



ARTIGO ORIGINAL

Marcos Vinícios Garbiate¹
Antonio Carlos Tadeu Vitorino¹
Munir Mauad^{1*}
Anderson Cristian Bergamin²

¹Universidade Federal da Grande
Dourados – UFGD, 79825-900, Dourados. MS,
Brasil

²Universidade Federal de Rondônia – UNIR,
78987-000, Rolim de Moura, RO, Brasil

Autor Correspondente:

*E-mail: munirmauad@ufgd.edu.br

PALAVRAS-CHAVE

Saccharum sp
compactação
resistência do solo à penetração

KEYWORDS

Saccharum sp
compression
resistance to penetration

Atributos físicos de Latossolo escarificado em área cultivada com cana-de-açúcar

Physical attributes of a chiseled Oxisol in a sugar cane production area

RESUMO: 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. Objetivou-se avaliar o efeito de diferentes escarificadores e profundidades de operação sobre atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférico cultivado com cana-de-açúcar. Foram avaliadas 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: controle, sem escarificação. A escarificação das entrelinhas de soqueira de cana-de-açúcar não altera a estabilidade de agregados, porosidade e densidade do solo. 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. O uso do escarificador de dupla ação operando a 0,15 m e 0,30 m de profundidade proporcionou os menores valores de resistência do solo à penetração em relação à distância de 0,30 m a 0,60 m da soqueira da cana-de-açúcar.

ABSTRACT: Intensive soil cultivation and traffic of machinery and heavy implements in sugar cane cropping may result in soil physical degradation, mainly due to increasing compaction. This study had the objective of evaluating the effect of different chisel plowing and working depths on the physical attributes of an Oxisol cultivated with sugar cane. The study was carried out in 'Usina Monte Verde', in the municipality of Ponta Porã, Mato Grosso do Sul state, Brazil. The experiment was conducted in a completely randomized block design with five replications. Treatments were as follows: T1: single ripper chisel plow working at 0.15 m depth; T2: single ripper chisel plow working at 0.30 m depth; T3: double ripper chisel plow working at 0.15 m depth; T4: double ripper chisel plow working at 0.30 m depth; and T5: control (no chiseling). Chiseling in the inter rows of ratoon crop does not influence porosity, bulk density and aggregate stability of the soil. The use of a double-action chisel at the depth of 0.30 m was more effective to reduce soil resistance to penetration. The use of a double-action chisel working at the depths of 0.15 m and 0.30 m resulted in lower soil resistance to penetration values for points distant 0.30 and 0.60 m from the ratoon row.

1 Introdução

A agricultura com utilização de máquinas e equipamentos cada vez maiores e mais pesados tem sido comum em diversos sistemas de cultivos pelo mundo. Na cultura da cana-de-açúcar no Brasil, isto não tem sido diferente, as novas técnicas desde o plantio até a colheita utilizam, cada vez mais, mecanização intensa das áreas produtivas.

Em estudos com compactação induzida por tráfego de maquinários, Bergamin et al. (2010) relatam que 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). A compactação do solo pode ainda induzir alterações na absorção e concentração de nutrientes nas plantas e, em consequência, em seu desenvolvimento (Fagundes et al., 2014).

O efeito da mecanização sobre atributos físicos do solo, por muito tempo, vem sendo estudado a partir de avaliações da porosidade, densidade do solo, retenção de água, aeração, resistência à penetração (Souza et al., 2004; Souza et al., 2006; Cavalieri et al., 2009; Carvalho et al., 2011; Silva Junior et al., 2013). Outros trabalhos também têm sido realizados para avaliar efeitos da mecanização na qualidade física do solo, usando práticas de avaliação diferentes das relatadas anteriormente, que estão normalmente relacionadas com a predição de carga (Severiano et al., 2008; Araujo-Junior et al., 2011).

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 consequente redução da densidade, reduzindo, dessa forma, o problema da compactação.

Assim, a avaliação dos efeitos promovidos pelo escarificador em amenizar os problemas causados pela mecanização pode definir práticas de manejo que favoreçam o adequado crescimento e desenvolvimento da cultura, em função de melhor qualidade física do solo. O objetivo foi avaliar o efeito de diferentes escarificadores e profundidades de operação sobre alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférico cultivado com cana-de-açúcar.

