escarificação de soqueiras: T1: escarificador haste simples com escarificação a 0,15 m de profundidade; T2: escarificador haste simples com escarificação a 0,30 m de profundidade; T3: escarificador dupla ação com escarificação a 0,15 m de profundidade; T4: escarificador

dupla ação com escarificação a 0,30 m de profundidade; T5: testemunha sem escarificação. As parcelas mediam 15 m de comprimento e 9 m de largura, possuindo área total de 135 m².

O experimento foi instalado em área cultivada com cana-de-açúcar, variedade RB83 5054 no espaçamento de 1,5 m entre linhas e que havia passado pelo terceiro corte de forma mecanizada. No momento da aplicação dos tratamentos a cana-de-açúcar estava na fase de perfilhamento e o solo possuía um conteúdo de água na camada de 0-15 m de 0,20 kg kg⁻¹ e na camada de 0,15-0,30 de 0,22 kg kg⁻¹, determinado conforme proposto em Embrapa (1997). Para a operação dos escarificadores foi utilizado um trator agrícola Agrale BX 6180, com rodado de pneus standard e pressão de inflação de 110,24 kPa para os pneus dianteiros e 137,8 kPa para os pneus traseiros.

A escarificação foi realizada no centro das entrelinhas, sendo utilizados para a operação o escarificador haste simples DMB, composto por duas hastes subsoladoras semi parabólicas com ponteiros alados, dois discos de corte de 23” e dois rolos destorroadores (Figura 2-A), e o escarificador dupla ação DRIA, composto por duas hastes subsoladoras duplas semi parabólicas com ponteiros retas, dois discos de corte de 23” e dois rolos destorroadores (Figura 2-B).



FIGURA 2. Equipamentos utilizados para a prática da escarificação das soqueiras de cana-de-açúcar. A – Escarificador haste simples; B – Escarificador dupla ação.

Após 30 dias da aplicação dos tratamentos, foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada em cilindros metálicos com 6,45 cm de diâmetro e 2,54 cm de altura centralizados nas profundidades de 0-0,15 e 0,15-0,30 m. As amostras

foram retiradas a uma distância de 0,45 m da linha da soqueira da cana-de-açúcar. Em cada parcela e profundidade foram coletadas sete amostras, totalizando 70 amostras para cada tratamento (35 amostras em cada profundidade).

Após o preparo das amostras, essas foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingirem cerca de dois terços da altura do anel para posterior estabilização do teor de água. As 35 amostras de cada tratamento e profundidade foram divididas em sete grupos de cinco amostras, sendo cada grupo submetido aos seguintes potenciais matriciais: -0,006; -0,01; -0,033; -0,066; -0,1; -0,3 e -1,5 MPa, utilizando mesa de tensão (-0,006 MPa) e câmara de Richards para os demais potenciais, conforme Klute (1986). Na mesa de tensão (-0,006 MPa) foi obtida a microporosidade, conforme descrito em Embrapa (1997).

Quando as amostras atingiram o equilíbrio nas referidas tensões, elas foram pesadas e em seguida determinada a resistência do solo à penetração, utilizando um penetrômetro eletrônico com velocidade constante de penetração de 1 cm min^{-1} , com diâmetro de base da haste de 4 mm e semiângulo de 30° , desenvolvido por Serafim et al. (2008). Os valores obtidos nos 5 mm superiores e inferiores da amostra foram descartados, visando eliminar o efeito da periferia da amostra (BRADFORD, 1986). A frequência de leituras de resistência do solo à penetração correspondeu à coleta de um valor a cada 0,25 segundos, obtendo-se 600 leituras por amostra, sendo utilizado o valor médio. Após a determinação da resistência do solo à penetração, as amostras foram levadas à estufa a 105-110 °C, por 48 h, para se determinar a umidade volumétrica e a densidade do solo pelo método do anel volumétrico. A porosidade total e a macroporosidade foram obtidas como proposto em Embrapa (1997).

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

Para obter os valores de θ_{CC} e θ_{PMP} , utilizou-se o modelo matemático do tipo $[\theta = \exp(a+bDs)\Psi^c]$, proposto por Silva et al. (1994), para ajuste dos dados originais, o

qual incorpora a variável densidade do solo na função empregada por Ross et al. (1991), em que θ é a umidade volumétrica do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); D_s é a densidade do solo (Mg m^{-3}); Ψ é o potencial matricial (MPa); e as letras “a”, “b” e “c” são os parâmetros empíricos de ajuste do modelo.

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

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

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

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

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os coeficientes de ajuste da equação de retenção de água são apresentados nos Quadros 1 e 2. Todas as curvas ajustadas de retenção de água apresentaram coeficientes de determinação (R^2) significativos a 1% pelo teste F. Segundo Blainski et al. (2009) e Blainski et al. (2012) é possível afirmar que os coeficientes do ajuste da curva de retenção de água do solo (Quadros 1 e 2) foram estatisticamente significativos ($p < 0,01$), pois o intervalo de confiança dos coeficientes não inclui o valor igual a zero, exceto o coeficiente “b” que foi significativo apenas no tratamentos T1 e T4 na camada de 0-0,15 m.

QUADRO 1. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de retenção de água no solo [$\theta = \exp(a+bDs)\Psi^c$], com respectivos coeficientes de determinação (R^2), na camada de 0-0,15 m de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido a diferentes manejos de escarificação.

| Coeficientes | Valor estimado | Intervalo de confiança | | Valor estimado | Intervalo de confiança | |
|--------------|----------------|------------------------|---------|----------------|------------------------|---------|
| | | Li | Ls | | Li | Ls |
| | | T1 | | | T2 | |
| a | -1,7235 | -2,1006 | -1,3464 | -1,5219 | -2,0901 | -0,9536 |
| b | 0,3139 | 0,0584 | 0,5695 | 0,1598 | -0,2511 | 0,5708 |
| c | -0,0556 | -0,0656 | -0,0456 | -0,0615 | -0,0758 | -0,0471 |
| R^2 | 0,89** | | | 0,84** | | |
| | | T3 | | | T4 | |
| a | -1,4602 | -1,9177 | -1,0026 | -2,0352 | -2,3514 | -1,7190 |
| b | 0,1375 | -0,1767 | 0,4517 | 0,5175 | 0,2989 | 0,7361 |
| c | -0,0593 | -0,0721 | -0,0465 | -0,0627 | -0,0788 | -0,0466 |
| R^2 | 0,86** | | | 0,85** | | |
| | | T5 | | | | |
| a | -1,4062 | -2,1353 | -0,6772 | | | |
| b | 0,1395 | -0,3449 | 0,6240 | | | |
| c | -0,0478 | -0,0689 | -0,0268 | | | |
| R^2 | 0,65** | | | | | |

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%. T1: escarificador haste simples com escarificação a 0,15 m de profundidade; T2: escarificador haste simples com escarificação a 0,30 m de profundidade; T3: escarificador dupla ação com escarificação a 0,15 m de profundidade; T4: escarificador dupla ação com escarificação a 0,30 m de profundidade; T5: testemunha sem escarificação.

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 (R²), na camada de 0,15-0,30 m de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido a diferentes manejos de escarificação.

| Coeficientes | Valor estimado | Intervalo de confiança | | Valor estimado | Intervalo de confiança | |
|----------------|----------------|------------------------|---------|----------------|------------------------|---------|
| | | Li | Ls | | Li | Ls |
| | | T1 | | | T2 | |
| a | -1,0858 | -1,7689 | -0,4027 | -1,4442 | -2,0288 | -0,8595 |
| b | -0,0618 | -0,5252 | 0,4017 | 0,1472 | -0,2685 | 0,5629 |
| c | -0,0412 | -0,0568 | -0,0256 | -0,0522 | -0,0669 | -0,0375 |
| R ² | 0,69** | | | 0,79** | | |
| | | T3 | | | T4 | |
| a | -1,5791 | -2,1971 | -0,9611 | -1,3368 | -1,9636 | -0,7101 |
| b | 0,2667 | -0,1628 | 0,6961 | 0,0987 | -0,3281 | 0,5255 |
| c | -0,0480 | -0,0634 | -0,0325 | -0,0428 | -0,0586 | -0,0269 |
| R ² | 0,75** | | | 0,70** | | |
| | | T5 | | | | |
| a | -1,3512 | -1,6917 | -1,0107 | | | |
| b | 0,0525 | -0,1853 | 0,2903 | | | |
| c | -0,0647 | -0,0786 | -0,0508 | | | |
| R ² | 0,86** | | | | | |

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%. T1: escarificador haste simples a 0,15 m de profundidade; T2: escarificador haste simples a 0,30 m de profundidade; T3: escarificador dupla ação a 0,15 m de profundidade; T4: escarificador dupla ação a 0,30 m de profundidade; T5: testemunha sem escarificação.

Nos Quadros 3 e 4 são apresentados os coeficientes de ajuste da curva de resistência do solo à penetração. O intervalo de confiança dos coeficientes “e” e “f” do ajuste da curva de resistência do solo à penetração não inclui valor igual a zero, possibilitando afirmar que estes foram estatisticamente significativos ($p < 0,01$), como descrito por Blainski et al. (2009) e Blainski et al. (2012), exceto para o coeficiente f no T2. No entanto, o coeficiente “d” não foi significativo para nenhum dos tratamentos estudados, pois o intervalo de confiança deste parâmetro apresentou valor igual à zero.

