

QUALIDADES FÍSICAS DO SOLO SOB SISTEMAS DE MANEJO CONSERVACIONISTAS EM CANA-DE-AÇÚCAR

ELIAS S. MOZAMBANI OSPINA¹, ZIGOMAR MENEZES DE SOUZA², DIEGO A. AGUILERA ESTEBAN³, INGRID NEHMI OLIVEIRA⁴, MARINA PEDROSO CARNEIRO⁵, CAMILA VIANA VIEIRA FARHATE⁶

¹ Estudante de engenharia agrícola, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Depto. de solos da faculdade de engenharia agrícola (FEAGRI), UNICAMP, Campinas -SP, Fone: (16)33257054, e196347@dac.unicamp.br

² Engenheiro Agrônomo, Professor Doutor, FEAGRI-UNICAMP/Campinas-SP

³ Engenheiro Agrícola, Doutorando em Engenharia Agrícola, FEAGRI-UNICAMP/Campinas-SP,

⁴ Engenheira Agrícola, Doutorando em Engenharia Agrícola, FEAGRI-UNICAMP/Campinas-SP

⁵ Engenheira Agrônoma, Doutorando em Engenharia Agrícola, FEAGRI-UNICAMP/Campinas-SP

⁶ Engenheira Agrônoma, Doutorando em Engenharia Agrícola, FEAGRI-UNICAMP/Campinas-SP

Apresentado no
XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2020
23 a 25 de novembro de 2020 - Congresso On-line

RESUMO: A conservação e melhora das propriedades físicas do solo contribuem para o desenvolvimento da cana-de-açúcar no Brasil. O objetivo da pesquisa foi avaliar o impacto combinado de sistemas de preparo do solo e de plantas de cobertura sob a condutividade hidráulica do solo no quarto ciclo de produção de cana-de-açúcar. O estudo foi desenvolvido em um Argissolo Vermelho distrófico, em experimento com delineamento em faixas com três repetições, três sistemas de preparo do solo (cultivo mínimo, cultivo mínimo com subsolagem profunda e plantio direto) e quatro plantas de cobertura (crotalaria, milheto, amendoim e sorgo). A condutividade hidráulica do solo e os atributos de densidade do solo e porosidade foram avaliadas nos primeiros 0,30 m de profundidade do solo. Os sistemas de preparo do solo e as plantas de cobertura promoveram alterações na macroporosidade e na condutividade hidráulica, mas não alteram a porosidade total, microporosidade e a densidade do solo. Os manejos de cultivo mínimo com subsolagem profunda com uso de milheto, e cultivo mínimo com subsolagem profunda e plantio direto com amendoim resultaram na maior condutividade hidráulica saturada na linha de plantio e na entre linha, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Preparo do solo, plantas de cobertura, qualidade física do solo

BULK DENSITY, SOIL POROSITY AND HYDRAULIC CONDUCTIVITY UNDER CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS IN SUGARCANE CULTURE

ABSTRACT: The conservation and improvement of the soil physical attributes contribute to the development of sugarcane in Brazil. The aim of the research was to evaluate the combined impact of soil tillage systems and cover crops under the hydraulic conductivity of the soil in the fourth sugarcane production cycle. The study was carried out in a dystrophic Red Argisol, in an experiment with strip design with three replications, three soil tillage systems (minimum cultivation, minimum cultivation with deep subsoiling and no-tillage) and four cover crops (crotalaria, millet, peanuts and sorghum). The hydraulic conductivity of the soil and the attributes of soil density and porosity were evaluated in the first 0.30 m of soil depth. The soil tillage systems and cover crops promoted changes in macroporosity and hydraulic conductivity, but did not alter the total porosity, microporosity and the bulk density of the soil. The management of minimum cultivation with deep subsoiling using millet, and minimum cultivation with deep subsoiling and no-till with peanut resulted in the highest saturated hydraulic conductivity in the planting line and in the interline, respectively.