2 Material e Métodos

O trabalho foi realizado no ano agrícola de 2011/2012 em área comercial da usina Monte Verde pertencente ao grupo Bunge, no município de Ponta Porã, MS, situado a 22° 14' 08" S, longitude de 54° 59' 13" W a 434 m de altitude. O clima da região, conforme a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, que se caracteriza como mesotérmico úmido com verão chuvoso.

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 solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico (Embrapa, 2013), cuja composição granulométrica determinada pelo método da pipeta apresentou os seguintes valores: 498,7 g kg⁻¹ de argila, 197,6 g kg⁻¹ de silte e 303,7 g kg⁻¹ de areia (Embrapa, 2011). A análise química revelou os seguintes atributos: 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 (2011).

O experimento foi instalado em área cultivada com cana soca (3º corte) de variedade RB 835054 no espaçamento de 1,5 m entre linhas, sendo que todas as colheitas foram efetuada de maneira 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 0-0,15 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 (2011).

A escarificação foi realizada no centro das entrelinhas, sendo utilizados para a operação: o escarificador haste simples DMB (800 mm), composto por duas hastes subsoladoras semiparabólicas com ponteiras aladas, dois discos de corte de 23" e dois rolos destorroadores; e o escarificador dupla ação DRIA, composto por duas hastes subsoladoras duplas (800 mm) semiparabólicas com ponteiras retas, dois discos de corte de 23" e dois rolos destorroadores.

Depois 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 em trincheiras abertas em cada parcela, 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.

Depois do preparo das amostras, estas 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 (2011). Posteriormente foram determinadas a densidade do solo pelo método do anel volumétrico e a porosidade (total, macroporosidade e microporosidade) como proposto em Embrapa (2011).

Depois 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 unidade gravimétrica do solo como proposto em Embrapa (2011).

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. Para tanto, foram construídos semivariogramas, partindo das pressuposições de estacionaridade da hipótese intrínseca, do cálculo da função semivariância e ajustes dos modelos teóricos (Vieira, 2000). No ajuste do semivariograma, foi observado o maior valor do coeficiente de determinação (R^2), menor valor da soma de quadrados dos desvios (RSS) e maior valor do avaliador dependência espacial (ADE). Os semivariogramas forneceram estimativas dos parâmetros: efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C$) e alcance. O semivariograma apresenta efeito pepita puro quando a semivariância for igual para todos os valores de h . À medida que h aumenta, a semivariância também aumenta até um valor máximo no qual se estabiliza. A análise da dependência espacial (ADE) foi efetuada segundo metodologia descrita por Landim (1998). Em seguida à modelagem dos semivariogramas, foi realizada a interpolação por “krigagem” ordinária para a estimativa de valores em locais não amostrados.

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 versão 5.3 (Ferreira, 2003).

3 Resultados e Discussão

A macroporosidade e a densidade do solo não foram alteradas ($p > 0,05$) pelo tipo de escarificador e a profundidade de escarificação (Tabela 1). Avaliando os efeitos da escarificação nas propriedades físicas de Latossolo Vermelho Distroférico de textura arenosa, cultivado com cana-de-açúcar a mais de 15 anos, em área de cana queimada com colheita manual e transporte da cana colhida por trator e caminhão, também não verificaram diferença nos valores de porosidade

total na profundidade de 0,30 m, após a colheita de cana-de-açúcar.

Não houve diferenças ($p > 0,05$) para os teores de umidade do solo entre os tratamentos (Tabela 2). Esse fato é importante na comparação de valores de resistência à penetração, pois variação nesses teores interfere fortemente nos resultados dos valores de resistência do solo à penetração (Colet et al., 2009). No tratamento controle (T5), ocorreram maiores valores de RP, a partir dos 0,30 m da linha da soqueira, fato que pode ser explicado pelo maior tráfego de máquinas ocorrido nessa região (Figura 1).

A escarificação diminuiu sua eficiência em reduzir a resistência à penetração na medida em que se afasta do local de passagem da haste. Assim, geralmente não foram observadas diferenças ($p > 0,05$) nos valores de resistência à penetração na distância de 0,15 m da linha de plantio (Figura 1a e 1b). Isso demonstra que o efeito da escarificação nas entrelinhas de soqueiras, independentemente do equipamento, fica mais restrito a região em que as hastes passaram, diminuindo com a distância. 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 em que a escarificação foi realizada a 0,30 m de profundidade (T2 e T4) promoverão redução da RP até os 0,20 m de profundidade, sendo este efeito observado até a distância de 0,30 m da soqueira (Figura 1c).