QUADRO 3. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de resistência do solo à penetração ($RP = d\theta^e Ds^f$), com respectivos coeficientes de determinação (R^2), na camada de 0-0,15 m de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido a diferentes manejos de escarificação.

| Coeficientes | Valor estimado | Intervalo de confiança | | Valor estimado | Intervalo de confiança | |
|--------------|----------------|------------------------|----------|----------------|------------------------|----------|
| | | Li | Ls | | Li | Ls |
| | | T1 | | | T2 | |
| d | 0,00170 | -0,00103 | 0,00443 | 0,02157 | -0,01326 | 0,05639 |
| e | -4,34302 | -5,41980 | -3,26623 | -2,56253 | -3,62500 | -1,50007 |
| f | 4,46049 | 2,86467 | 6,05631 | 2,34013 | 0,07890 | 4,60136 |
| R^2 | 0,89** | | | 0,72** | | |
| | | T3 | | | T4 | |
| d | 0,01556 | -0,00775 | 0,03887 | 0,00321 | -0,00123 | 0,00766 |
| e | -3,07916 | -4,06247 | -2,09584 | -3,08517 | -3,91980 | -2,25053 |
| f | 1,98937 | 0,36425 | 3,61449 | 6,05603 | 4,73939 | 7,37266 |
| R^2 | 0,81** | | | 0,90** | | |
| | | T5 | | | | |
| d | 0,00161 | -0,00145 | 0,00467 | | | |
| e | -3,33928 | -4,65598 | -2,02258 | | | |
| f | 7,31273 | 5,39531 | 9,23014 | | | |
| R^2 | 0,86** | | | | | |

RP: resistência do solo à penetração (MPa); θ : teor de água no solo ($m^3 m^{-3}$); Ds: densidade do solo ($Mg m^{-3}$); Li e Ls: limite inferior e superior do intervalo de confiança 95%, respectivamente; **: significativo pelo teste “F” a 1%. T1: escarificador haste simples com escarificação a 0,15 m de profundidade; T2: escarificador haste simples com escarificação a 0,30 m de profundidade; T3: escarificador dupla ação com escarificação a 0,15 m de profundidade; T4: escarificador dupla ação com escarificação a 0,30 m de profundidade; T5: testemunha sem escarificação.

QUADRO 4. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de resistência do solo à penetração ($RP = d\theta^e Ds^f$), com respectivos coeficientes de determinação (R^2), na camada de 0,15-0,30 m de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido a diferentes manejos de escarificação.

| Coeficientes | Valor estimado | Intervalo de confiança | | Valor estimado | Intervalo de confiança | |
|--------------|----------------|------------------------|----------|----------------|------------------------|----------|
| | | Li | Ls | | Li | Ls |
| | | T1 | | | T2 | |
| d | 0,01437 | -0,01088 | 0,03962 | 0,01706 | -0,02038 | 0,05449 |
| e | -2,84494 | -4,21600 | -1,47388 | -2,89014 | -4,36811 | -1,41217 |
| f | 3,58243 | 1,07345 | 6,09141 | 2,47583 | -0,50001 | 5,45167 |
| R^2 | 0,73** | | | 0,67** | | |
| | | T3 | | | T4 | |
| d | 0,02236 | -0,02159 | 0,06631 | 0,01180 | -0,01069 | 0,03429 |
| e | -2,52449 | -3,84091 | -1,20807 | -3,12283 | -4,24492 | -2,00074 |
| f | 3,30797 | 0,77161 | 5,84434 | 3,25709 | 0,72803 | 5,78614 |
| R^2 | 0,65** | | | 0,76** | | |

Continua...

QUADRO 4. Continuação

| | T5 | | |
|----------------|----------|----------|----------|
| d | 0,02129 | -0,00284 | 0,04543 |
| e | -2,49792 | -3,25690 | -1,73894 |
| f | 2,98638 | 1,81782 | 4,15493 |
| R ² | 0,85** | | |

RP: resistência do solo à penetração (MPa); θ : teor de água no solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); Ds: densidade do solo (Mg m^{-3}); Li e Ls: limite inferior e superior do intervalo de confiança 95%, respectivamente; **: significativo pelo teste “F” a 1%. T1: escarificador haste simples com escarificação a 0,15 m de profundidade; T2: escarificador haste simples com escarificação a 0,30 m de profundidade; T3: escarificador dupla ação com escarificação a 0,15 m de profundidade; T4: escarificador dupla ação com escarificação a 0,30 m de profundidade; T5: testemunha sem escarificação.

Na Figura 3 são apresentadas as variações das tensões matriciais nos limites críticos correspondentes à capacidade de campo (0,01 MPa), à porosidade de aeração de $0,10 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$, ao ponto de murcha permanente (1,5 MPa) e à resistência do solo à penetração das raízes de 2,0 MPa, para cada valor de densidade do solo, nos tratamentos avaliados na profundidade de 0-0,15 m.

Verifica-se que os valores de θ_{cc} e θ_{pmp} nos limites críticos de potenciais de água no solo aumentaram de acordo com a Ds (Figura 3), de forma similar aos resultados de Tormena et al. (2007) e Severiano et al. (2008). Segundo Kertzman (1996), em Latossolos argilosos, a compactação ou o aumento da Ds afeta o espaço poroso interagregados, reduzindo o diâmetro dos poros maiores, de modo a se tornarem mais eficientes na retenção de água em elevados potenciais (θ_{cc}). Em baixos potenciais, a relação positiva entre θ_{pmp} e Ds deve-se à maior massa de partículas com elevada superfície de adsorção, uma vez que a compactação geralmente não afeta a microporosidade dentro dos agregados.

Analisando o IHO no solo escarificado com o cultivador haste simples (Figura 3A e 3B), nota-se que com o aumento da Ds, tanto no tratamento T1 quanto no T2 o limite superior dado pela capacidade de campo (0,01MPa) é substituído pela porosidade de aeração ($0,10 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$). De acordo com Araujo et al. (2004), quando o solo estiver na capacidade de campo, a difusão de oxigênio pode ser insatisfatória, acarretando condições físicas desfavoráveis para o crescimento das culturas. Em relação ao limite inferior, o tratamento T1 foi limitado pela θ_{RP} , diferentemente do tratamento T2 que tem seu limite inferior definido pela θ_{pmp} . Assim sendo, verifica-se que o escarificador haste simples operando a 0,30 m (T2) foi mais eficiente na melhoria dos atributos físicos do solo promovendo um maior IHO quando comparado com o mesmo escarificador operando a 0,15 m (T1).

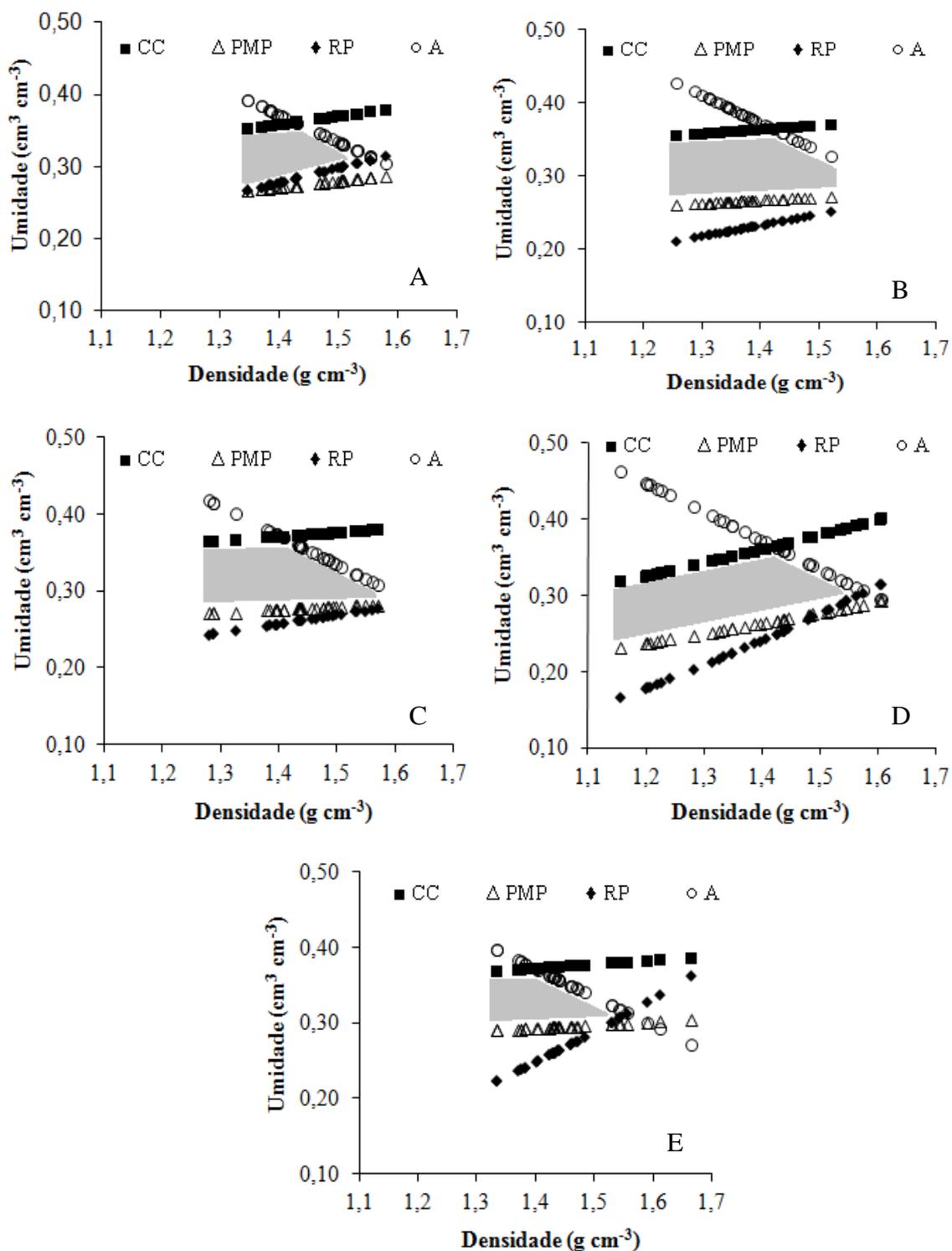


FIGURA 3. Intervalo hídrico ótimo na camada de 0-0,15 m em função de alterações na densidade de um Latossolo Vermelho distroférico escarificado com (A), escarificador haste simples com escarificação a 0,15 m de profundidade (B), escarificador haste simples com escarificação a 0,30 m de profundidade (C), escarificador haste dupla com escarificação a 0,15 m de profundidade (D), escarificador haste dupla com escarificação a 0,30 m de profundidade (E), testemunha sem escarificação. Áreas hachuradas correspondem ao intervalo hídrico ótimo (IHO).

Em relação ao cultivador dupla ação (T3 e T4), os valores de IHO são apresentados na Figura 3C e 3D. Os dois tratamentos (T3 e T4), apresentaram como limite inferior a umidade no θ_{mp} , o que demonstra a eficiência deste escarificador na redução da RP do solo. Para os dois tratamentos o IHO tem como limite superior a porosidade de aeração quando a densidade é superior a $1,4 \text{ g cm}^{-3}$. Estes resultados diferem dos encontrados por Cavalieri et al. (2011), que obtiveram como limite superior do IHO em um Latossolo Vermelho argiloso a θ_{cc} em toda a faixa de densidade.

Quando comparadas às profundidades de trabalho, observa-se que o uso dos escarificadores na profundidade de 0,30 m (T2 e T4) foi mais eficiente na melhoria da amplitude do IHO quando comparado com a profundidade de trabalho de 0,15 m (T1 e T3), demonstrando maior eficiência dos escarificadores nas melhorias das condições físicas quando trabalhados em maiores profundidades. Araujo et al. (2004), estudando as alterações na qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférico provocadas pela escarificação, verificaram que a escarificação a 0,30 m de profundidade promove benefícios na camada de 0-0,15 m principalmente em relação a porosidade de aeração.

O tratamento T5 apresentou valores mais baixos para o IHO comparado aos demais tratamentos, indicando a ocorrência de compactação do solo nas áreas sem escarificação. No T5 a θ_{PA} substitui a θ_{CC} como limite superior do IHO em valores mais baixos de Ds o que sugere a redução do volume de macroporos, que são efetivos na drenagem de água no solo em elevados potenciais. De acordo com Tormena et al. (2007), a maior ocorrência de valores de densidade do solo em que a $\theta_{PA} < \theta_{cc}$ sugere que há maior risco de as culturas sofrerem estresses por aeração em condições de elevada umidade do solo.

Os valores de IHO variaram de 0 a $0,085 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o tratamento T1; 0,055 a $0,096 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o T2; 0,030 a $0,095 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o T3; 0 a $0,097 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o T4 e 0 a $0,079 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o T5 na camada de 0-0,15 m (Figura 2). Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Cavalieri et al. (2006) que verificam valores de IHO de 0 a $0,094 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar submetido a colheita mecanizada.

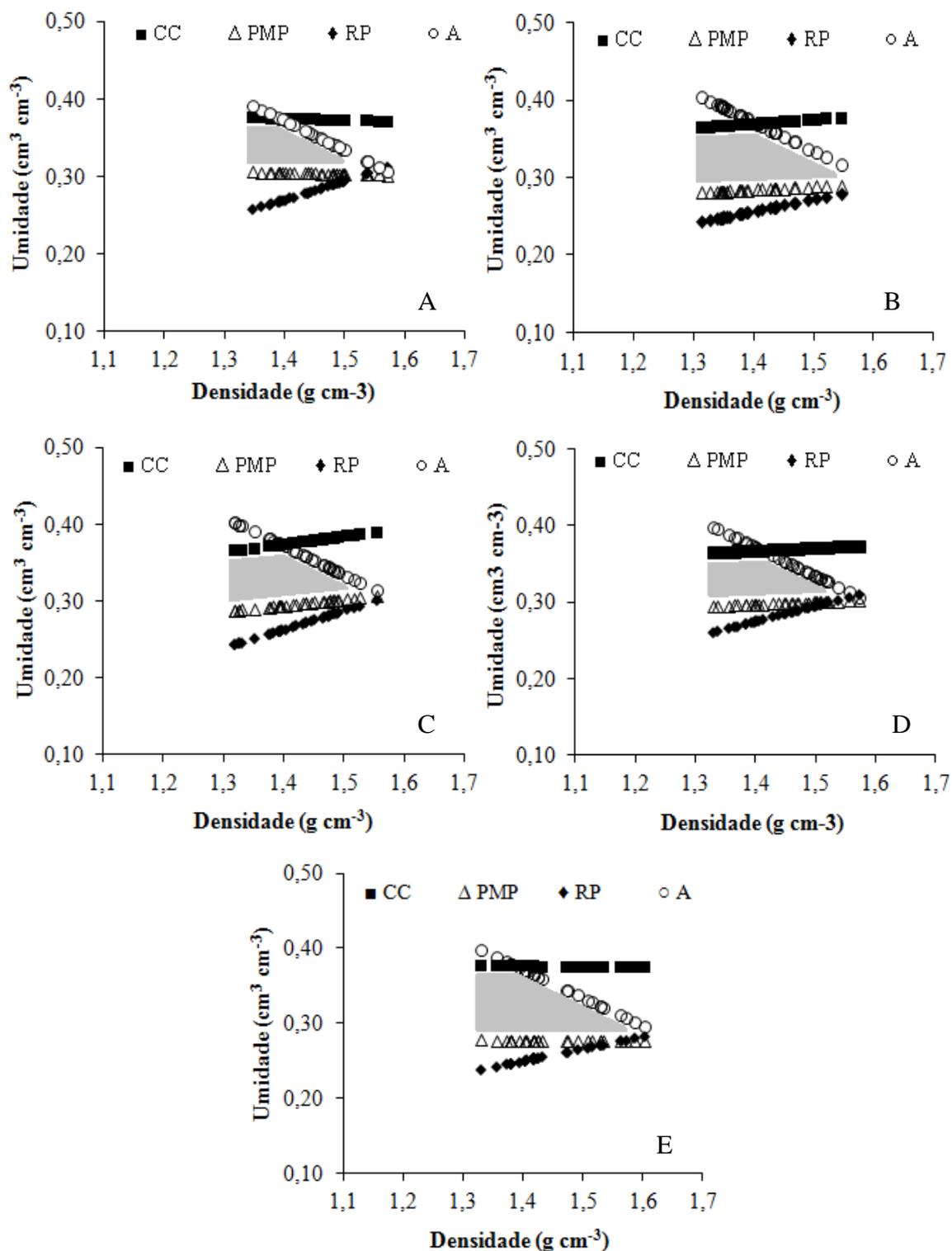


FIGURA 4. Intervalo hídrico ótimo na camada de 0,15-0,30 m em função de alterações na densidade de um Latossolo Vermelho distroférico escarificado com (A), escarificador haste simples com escarificação a 0,15 m de profundidade (B), escarificador haste simples com escarificação a 0,30 m de profundidade (C), escarificador haste dupla com escarificação a 0,15 m de profundidade (D), escarificador haste dupla com escarificação a 0,30 m de profundidade (E), testemunha sem escarificação. Áreas hachuradas correspondem ao intervalo hídrico ótimo (IHO).

O valor de D_s em que ocorre interseção dos limites, superior e inferior, ou seja, onde o IHO torna-se nulo, foi denominado por Silva et al. (1994) como sendo D_s crítica (D_{sc}). Avaliando a D_{sc} na profundidade de 0-0,15 m, verifica-se que os tratamentos T2 e T3 não atingiram valores de D_{sc} , no entanto, os tratamentos T1, T4 e T5 apresentaram valores de D_{sc} de 1,53, 1,60 e 1,54 g cm^{-3} respectivamente. De acordo com Blainski et al. (2009), valores de densidade do solo maiores que a densidade crítica ($D_s > D_{sc}$), promovem condições físicas altamente restritivas pela reduzida aeração ou pela excessiva resistência do solo a penetração. Assim, quanto maior a D_{sc} , menor será a probabilidade de a planta permanecer em condições de estresse (CALONEGO e ROSOLEM 2011). Dessa forma, nota-se que os tratamentos T2 e T3 que não apresentaram valores de D_{sc} e o T4 que apresentou valor de D_{sc} maior que o da testemunha (T5) foram os tratamentos mais eficientes na melhoria das condições físicas do solo para a camada de 0-0,15 m de profundidade.

Para a camada de 0,15-0,30 m (Figura 4), os tratamentos utilizando a escarificação promoveram uma amplitude do IHO menor do que na camada de 0-0,15 m, como também descrito por Cavalieri, et al. (2006). Araujo et al. (2004) avaliando as alterações na qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférico provocadas pela escarificação, observaram que a escarificação do solo promove efeitos benéficos na camada de 0-0,15 m principalmente em relação a porosidade de aeração, fato não observado para a camada de 0,15-0,30 m. Os tratamentos com escarificação tiveram como limite inferior a θ_{PMP} , diferente da testemunha sem escarificação que foi limitada pela θ_{RP} quando a densidade do solo foi superior a 1,56 g cm^{-3} .