O escarificador de dupla ação, independentemente da profundidade de operação, promoveu menores valores de RP

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

Table 1. Bulk density (Ds), macroporosity (Macro) and microporosity (Micro), and total porosity (PT) in the treatments and depths evaluated in a Dystroferic Red Latosol.

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

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽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.

Tabela 2. Umidade gravimétrica nos tratamentos e profundidades avaliadas em um Latossolo Vermelho distroférrico.
Table 2. Gravimetric moisture contents in the treatments and depths evaluated in a Dystroferic Red Latosol.

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 a	0,17 a	0,17 a
T2	0,17 a	0,17 a	0,18 a
T3	0,16 a	0,17 a	0,17 a
T4	0,17 a	0,17 a	0,17 a
T5	0,17 a	0,18 a	0,18 a
CV%	7,46	8,54	11,36

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽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.

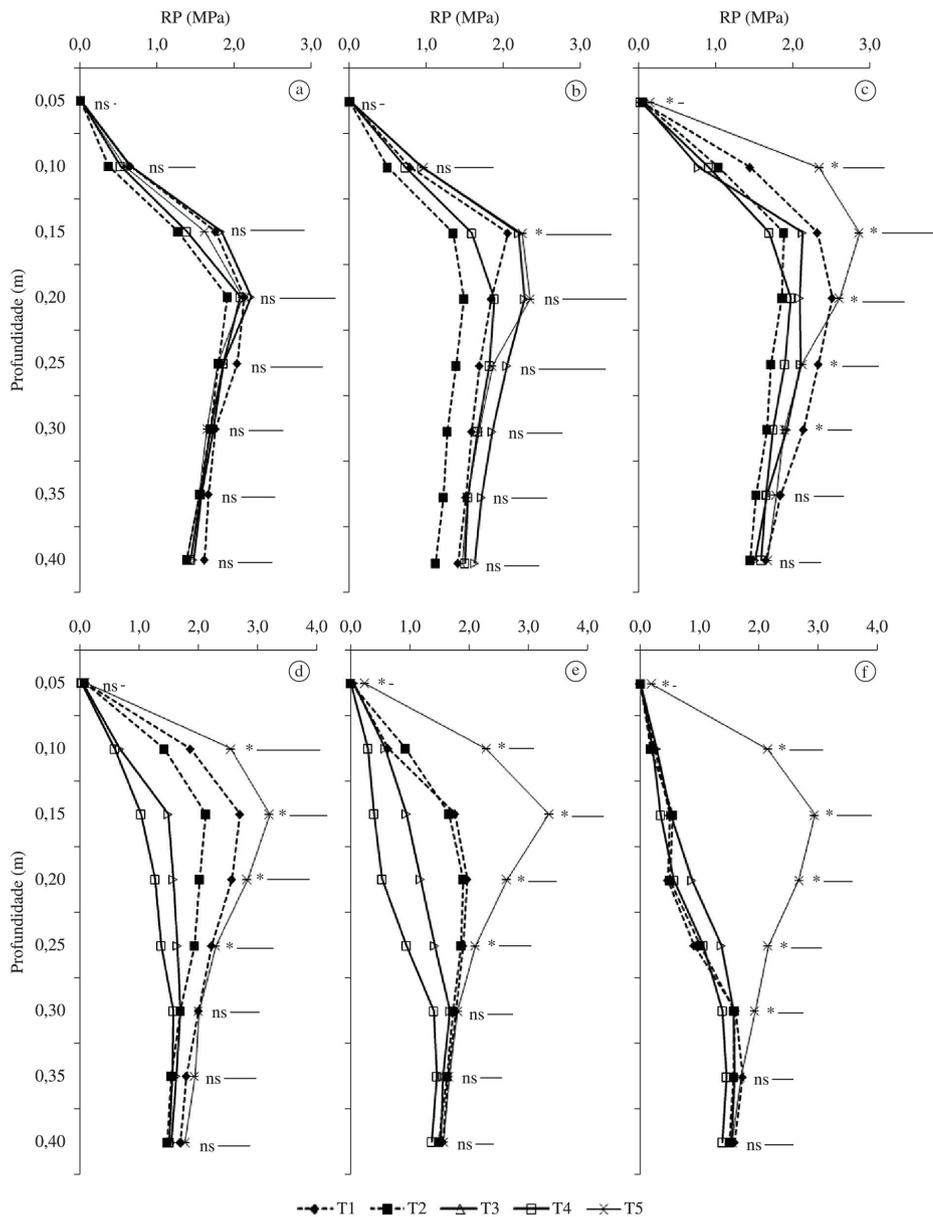


Figura 1. Resistência do solo à penetração até a profundidade de 0,40 m a 0,0 m (a); 0,15 m (b); 0,30 m (c); 0,45 m (d), 0,60 m (e) e 0,75 m (f) da linha da soqueira.

Figure 1. Resistance to penetration until the depths of 0.40 m to 0.0 m (A); 0.15 m (B); 0.30 m (C); 0.45 m (D), 0.60 m (E) and 0.75 m (F) of the ratoon line.

($p < 0,05$), quando comparado com o cultivador haste simples (Figura 1d e 1e). Este fato pode ser explicado pela diferença existente entre as ponteiros das hastes destes equipamentos, uma vez que o escarificador de dupla ação, por possuir maior ângulo de ataque da ponteira, promove maior movimentação do solo que o escarificador de haste simples que tem menor ângulo de ataque da ponteira, conferindo 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 maior área de solo mobilizado.

Quando avaliada a RP a 0,75 m da linha de plantio, ou seja, no meio das entrelinhas, local de passagem das hastes (Figura 1f), verifica-se que tanto os escarificadores regulados para operar a 0,30 m de profundidade (T2 e T4) como os regulados para operar a 0,15 m (T1 e T3) de profundidade apresentaram resultados semelhantes, reduzindo a RP até