Para o limite superior todos os tratamentos foram limitados pela θ_{cc} até valores de densidade próximos a 1,40 g cm^{-3} , a partir deste valor de densidade a θ_{PA} passou a limitar o IHO. Segundo Kaiser et al. (2009) quando o IHO passa a ser reduzido em seu limite superior pela θ_{PA} , indica que, os macroporos foram alterados pela compactação, os quais são os principais responsáveis pela aeração no solo, podendo limitar as trocas gasosas e prejudicar as plantas pela deficiência de oxigênio ou excesso de CO_2 .

Os limites inferiores do IHO, na profundidade de 0,15-0,30 m, foi a θ_{PMP} para os tratamentos T2, T3 e T4. Para os tratamentos T1 e T5 a θ_{PMP} limitou o IHO até valores de densidade de 1,48 e 1,57 g cm^{-3} respectivamente, após esses valores de D_s o limite inferior foi limitado pela θ_{RP} .

Em todos os tratamentos o teor de água disponível ($AD = \theta_{CC} - \theta_{PMP}$) foi maior que IHO em pelo menos algum valor de densidade do solo analisada, sendo a aeração o fator mais limitante ao adequado crescimento das plantas (Figura 4). A substituição de θ_{CC} pelo θ_{PA} como o limite superior do IHO é comum em solos argilosos, devido à baixa macroporosidade, como também relatado por Calonego e Rosolem (2011).

Os valores de IHO variaram de 0 a $0,070 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o tratamento T1; $0,027$ a $0,085 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o T2; 0 a $0,080 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o T3; 0 a $0,080 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o T4 e 0 a $0,099 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o T5 na camada de 0-15 -0,30 m (Figura 4). Verifica-se que os tratamentos com escarificação do solo promoveram valores de IHO menores que o da testemunha (Figura 4). Estes resultados concordam com os obtidos por Araujo et al. (2004) que verificaram que a escarificação reduziu o IHO na camada de 0,15-0,30 m em um Latossolo Vermelho distroférico, demonstrando não ser uma prática eficaz na melhoria da qualidade física nesta profundidade.

Quanto a Dsc para a camada de 0,15-0,30 m apenas o tratamento T2 não apresentou valores de Dsc. Para os demais tratamentos foram obtidos os valores de Dsc de 1,52; 1,47; 1,53 e 1,58 g cm^{-3} para T1; T3; T4 e T5 respectivamente. Estes valores indicam o limite crítico ao adequado crescimento e desenvolvimento das plantas (LIMA et al., 2012), enquanto valores acima indicam uma condição física altamente restritiva (TORMENA et al., 2007).

CONCLUSÕES

1. A escarificação do solo independente do equipamento e da profundidade de operações é eficiente na melhoria da qualidade física do solo, por aumentar o intervalo hídrico ótimo na camada de 0-0,15 m, exceto para o escarificador haste simples operando a 0,15 m.

2. Na camada de 0,15-0,30 m de profundidade não houve melhoria no intervalo hídrico ótimo nas áreas escarificadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAUJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distroférico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.337-345, 2004.
- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SILVA, A.P.; BARBOSA, J.C. Intervalo hídrico ótimo e produtividade de cultivares de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.639-645, 2006.
- BLAINSKI, E.; GONÇALVES, A.C.A.; TORMENA, C.A.; FOLEGATTI, M.V.; GUIMARÃES, R.M.L. Intervalo hídrico ótimo num Nitossolo Vermelho distroférico irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.273-281, 2009.
- BLAINSKI, E.; TORMENA, C.A.; GUIMARÃES, R.M.L.; NANNI, M.R. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto influenciada pela cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.79-87, 2012.
- BRADFORD, J.M. Penetrability. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.463-478.
- BUSSCHER, W.J. **Adjustment of that-tipped penetrometer resistance data to a common water content**. Transactions of the ASAE, v.33, p.519-524, 1990.
- 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, p.759-771, 2011.
- CARVALHO, L.C.; MEURER, I.; SILVA JUNIOR, C.A.; CAVALIERI, K.M.V.; SANTOS, C.F.B. 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.; TORMENA, C.A.; VIDIGAL FILHO, P.S.; GONÇALVES, A.C.A.; COSTA, A.C.S. Efeito de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distroférico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.137-147, 2006.
- CAVALIERI, K.M.V.; CARVALHO, L.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L.; TORMENA, C.A. Qualidade física de três solos sob colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1541-1549, 2011.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: 1997. 212p.
- GARBIATE, M.V.; VITORINO, A.C.T.; TOMASINI, B.A.; BERGAMIN, A.C.; PANACHUKI, E. Erosão em entre sulcos em área cultivada com cana crua e queimada sob colheita manual e mecanizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.2145-2155, 2011.

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

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

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

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

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, New York, v.1, n.1, p.277-297, 1985.

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

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, 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, p.911-917, 2004.

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

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

ROSS, P.J.; WILLIAMS, J.; BRISTOW, K.L. Equations for extending water-retention curves to drynees. **Soil Science Society of American Journal**, v.55, 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, p.844-851, 1996.

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

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

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

SILVA, A.P.; KAY, B.D. & PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range of soils. **Soil Science Society of American Journal**., 58:1775-1781, 1994.

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

STATSOFT. **Statistica** (data analysis software system) - version 8.0. Tulsa: StatSof, 2007.

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

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

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V.22, n.4, p.573-581, 1998.

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, p.211-219, 2007.

ARTIGO 3

CAPACIDADE DE SUPORTE DE CARGA DE LATOSSOLO ESCARIFICADO EM ÁREA DE COLHEITA MECANIZADA E SUAS RELAÇÕES COM A PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR.

RESUMO

O intenso tráfego de máquinas na colheita da cana-de-açúcar tem levado à degradação da qualidade física dos solos. A escarificação de soqueiras tem surgido como prática essencial para minimizar os impactos negativos da colheita sobre os atributos físicos do solo. Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito de diferentes escarificadores e profundidades de operação, na capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho distroférico e suas relações com a produtividade da cana-de-açúcar. O estudo foi realizado em área comercial da usina Monte Verde, no município de Ponta Porã, MS. O delineamento experimental foi de blocos casualizados com cinco repetições. Os tratamentos utilizados foram: T1: escarificador haste simples com escarificação a 0,15 m de profundidade; T2: escarificador haste simples com escarificação a 0,30 m de profundidade; T3: escarificador dupla ação com escarificação a 0,15 m de profundidade; T4: escarificador dupla ação com escarificação a 0,30 m de profundidade; T5: testemunha sem escarificação. Após um mês da implantação do experimento, foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada em cilindros metálicos nas profundidades de 0-0,15 e 0,15-0,30 m. As amostras foram retiradas a uma distância de 0,45 m da linha da soqueira, para determinação da curva de suporte de carga do solo. A escarificação do solo foi eficiente na melhoria da qualidade física do solo, proporcionando menor capacidade de suporte de carga na camada de 0-0,15 m, exceto quando se usou o escarificador de haste simples operando a 0,15m (T1). Na camada de 0,15-0,30 m de profundidade a escarificação não promoveu melhorias na qualidade física do solo. O escarificador dupla ação operando a 0,30 m de profundidade (T4) promoveu incremento na produção de cana-de-açúcar, em relação aos demais tratamentos.

Palavras-chave: *Saccharum sp*, pressão de preconsolidação; compressibilidade

LOAD BEARING CAPACITY OF OXISOL AFTER MECHANICAL SUGARCANE HARVESTING

ABSTRACT

The heavy machinery traffic in the process of harvesting the cane sugar has led to physical degradation of soils. In this sense, the scarification of brass knuckles has emerged as an essential practice for minimizing the impacts of harvesting on soil physical properties. The aim of this study was to evaluate the effect of different depths and scarifiers operating in load-bearing capacity of an Oxisol cultivated with sugar cane. The study was conducted in a commercial area of Monte Verde plant in the municipality of Ponta Porã, MS. The experimental design was a randomized block with five replications. The treatments were: T1: ripper shank Simple to 15 cm depth; T2: ripper shank Simple to 30 cm depth; T3: double action chisel at 15 cm depth; T4: double action chisel at 30 cm depth; T5 : control without scarification. One month after implantation of the experiment, samples were collected from undisturbed soil in metal cylinders at depths of 0-15 and 15-30 cm. Samples were taken at a distance of 0.45 meters from the line of stumps to determine the curve of load bearing soil. The soil scarification proved effective in improving soil physical quality, it has lower capacity load-bearing layer in the 0-0.15 m layer, except for the ripper shank simple operating at 0.15 m (T1). In the layer of 0.15-0.30 m deep scarification did not promote improvements in soil physical quality. The double action chisel operating at 0.30 m depth (T4) induced increase in the production of sugar cane in the other treatments.

Keywords: *Saccharum sp*, preconsolidation pressure, compressibility

INTRODUÇÃO

O intenso número de operações mecanizadas em lavouras de cana-de-açúcar pode resultar na compactação do solo, com efeitos prejudiciais sobre sua qualidade física (SOUSA et al., 2012). As operações de colheita são as que mais utilizam máquinas pesadas, conferindo ao solo elevadas pressões que favorecem a compactação, principalmente quando realizadas em condições inadequadas de umidade (OLIVEIRA et al., 2011).