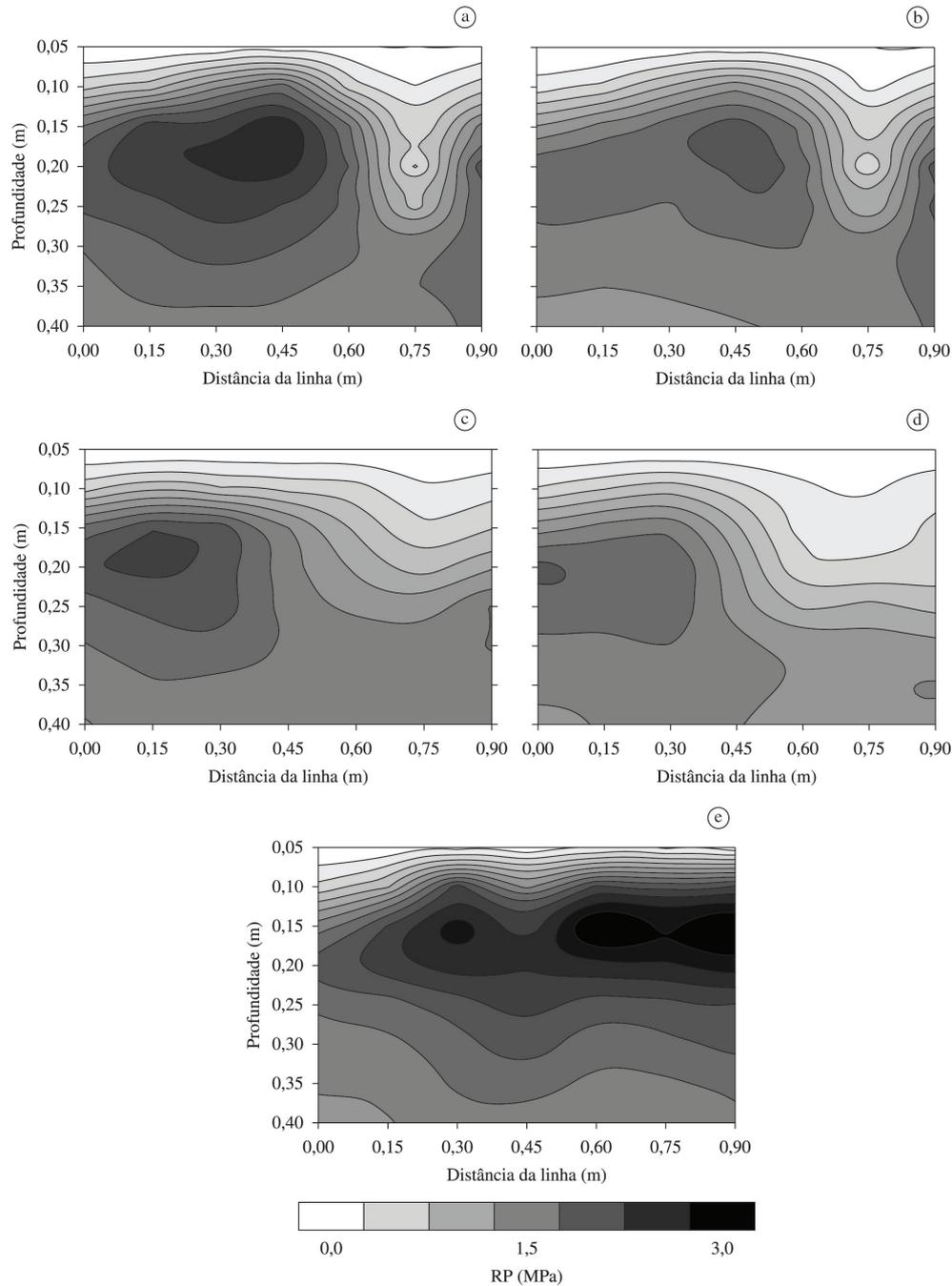


Figura 2. Resistência do solo à penetração no perfil de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar nos manejos: (a) escarificador haste simples com escarificação a 0,15 m de profundidade; (b) escarificador haste simples com escarificação a 0,30 m de profundidade; (c) escarificador dupla ação com escarificação a 0,15 m de profundidade; (d) escarificador haste dupla com escarificação a 0,30 m de profundidade; (e) testemunha sem escarificação.

Figure 2. Resistance to penetration in a Latosol profile cultivated with sugarcane under the following management systems: (A) single chisel plow to 0.15 m depth; (B) single chisel plow to 0.30 m depth; (C) double action chisel plow to 0.15 m depth; (D) double action chisel plow 0.30 m depth; (E) no plowing (control).

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. Avaliando o efeito de escarificador em sistemas de cultivo, Rosa et al. (2011) verificaram que, ao invés de ocorrer compactação abaixo da camada escarificada, houve mobilização do solo pela ponteira do subsolador resultando em menor resistência mecânica à penetração dessa camada de solo.

Nas áreas em que foi utilizado o escarificador haste simples (Figura 2a e 2b), verifica-se que este equipamento promoveu menor mobilização do solo, apresentando áreas com maiores valores de RP, quando comparado ao cultivador haste dupla (Figura 2c e 2d).

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, valor considerado alto para Latossolos de acordo com Silva et al. (2000), diferindo do tratamento T2 que apresentou valores máximos de RP não ultrapassando os 2,5 MPa. 