As modificações que ocorrem na estrutura do solo, promovidas pela compactação são evidenciadas por alterações nos valores de vários atributos, como densidade do solo, resistência do solo à penetração, volume total de poros, porosidade de aeração, armazenagem e disponibilidade de água às plantas, dinâmica de água na superfície e no seu perfil, assim como na consistência e na máxima compactabilidade do solo (KLEIN et al., 1998).

Para contornar o problema da compactação em áreas de produção de cana-de-açúcar, atualmente vem sendo empregado a escarificação nas entrelinhas da cultura, consistindo num manejo pós-colheita de cana crua, com o objetivo de descompactação do solo. Avaliando o efeito da escarificação nos atributos físicos do solo Camilotti et al., (2005) verificaram que a escarificação das soqueiras de cana-de-açúcar aumenta a macroporosidade com conseqüente redução da microporosidade. No entanto, existem divergências quanto á sua realização, uma vez que ainda não se sabe o real benefício deste manejo para a cultura de cana-de-açúcar (PAULINO et al., 2004).

A pressão de preconsolidação do solo, propriedade obtida da curva de compressão, tem sido amplamente aceita como um indicativo de sua capacidade de suporte, uma vez que, a aplicação de pressões maiores que este valor pode provocar a compactação adicional ao solo (KONDO e DIAS JUNIOR, 1999). A caracterização do processo de compressão contribui para definir ações de manejo que evitem ou minimizem a degradação da qualidade física dos solos (LIMA et al., 2006). De acordo com Souza et al. (2012) a quantificação dos níveis de pressão suportados pelo solo contribui para o desenvolvimento sustentável do setor sucroalcooleiro, permite evitar a degradação estrutural dos solos e adaptar as atividades de forma condizente com as limitações dos ambientes de produção.

A avaliação da compressibilidade do solo e da sua capacidade de suporte de carga, sob diferentes condições de umidade e sob diversos sistemas de manejo, é de grande importância não só para determinar as pressões máximas que o solo pode suportar nessas condições, mas também para minimizar os riscos à degradação dos solos cultivados (SILVA et al., 2006).

Nesse sentido, objetivou-se com este trabalho estudar o efeito de diferentes escarificadores em duas profundidades de operação sobre a compressibilidade de um Latossolo Vermelho distroférico e suas relações com a produtividade da cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em área comercial da usina Monte Verde pertencente ao grupo Bunge, no município de Ponta Porã, MS, no ano agrícola 2011/2012. O local situa-se em latitude de 22° 14' 08" S, longitude de 54° 59' 13" W e altitude de 435 m. O clima é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen. Os dados relativos à temperatura média e à precipitação pluviométrica acumulada durante o período de execução do trabalho são apresentados na figura 1.

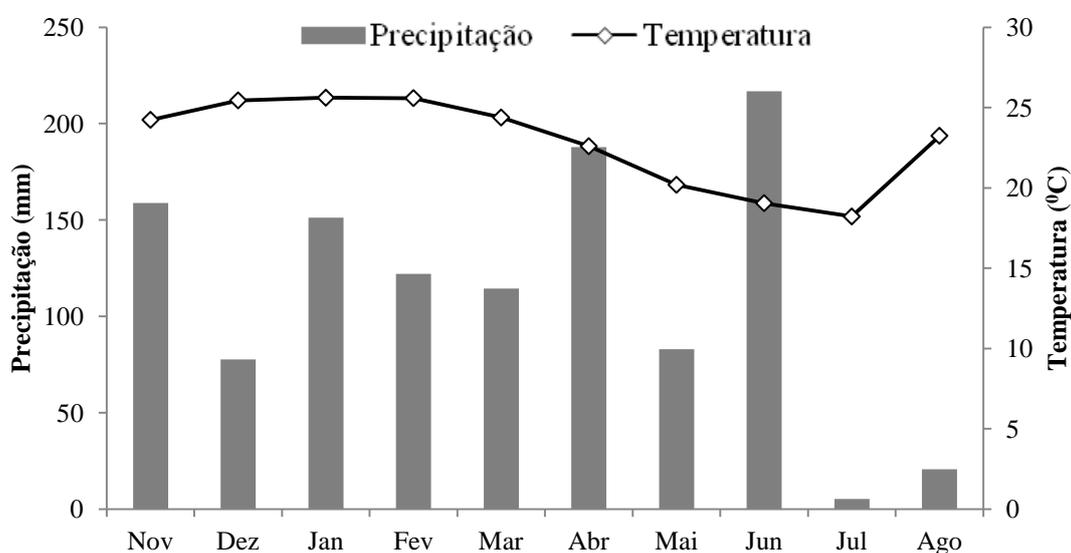


FIGURA 1. Precipitação pluviométrica acumulada e temperatura média durante o período experimental.

O solo na área do experimento foi um Latossolo Vermelho distroférico, cuja análise textural realizada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997) apresentou 499 g kg⁻¹ de argila, 197 g kg⁻¹ de silte e 304 g kg⁻¹ de areia. As características químicas foram: pH (H₂O) = 5,45; Ca²⁺ = 61,3 mmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 14,6 mmol_c dm⁻³; Al³⁺ = 0,0 mmol_c dm⁻³; H + Al = 25,7 mmol_c dm⁻³; P = 17,9 mg dm⁻³; K = 13,4 mmol_c dm⁻³; e MO = 32 g kg⁻¹ (EMBRAPA, 1997).

O delineamento experimental foi de blocos casualizados com cinco repetições, e os tratamentos foram cinco manejos de escarificação de soqueiras: T1: escarificador haste simples com escarificação a 0,15 m de profundidade; T2: escarificador haste simples com escarificação a 0,30 m de profundidade; T3:

escarificador dupla ação com escarificação a 0,15 m de profundidade; T4: escarificador dupla ação com escarificação a 0,30 m de profundidade; T5: testemunha sem escarificação. As parcelas mediam 15 m de comprimento e 9 m de largura, possuindo área total de 135 m².

O experimento foi instalado em área cultivada com a variedade RB83 5054 no espaçamento de 1,5 m entre linhas e que havia passado pelo terceiro corte de forma mecanizada. No momento da aplicação dos tratamentos a cana estava na fase de perfilhamento e o solo possuía um conteúdo de água na camada de 0-15 de 0,20 kg kg⁻¹ e na camada de 0,15-0,30 de 0,22 kg kg⁻¹, determinado conforme proposto em Embrapa (1997). Para a operação dos escarificadores foi utilizado um trator agrícola Agrale BX 6180, com rodado de pneus standard e pressão de inflação de 110,24 kPa para os pneus dianteiros e 137,8 kPa para os pneus traseiros.

A escarificação foi realizada no centro das entrelinhas, sendo utilizados para a operação o escarificador haste simples DMB, composto por duas hastes subsoladoras semi parabólicas com ponteiros aladas, dois discos de corte de 23” e dois rolos destorroadores (Figura 2-A) e o escarificador dupla ação DRIA, composto por duas hastes subsoladoras duplas semi parabólicas com ponteiros retas, dois discos de corte de 23” e dois rolos destorroadores (Figura 2-B).



FIGURA 2. Equipamentos utilizados para a prática da escarificação das soqueiras de cana-de-açúcar. A – Escarificador haste simples; B – Escarificador dupla ação.

Após um mês da implantação dos tratamentos, foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada em cilindros metálicos com 6,45 cm de diâmetro e 2,54 cm de altura nas profundidades de 0-0,15 e 0,15-0,30 m. As amostras foram retiradas a

uma distancia de 0,45 m da linha da soqueira. Em cada parcela e profundidade foram coletadas sete amostras, totalizando 70 amostras para cada tratamento (35 amostras x 2 profundidades).

Após o preparo das amostras, essas foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingir cerca de dois terços da altura do anel para posterior estabilização do teor de água. As 35 amostras de cada tratamento e profundidade foram divididas em sete grupos de cinco amostras, sendo cada grupo submetido aos seguintes potenciais matriciais: -0,006; -0,01; -0,033; -0,066; -0,1; -0,3 e -1,5 MPa, utilizando mesa de tensão (-0,006 MPa) e câmara de Richards para os demais potenciais, conforme Klute (1986).

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

A curva de compressão do solo foi obtida plotando-se as pressões aplicadas no eixo das abscissas versus a densidade do solo obtida ao final de cada estágio de aplicação de cada pressão, no eixo das ordenadas, sendo determinada a pressão de preconsolidação (σ_p) para cada amostra, utilizando-se o método proposto por Dias Junior e Pierce (1995). A seguir, as pressões de preconsolidação (σ_p) com os valores de umidade volumétrica (θ) foram ajustadas por meio do programa computacional Statistica 7.0 (STATSOFT, 2007), a uma regressão exponencial decrescente do tipo [$\sigma_p = 10(a+b\theta)$], proposto por Dias Junior (1994), determinando-se os modelos de capacidade de suporte de carga do solo (CSC). As letras “a” e “b” representam os parâmetros empíricos de ajuste do modelo, ou seja, o coeficiente linear e angular, respectivamente.

As comparações entre os modelos foram feitas utilizando o teste de homogeneidade de modelos lineares descrito em Snedecor e Cochran (1989). Para obtenção dos modelos lineares a partir do modelo exponencial [$\sigma_p = 10(a+b\theta)$], aplicou-se o logaritmo nos valores de pressão de preconsolidação, resultando em uma equação

do tipo $\log \sigma_p = a + b\theta$. O teste de homogeneidade de modelos lineares considera dois modelos, e estes são comparados pela análise do intercepto “a”, do coeficiente angular “b” e homogeneidade dos dados (F).