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). Gamero (2008), avaliando o desempenho operacional de um subsolador operando a diferentes profundidades de trabalho em um Nitossolo Vermelho Distroférico de textura argilosa cultivado há mais de 10 anos em sistema de plantio direto, 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 maior mobilização no perfil do solo.

Analisando a RP nos tratamentos T3 e T4, é possível observar uma grande área de solo mobilizada pelo escarificador de dupla ação (Figura 2c e 2d), com conseqüente redução dos valores de RP. Em relação à profundidade de operação, foram encontrados resultados semelhantes ao escarificador de haste simples, sendo que, na profundidade de operação de 0,30 m (T4), houve maior área de solo mobilizada em comparação à operação a 0,15 m de profundidade. Assim sendo, o escarificador de 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.

Observa-se a presença de uma área compactada entre as profundidades de 0,10 a 0,20 m de profundidade (Figura 2e). 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. Apesar de os 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, estando, portanto, acima do valor de RP considerado por Tormena et al. (1998) como prejudicial ao desenvolvimento do sistema radicular.

4 Conclusões

A escarificação das entrelinhas de soqueira de cana-de-açúcar não altera a estabilidade de agregados, porosidade e densidade do solo. 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. O uso do escarificador de dupla ação operando a 0,15 m e 0,30 m de profundidade proporcionou os menores valores de resistência do solo à penetração em relação à distância de 0,30 m a 0,60 m da soqueira da cana-de-açúcar.