Para determinação da produtividade da cana-de-açúcar foi realizada a contagem do número de colmos presente em quatro metros das cinco linhas centrais de cada parcela. Posteriormente foram selecionados ao acaso 20 colmos que foram pesados para cálculo da produção de colmos em kg ha^{-1} ; além disso, foi determinado o diâmetro médio de colmo, sendo as leituras realizadas na região central dos colmos e a altura de colmo, medido do solo até o ponto de quebra da cana-de-açúcar.

Os resultados referentes à cultura foram submetidos à análise de variância e, quando significativa, foi aplicado o teste de SNK a 5%, para comparação de médias, utilizando o aplicativo computacional Assistat 7.6 (SILVA e AZEVEDO, 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de densidade do solo variaram de 1,34 a 1,46 Mg m⁻³, e os valores de macroporosidade no intervalo de 0,12 a 0,16 m³ m⁻³, não tendo sido encontrada diferença estatística entre os tratamentos estudados (Quadro 1).

QUADRO 1. Densidade (Ds) e macroporosidade (Macro) do solo nos tratamentos e profundidades avaliadas em um Latossolo Vermelho distroférico.

| Tratamentos ⁽¹⁾ | 0-0,15m | | 0,15-0,30m | |
|----------------------------|--------------------------|---|--------------------------|---|
| | Ds (Mg m ⁻³) | Macro (m ³ m ⁻³) | Ds (Mg m ⁻³) | Macro (m ³ m ⁻³) |
| T1 | 1,46 | 0,12 | 1,45 | 0,12 |
| T2 | 1,37 | 0,13 | 1,40 | 0,14 |
| T3 | 1,36 | 0,16 | 1,42 | 0,13 |
| T4 | 1,34 | 0,16 | 1,42 | 0,13 |
| T5 | 1,43 | 0,13 | 1,45 | 0,12 |
| F | 1,38 ^{ns} | 1,15 ^{ns} | 0,81 ^{ns} | 1,23 ^{ns} |
| CV% | 6,67 | 28,88 | 3,59 | 12,81 |

⁽¹⁾T1: escarificador haste simples com escarificação a 0,15 m de profundidade; T2: escarificador haste simples com escarificação a 0,30 m de profundidade; T3: escarificador dupla ação com escarificação a 0,15 m de profundidade; T4: escarificador dupla ação com escarificação a 0,30 m de profundidade; T5: testemunha sem escarificação.

Todas as curvas ajustadas dos modelos de CSC apresentaram coeficientes de determinação (R²) significativos a 1% pelo teste F (Quadro 2). O intervalo de confiança dos coeficientes do ajuste dos modelos de CSC não inclui o valor igual a zero, possibilitando afirmar que estes foram estatisticamente significativos (p<0,01) (Quadro 2), como descrito por Blainski et al. (2009) e Blainski et al. (2012).

A compressibilidade do solo foi distinta em relação as áreas cultivadas, o que pode ser comprovado pelos valores dos coeficientes de ajuste “a” e “b” das curvas ajustadas dos modelos de CSC. De acordo com Pacheco e Cantalice (2011), quando os modelos de CSC apresentam menor diferença entre os valores do coeficiente linear e angular, ocorre uma menor amplitude da σ_p durante as variações de umidade do solo ou menor inclinação das curvas dos modelos de CSC.

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

| Tratamentos | a | | | b | | | R^2 | n |
|-------------|----------------|------------------------|------|----------------|------------------------|-------|--------|----|
| | Valor estimado | Intervalo de confiança | | Valor estimado | Intervalo de confiança | | | |
| | | Li | Ls | | Li | Ls | | |
| 0-0,15 m | | | | | | | | |
| T1 | 3,37 | 3,30 | 3,45 | -1,85 | -2,08 | -1,62 | 0,89** | 35 |
| T2 | 3,47 | 3,32 | 3,62 | -2,73 | -3,22 | -2,23 | 0,81** | 35 |
| T3 | 3,38 | 3,26 | 3,50 | -2,52 | -2,92 | -2,12 | 0,85** | 35 |
| T4 | 3,34 | 3,23 | 3,44 | -2,41 | -2,78 | -2,03 | 0,86** | 35 |
| T5 | 3,26 | 3,19 | 3,33 | -1,72 | -1,95 | -1,49 | 0,89** | 35 |
| 0,15-0,30 m | | | | | | | | |
| T1 | 3,63 | 3,50 | 3,77 | -2,77 | -3,18 | -2,35 | 0,86** | 35 |
| T2 | 3,24 | 3,13 | 3,35 | -1,87 | -2,22 | -1,53 | 0,80** | 35 |
| T3 | 3,30 | 3,19 | 3,41 | -1,88 | -2,23 | -1,53 | 0,80** | 35 |
| T4 | 3,26 | 3,15 | 3,36 | -1,91 | -2,25 | -1,58 | 0,82** | 35 |
| T5 | 3,20 | 3,11 | 3,29 | -1,75 | -2,03 | -1,47 | 0,84** | 35 |

T1: escarificador haste simples com escarificação a 0,15 m de profundidade; T2: escarificador haste simples com escarificação a 0,30 m de profundidade; T3: escarificador dupla ação com escarificação a 0,15 m de profundidade; T4: escarificador dupla ação com escarificação a 0,30 m de profundidade; T5: testemunha sem escarificação; Li e Ls: limite inferior e superior do intervalo de confiança 95%, respectivamente; **: significativo pelo teste “F” a 1%.

Para avaliar as possíveis alterações na estrutura do solo causadas pelos diferentes manejos com escarificação, os modelos de CSC foram comparados utilizando o teste de homogeneidade de modelos lineares (SNEDECOR e COCHRAN, 1989) nas diferentes profundidades, dentro de cada tratamento (Quadro 3). Os modelos de CSC para as profundidades de 0-0,15 m e 0,15-0,30 m foram não homogêneos; em razão disso, essas profundidades apresentaram CSC diferentes (Quadro 3).

No Quadro 4 encontra-se o resumo da análise estatística de comparações dos modelos de CSC para os diferentes tratamentos, nas profundidades 0-0,15 e 0,15-0,30 m respectivamente. Os sistemas de manejo com escarificação de soqueiras interferiu significativamente nos modelos de CSC, com base no teste F de homogeneidade de dados de Snedecor & Cochran (1989), independente da profundidade estudada (Quadro 4).

QUADRO 3. Teste de significância de acordo com Snedecor e Cochran (1989) entre os modelos de capacidade de suporte de carga [$\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$] das profundidades de 0-0,15 e 0,15-0,30 m de um Latossolo Vermelho distroférico, para aos diferentes manejos de escarificação.

| Tratamentos | Profundidades (m) | F | F | F |
|-------------|---------------------|----|------------------------|-----------------------|
| | | | Coeficiente angular, b | Coeficiente linear, a |
| T1 | 0-0,15 vs 0,15-0,30 | NH | ns | ** |
| T2 | 0-0,15 vs 0,15-0,30 | NH | ns | * |
| T3 | 0-0,15 vs 0,15-0,30 | NH | ns | ** |
| T4 | 0-0,15 vs 0,15-0,30 | NH | ns | ns |
| T5 | 0-0,15 vs 0,15-0,30 | NH | ns | ** |

T1: escarificador haste simples com escarificação a 0,15 m de profundidade; T2: escarificador haste simples com escarificação a 0,30 m de profundidade; T3: escarificador dupla ação com escarificação a 0,15 m de profundidade; T4: escarificador dupla ação com escarificação a 0,30 m de profundidade; T5: testemunha sem 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 1 e 5 %, respectivamente.

QUADRO 4. Teste de significância de acordo com Snedecor e Cochran (1989) entre os modelos de capacidade de suporte de carga [$\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$] de um Latossolo Vermelho distroférico, nas profundidades de 0-0,15m e 0,15-0,30m para os diferentes manejos de escarificação.

| Tratamentos | F | F | F |
|-------------|----|------------------------|-----------------------|
| | | Coeficiente angular, b | Coeficiente linear, a |
| 0-0,15 m | | | |
| T1 vs T2 | NH | ns | ** |
| T1 vs T3 | NH | ns | ** |
| T1 vs T4 | NH | ns | ** |
| T1 vs T5 | NH | ns | * |
| T2 vs T3 | NH | ns | ns |
| T2 vs T4 | NH | ns | ns |
| T2 vs T5 | NH | ns | ** |
| T3 vs T4 | NH | ns | ns |
| T3 vs T5 | NH | ns | ** |
| T4 vs T5 | NH | ns | ** |
| 0,15-030 m | | | |
| T1 vs T2 | NH | * | ** |
| T1 vs T3 | NH | ns | ns |
| T1 vs T4 | NH | ns | ** |
| T1 vs T5 | NH | ns | ** |
| T2 vs T3 | NH | ns | * |

Continua...

QUADRO 4. Continuação

| | | | |
|----------|----|----|----|
| T2 vs T4 | NH | ns | ns |
| T2 vs T5 | NH | ns | ns |
| T3 vs T4 | NH | ns | ** |
| T3 vs T5 | NH | ns | ** |
| T4 vs T5 | NH | ns | ns |

T1: escarificador haste simples com escarificação a 0,15 m de profundidade; T2: escarificador haste simples com escarificação a 0,30 m de profundidade; T3: escarificador dupla ação com escarificação a 0,15 m de profundidade; T4: escarificador dupla ação com escarificação a 0,30 m de profundidade; T5: testemunha sem 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 1 e 5 %, respectivamente.

Em todos os modelos de CSC dos tratamentos estudados, observa-se que a σ_p variou significativa e inversamente com a θ (Figuras 4 e 5). Conforme relatado por Pacheco e Cantalice (2011), a σ_p torna-se menor à medida que o solo fica mais úmido, pois a água diminui a coesão entre as partículas sólidas, reduzindo o atrito entre elas, resultando em um decréscimo exponencial da σ_p com o aumento da umidade. Resultados semelhantes foram relatados por Severiano et al. (2010); Kondo & Dias Junior (1999); Silva et al. (2002) e Silva e Cabeda (2006).

De maneira geral, observa-se que a CSC do solo na profundidade de 0-0,15 m segue a ordem: escarificador haste simples a 0,15 m de profundidade (T1); testemunha (T5); escarificador haste simples a 0,30 m de profundidade (T2); escarificador dupla ação a 0,15 m de profundidade (T3) e escarificador dupla ação a 0,30 m de profundidade (T4) (Figura 3). Apesar de não ter sido encontrada diferença significativa nos valores de densidade do solo (Quadro 1), houve uma tendência a menores valores para esse atributo quando foi utilizado o cultivador dupla ação (T3 e T4). Dessa forma, a redução da CSC do solo nos tratamentos T3 e T4 pode ser atribuída aos menores valores de densidade do solo encontrados quando estes tratamentos foram aplicados.

O tratamento T1 foi o que apresentou os maiores valores de σ_p , maiores inclusive que os valores da testemunha sem escarificação (T5) (Figura 4). Segundo Pacheco & Cantalice (2011), a compactação do solo em áreas de produção de cana-de-açúcar, pode não estar sendo gerada apenas pela colheita, e sim pelas operações de tratos culturais, em que os pneus concentram as pressões nas entrelinhas, o que pode diminuir os efeitos benéficos da subsolagem. Dessa forma, pode-se afirmar que a escarificação com o cultivador haste simples a 0,15 m de profundidade (T1) não foi

suficiente para reduzir os impactos da compactação gerada pelo tráfego do trator no momento da escarificação, diferentemente dos demais tratamentos (T2; T3 e T4).

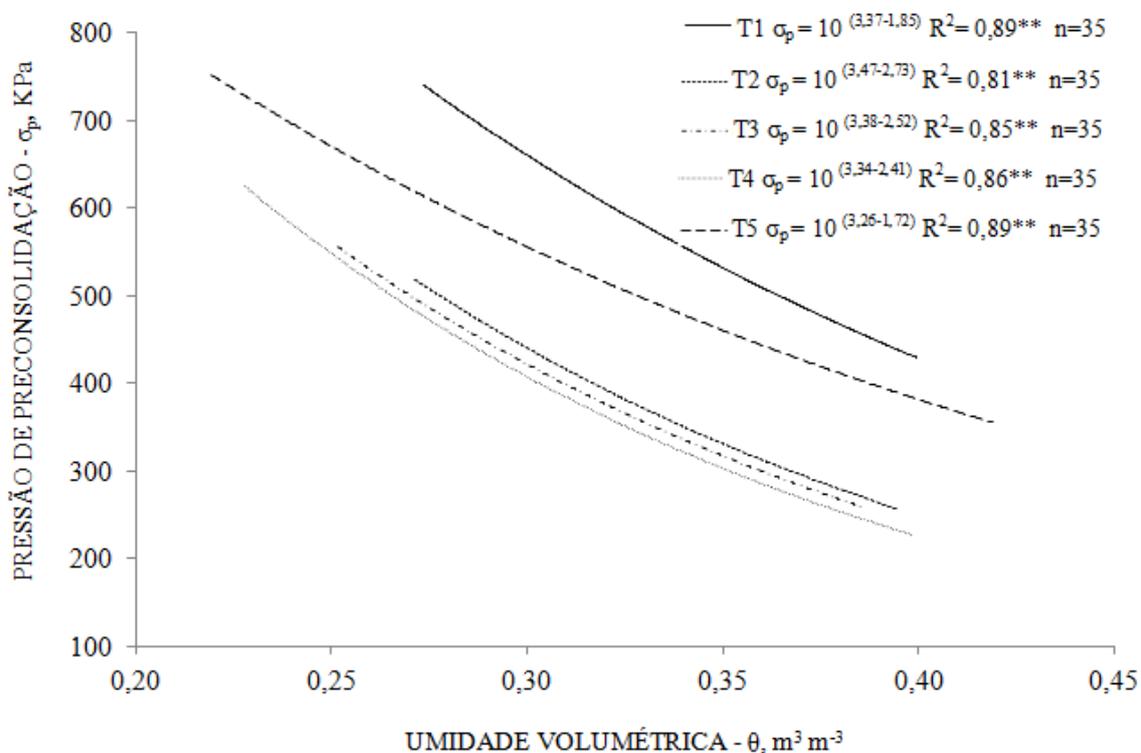


FIGURA 4. Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico, na profundidade de 0-0,15 m, nos tratamentos T1: escarificador haste simples com escarificação a 0,15 m de profundidade; T2: escarificador haste simples com escarificação a 0,30 m de profundidade; T3: escarificador dupla ação com escarificação a 0,15 m de profundidade; T4: escarificador dupla ação com escarificação a 0,30 m de profundidade; T5: testemunha sem escarificação.** Significativo a 1% pelo teste F.

A testemunha sem escarificação (T5) apresentou maior CSC em relação aos tratamentos com escarificação do solo (T2; T3 e T4), o que pode ser facilmente explicado devido a compactação gerada pelo intenso tráfego de máquinas na colheita da cana-de-açúcar como relatado por Souza et al. (2006); Tomasini et al. (2010); Roque et al. (2010); e Garbiate et al. (2011). De acordo com Rosa 2007, o elevado grau de compactação do solo, lhe atribui uma capacidade maior de suportar pressões mais elevadas, no entanto, tal condição pode levar a restrições ao desenvolvimento das plantas.

As menores CSC do solo ao longo de todo intervalo de umidade volumétrica foram obtidas nos tratamentos T4; T3 e T2 respectivamente, demonstrando

serem os manejos mais eficientes na redução dos efeitos da compactação do solo. Do ponto de vista prático, visando condições de sustentabilidade da estrutura do solo, o monitoramento da umidade do solo, na tentativa de realização das atividades mecanizadas em condição de umidade inferior à limitante, indicada no modelo de CSC é eficiente em reduzir o risco de compactação causado pelo tráfego de máquinas (SOUZA et al., 2012). Dessa forma, as operações mecanizadas realizadas em teor de água no solo abaixo do limitante observado pelo modelo de CSC, podem prolongar o efeito benéfico da escarificação na qualidade física dos solos.

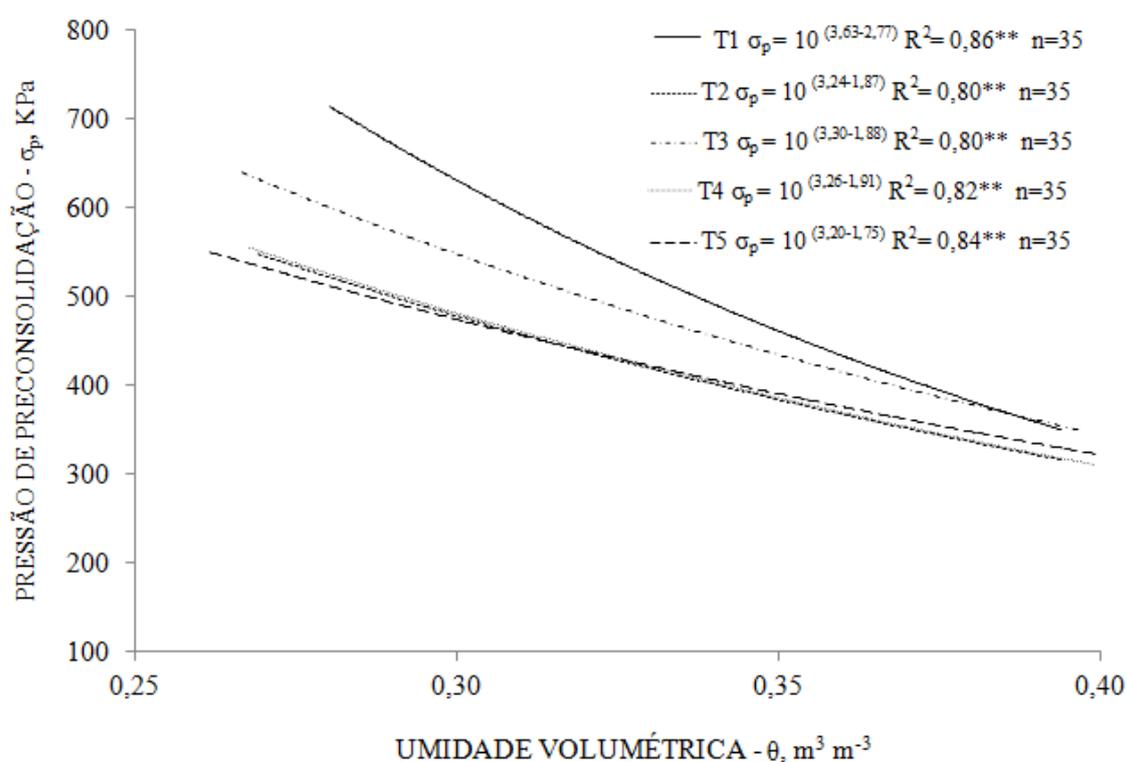


FIGURA 5. Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico, na profundidade de 0,15-0,30 m, nos tratamentos T1: escarificador haste simples com escarificação a 0,15 m de profundidade; T2: escarificador haste simples com escarificação a 0,30 m de profundidade; T3: escarificador dupla ação com escarificação a 0,15 m de profundidade; T4: escarificador dupla ação com escarificação a 0,30 m de profundidade; T5: testemunha sem escarificação. .** Significativo a 1% pelo teste F.