Referências

- ARAUJO-JUNIOR, C. F.; DIAS JUNIOR, M. S.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALCÂNTARA, E. N. Capacidade de suporte de carga e umidade crítica de um latossolo induzida por diferentes manejos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 1, p. 115-131, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000100011>
- 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, n. 3, p. 681-691, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000300009>
- 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, 2008.
- CARVALHO, L. A.; MEURER, I.; SILVA JUNIOR, C. A.; CAVALIERI, K. M. V.; SANTOS, C. F. S. Dependência espacial dos atributos físicos de três classes de solos cultivados com cana-de-açúcar sob colheita mecanizada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 9, p. 940-949, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000900010>
- CAVALIERI, K. M. V.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; LEÃO, T. P.; DEXTER, A. R.; HÅKANSSON, I. Long-term effects of no-tillage on dynamic soil physical properties in a Rhodic Ferrasol in Paraná, Brazil. *Soil & Tillage Research*, v. 103, n. 1, p. 158-164, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2008.10.014>
- 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*, v. 33, n. 2, p. 361-368, 2009.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. p. 230.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3. ed. Brasília, 2013. p. 353.
- FAGUNDES, E. A. A.; SILVA, T. J. A.; BONFIM-SILVA, E. M. Desenvolvimento inicial de variedades de cana-de-açúcar em Latossolo submetidas a níveis de compactação do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 2, p. 188-193, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662014000200009>
- FERREIRA, D. F. *Sisvar*. Lavras: DEX, UFLA, 2003.
- 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. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia na Agricultura)-Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2008.
- MACHADO, A. L. T.; CHANG, C. Influência da geometria no desempenho de ponteiros aladas de escarificadores. *Revista Brasileira de Agrociência*, v. 2, n. 1, p. 11-16, 1996.
- LANDIM, P. M. B. *Análise estatística de dados geológicos*. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1998. 226 p. (Ciência e Tecnologia).
- PAULINO, A. F.; MEDINA, C. C.; AZEVEDO, M. C. B.; SILVEIRA, K. R. P.; TREVISAN, A. A.; MURATA, I. M. Escarificação de um Latossolo Vermelho na pós-colheita de soqueira de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 5, p. 911-917, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000500013>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011001100014>
- SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JÚNIOR, M. S.; OLIVEIRA, L. F. C.; CASTRO, M. B. Pressão de preconsolidação e intervalo hídrico ótimo como indicadores de alterações estruturais do solo em decorrência das operações de colheita da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 4, p. 1419-1427, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000400006>
- SILVA, M. L. N.; CURI, N.; BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 35, n. 12, p. 2485-2492, 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2000001200019>
- SILVA JUNIOR, C. A.; CARVALHO, L. A.; CENTURION, J. F.; OLIVEIRA, E. C. A. Comportamento da Cana-de-açúcar em duas sagras e atributos físicos do solo, sob diferentes tipos de preparo. *Bioscience Journal*, v. 29, n. 5, p. 1489-1500, 2013.
- SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MOREIRA, L. F. Influência da pedofoma na variabilidade espacial de alguns atributos físicos e hídricos de um Latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Irriga*, v. 9, n. 1, p. 1-11, 2004.
- 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 a penetração e do teor de água do solo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, v. 36, n. 1, p. 128-134, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782006000100019>
- 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.
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). *Tópicos em Ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 1-54. v. 1.

Contribuição dos autores: Marcos Vinícios Garbiate: Implantação, coleta de amostras, análises laboratórias e redação. Antonio Carlos Tadeu Vitorino: Orientação do projeto, análise estatística e interpretação dos dados. Munir Mauad: Condução do experimento e revisão bibliográfica. Anderson Cristian Bergamin: Coleta de dados, análises de laboratórios, elaboração de tabelas e gráficos.

Agradecimentos: Ao CNPq pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa do segundo autor e à CAPES pela Bolsa de Estudo concedida ao primeiro autor.

Fonte de financiamento: À Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul – FUNDECT pelo financiamento do projeto de pesquisa 23/200.148/2010.

Conflito de interesse: Não há conflito de interesse.