Na camada de 0,15-0,30 m os tratamentos T1 e T3 apresentaram os maiores valores de σ_p (Figura 5). Este resultado se deve a profundidade de operação dos

escarificadores nestes tratamentos que foi de 0,15 m de profundidade, dessa forma, seus efeitos ficaram restritos a camada mais superficial do solo. No entanto, estes tratamentos (T1 e T3) apresentaram valores de σ_p maiores que a testemunha (T5). Estes resultados podem ser explicados devido a baixa eficiência da escarificação na melhoria da qualidade física do solo quando realizada até a profundidade de 0,15 m de profundidade independentemente do equipamento utilizado, além disso, o rodado do trator pode ter gerado uma compactação adicional ao solo no momento da operação, que não foi suficientemente atenuada pelo efeito da escarificação. De acordo com Pacheco e Cantalice (2011), as operações de tratos culturais podem promover compactação adicional no solo, uma vez que, os pneus das máquinas concentram as pressões nas entrelinhas da cultura.

Os tratamentos com escarificação a 0,30 m de profundidade (T2 e T4), apresentaram resultados semelhantes para a CSC, demonstrando não haver diferença entre o efeito dos escarificadores na CSC nesta camada (Figura 5). Além disso, estes tratamentos foram semelhantes à testemunha sem escarificação, demonstrando que essa prática de manejo em soqueiras de cana-de-açúcar não apresenta benefícios na qualidade física do solo abaixo da camada de 0,15 m de profundidade. Resultados semelhantes foram relatados por Araujo et al. (2004), avaliando o efeito da escarificação da qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférico.

Os tratamentos com escarificação de soqueiras de cana-de-açúcar não promoveram diferenças significativas na altura de planta, colmos por ha e diâmetro de colmo, porém influenciaram na produtividade (Quadro 5). O tratamento T1 apresentou valor de produtividade menor que o valor da testemunha sem escarificação (T5). Provavelmente este fato deve-se a baixa eficiência deste tratamento na melhoria da qualidade física do solo, além da compactação adicional promovida por este tratamento.

O tratamento T4 foi o que proporcionou maior produtividade para cana-de-açúcar. Costa et al. (2007) avaliando a distribuição do sistema radicular de variedades de cana-de-açúcar verificaram maior desenvolvimento das raízes nos primeiros 0,18 m de profundidade, apresentando maior comprimento radicular nesta camada. Dessa forma, é possível que os melhores valores de produtividade encontrados no tratamento T4 sejam reflexo de melhor qualidade física proporcionada por este tratamento na camada de 0-0,15 m. Estes resultados concordam com os obtidos por Souza et al.

(2005), que encontraram maior produção de colmos em áreas submetidas a escarificação pós colheita mecanizada.

QUADRO 5. Altura de planta (AP), colmos por ha (Colmo/ha), diâmetro de colmo (DC) e produtividade (Prod) para os tratamentos avaliados.

| Tratamentos ⁽¹⁾ | Ap | Colmo/ha | Dc | Prod |
|----------------------------|--------|----------|---------|---------------------|
| | m | | mm | kg.ha ⁻¹ |
| T1 | 1,55 a | 92090 a | 20,27 a | 51913 c |
| T2 | 1,61 a | 104260 a | 20,3 a | 57582 b |
| T3 | 1,63 a | 99000 a | 20,63 a | 60778 b |
| T4 | 1,66 a | 108900 a | 20,46 a | 68838 a |
| T5 | 1,57 a | 95370 a | 20,7 a | 60335 b |
| CV% | 8,56 | 9,24 | 7,09 | 6,24 |

⁽¹⁾T1: escarificador haste simples a 0,15 m de profundidade; T2: escarificador haste simples a 0,30 m de profundidade; T3: escarificador dupla ação a 0,15 m de profundidade; T4: escarificador dupla ação a 0,30 m de profundidade; T5: testemunha sem escarificação. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste SNK a 5% de probabilidade.

Para os tratamentos T2 e T3 não foram encontradas diferenças significativas em comparação a testemunha sem escarificação (T5). Assim, pode-se inferir que tanto o escarificador haste simples operando a 0,30 m de profundidade (T2) quanto o escarificador dupla ação operando a 0,15 m de profundidade (T3) não são adequados para promover a redução da compactação do solo com conseqüente reflexo no aumento da produtividade.

Resultados semelhantes foram encontrados por Paulino et al. (2004), trabalhando com escarificação de soqueiras em um Latossolo Vermelho distroférico, não verificaram diferenças significativas na produção de soqueiras de cana-de-açúcar independentemente da profundidade de operação do escarificador.

CONCLUSÕES

1. O escarificador dupla ação operando a 0,30 m de profundidade promove menor capacidade de suporte de carga do solo na profundidade de 0-0,15 m, em relação aos demais manejos. A escarificação do solo não promoveu melhorias na qualidade física do solo na camada de 0,15-0,30 m de profundidade.

2. A escarificação do solo com o escarificador dupla ação operando a 0,30 m de profundidade proporciona aumento da produtividade da cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAUJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distroférico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.337-345, 2004.
- BLAINSKI, E.; GONÇALVES, A.C.A.; TORMENA, C.A.; FOLEGATTI, M.V.; GUIMARÃES, R.M.L. Intervalo hídrico ótimo num Nitossolo Vermelho distroférico irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.273-281, 2009.
- BLAINSKI, E.; TORMENA, C.A.; GUIMARÃES, R.M.L; NANNI, M.R. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto influenciada pela cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.79-87, 2012.
- BOWLES, J.E. **Engineering properties of soils and their measurements**. 3 ed. New York: McGraw-Hill, 1986. 218 p.
- 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, jan./abr. 2005.
- COSTA, M.C.G.; MAZZA, J.A.; VITTI, G.C.; JORGE, L.A.C. Distribuição radicular, estado nutricional e produção de colmos de açúcar em soqueiras de dois cultivares de cana-de-açúcar em solos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1503-1514, 2007.
- DIAS JUNIOR, M.S. **Compression of three soils under longterm tillage and wheel traffic**. 1994. 114 f. Tese (Doctored Crop and Soil Science) - Michigan State University, East Lansing-MI.
- DIAS JUNIOR, M.S.; PIERCE, F.J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. **Soil Technology**, v.8, p.139-151, 1995.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2 ed. Rio de Janeiro: 1997. 212 p.
- GARBIATE, M.V.; VITORINO, A.C.T.; TOMASINI, B.A.; BERGAMIN, A.C.; PANACHUKI, E. Erosão em entre sulcos em área cultivada com cana crua e queimada sob colheita manual e mecanizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.2145-2155, 2011.
- KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L.; SILVA, A. P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. **Engenharia Agrícola**, v.18, p.45-54, 1998.

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

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

LIMA, C.L.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S. Compressibilidade de um Argissolo sob plantio direto escarificado e compactado. **Ciência Rural**, v.36, n.6, 2006.

OLIVEIRA, V.S.; ROLIM, M.M.; COSTA, Y.D.J.; PEDROSA, E.M.R.; SILVA, E.F.F. Compressibilidade de um Argissolo Amarelo distrocoeso submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.5, p.435–442, 2011.

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, 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, p.911-917, 2004.

ROQUE, A.A.O.; SOUZA, Z.M.; BARBAOSA, R.S.; SOUZA, G.S. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.7, p.744-750, jul. 2010.

ROSA, D.P. **Comportamento dinâmico e mecânico do solo sob níveis diferentes de escarificação e compactação**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2007, 122 p. (Dissertação de Mestrado).

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 as funções edáficas do solo em decorrência da compactação prejudicial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.3, p.414-423, maio/jun. 2010.

SILVA, F.A.S.; AZEVEDO, C.A.V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.4, p.71-78, 2002.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arenico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. II Grau de saturação em água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:9-15, 2002.

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

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; CARVALHO, F. G. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.579-585, 2006.

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

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

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

STATSOFT. **Statistica (data analysis software system)** - version 8.0. Tulsa: StatSof, 2007.

TAYLOR, D.W. **Fundamentals of soil mechanics**. New York: J. Wiley, 1948. 700 p.

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

CONCLUSÕES GERAIS

1. A estabilidade de agregados, densidade e porosidade do solo não são influenciados pela escarificação após a colheita mecanizada de cana-de-açúcar. O escarificador dupla ação operando a 0,30 m de profundidade promove menores valores de resistência a penetração.

2. A escarificação do solo após a colheita mecanizada da cana-de-açúcar promove melhoria na qualidade física do solo na camada de 0-0,15 m de profundidade, pois aumenta a disponibilidade hídrica nesta camada, exceto para o escarificador haste simples operando a 0,15 m de profundidade. Enquanto na camada de 0,15-0,30 m a escarificação não proporciona melhoria do IHO.

3. O uso do escarificador dupla ação operando a 0,30m de profundidade reduz a capacidade de suporte de carga do solo na camada de 0-0,15m, o que refleti em aumento da produtividade da soqueira da cana-de-açúcar nas áreas manejadas com este escarificador. Na camada de 0,15-0,30 m não houve influência da escarificação na capacidade de suporte de carga do solo.