KEYWORDS: Soil tillage, cover crops, soil physical quality

INTRODUÇÃO: O sistema de produção da cana-de-açúcar no Brasil se caracteriza por um ciclo produtivo de cinco ou seis anos, portanto, as práticas de manejo do solo refletirão na sua qualidade, nos impactos ambientais e no desenvolvimento da cultura ao longo do ciclo até a seguinte reforma. Diante disso, os estudos de longa duração são valiosos para avaliar as mudanças na qualidade do solo associadas às práticas de manejo difíceis de avaliar com estudos de curta duração (MIKHA et al., 2017). Nesse processo, faz-se necessário o uso de indicadores de qualidade do solo para avaliar os sistemas de manejo e o impacto das modificações causadas nesses, assim, os atributos físicos do solo como densidade e porosidade têm sido usados na avaliação dos impactos do sistema de produção da cana-de-açúcar na qualidade física do solo (ESTEBAN et al., 2019). Além disso, a condutividade hidráulica tem grande importância para o movimento da água no solo, retenção e modelagem do fluxo de água, apresentando uma alta variabilidade, espacial e temporal, devido a fontes pedogenéticas, naturais ou antropogênicas. A condutividade hidráulica é afetada pela textura e estrutura do solo, tamanho e continuidade dos poros, presença de fendas e bioporos (SHULKA et al., 2014), sendo um atributo importante na identificação, diagnóstico e quantificação das mudanças estruturais no solo pelos sistemas de manejo (REICHERT et al., 2016). Portanto o objetivo da pesquisa foi avaliar a densidade, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e condutividade hidráulica do solo em função dos impactos combinados de sistemas de manejo conservacionistas e plantas de cobertura no quarto ciclo de produção de cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi realizado no município de Ibitinga, no estado de São Paulo (Brasil) nas dependências da Usina Santa Fé, em um Argissolo Vermelho distrófico típico no quarto ciclo de produção da cana-de-açúcar (safra 2018/2019). Foram avaliados doze tratamentos, resultado do cruzamento de três sistemas de preparo do solo (cultivo mínimo, cultivo mínimo com subsolagem profunda e plantio direto) e quatro plantas de cobertura (crotalária, milheto, amendoim e sorgo). A condutividade hidráulica do solo (K_s) e os atributos de densidade do solo e porosidade foram avaliadas na profundidade de 0,00-0,30 m, a partir de amostras de solo indeformadas de 250 cm³. As amostras de solo foram acondicionadas em laboratório e dispostas em bandejas plásticas com uma lâmina de água de aproximadamente 1/3 da altura da amostra até atingir sua saturação. Posteriormente as amostras foram pesadas e levadas na mesa de tensão onde aplicou-se uma coluna de água com altura de 0,60 m (6,0 kPa). A seguir as amostras foram novamente saturadas para determinação da K_s e finalmente secas em estufa a 105 °C para determinação do peso seco. A densidade do solo e a porosidade (porosidade total, microporosidade e macroporosidade) foram determinadas conforme Teixeira et al. (2017), sendo a microporosidade o volume de água retido na amostra após atingir o equilíbrio na tensão de 6 kPa. A porosidade total corresponde à massa de água que ocupou todo espaço poroso (saturação), e a macroporosidade foi obtida por diferença entre a porosidade total e a microporosidade. A K_s foi avaliada pelo método de carga constante usando um sistema de medição automatizado KSAT, onde a metodologia do dispositivo segue a norma DIN ISO 18130-1 e baseia-se na inversão da lei de Darcy. Foi realizada análise de variância (ANOVA) por meio do teste F ($p < 0,05$) para avaliar as diferenças entre tratamentos e locais de amostragem, quando houve significância, os valores foram comparados pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os valores da densidade do solo, porosidade e microporosidade não diferiram estatisticamente entre si, na combinação entre os diferentes sistemas de preparo do solo e as culturas de cobertura, nas entre linhas e linhas de plantio. E segundo Esteban et al., (2019), esses atributos físicos do solo são utilizados na avaliação dos impactos do sistema de produção da cana-de-açúcar na qualidade física do solo. Contudo, atributos físicos do solo como a macroporosidade e a condutividade hidráulica saturada apresentaram mudanças entre essas combinações de fatores. No local correspondente à entre linha, a macroporosidade diferiu significativamente entre os sistemas de preparo somente quando usada a crotalária como planta de cobertura (Tabela 1), sendo os maiores valores encontrados no cultivo mínimo e no plantio direto. Na linha de plantio não houve diferença nos valores de macroporosidade entre sistemas de preparo, porém, diferenças significativas foram constatadas entre as plantas de cobertura no preparo de cultivo mínimo, com maior valor no amendoim e menor valor na crotalária.

Tabela 1. Atributos físicos do solo

Valores da densidade do solo (kg/dm³) na profundidade de 0,00-0,30 m, em área de cana-de-açúcar, para três tipos de preparo do solo na entre linha e na linha de plantio com quatro plantas de cobertura.

Preparo do Solo	na entre linha					na de linha de plantio				
	Amendoim	Crotalária	Milheto	Sorgo	Média	Amendoim	Crotalária	Milheto	Sorgo	Média
CM	1,76	1,71	1,75	1,76	1,75 A	1,7	1,71	1,73	1,71	1,71 A
CMSp	1,72	1,73	1,77	1,68	1,72 A	1,59	1,72	1,7	1,62	1,66 A
PD	1,75	1,7	1,69	1,66	1,70 A	1,75	1,69	1,67	1,66	1,69 A
Média	1,74 a	1,72 a	1,74 a	1,70 a		1,68 a	1,71 a	1,70 a	1,66 a	

Valores da microporosidade do solo (m³/m³) na profundidade de 0,00-0,30 m, em área de cana-de-açúcar, para três tipos de preparo do solo na entre linha e na linha de plantio com quatro plantas de cobertura.

Preparo do Solo	na entre linha					na de linha de plantio				
	Amendoim	Crotalária	Milheto	Sorgo	Média	Amendoim	Crotalária	Milheto	Sorgo	Média
CM	0,28	0,27	0,29	0,28	0,28 A	0,28	0,3	0,28	0,28	0,29 A
CMSp	0,29	0,31	0,28	0,32	0,30 A	0,29	0,28	0,29	0,3	0,29 A
PD	0,26	0,27	0,31	0,31	0,29 A	0,27	0,29	0,3	0,3	0,29 A
Média	0,28 a	0,28 a	0,29 a	0,30 a		0,28 a	0,29 a	0,29 a	0,29 a	

Valores da porosidade total do solo (m³/m³) na profundidade de 0,00-0,30 m, em área de cana-de-açúcar, para três tipos de preparo do solo na entre linha e na linha de plantio com quatro plantas de cobertura.

Preparo do Solo	na entre linha					na de linha de plantio				
	Amendoim	Crotalária	Milheto	Sorgo	Média	Amendoim	Crotalária	Milheto	Sorgo	Média
CM	0,34	0,36	0,36	0,34	0,35 A	0,38	0,36	0,34	0,35	0,36 A
CMSp	0,36	0,36	0,35	0,37	0,36 A	0,39	0,35	0,38	0,38	0,38 A
PD	0,34	0,36	0,36	0,38	0,36 A	0,35	0,36	0,37	0,37	0,36 A
Média	0,34 a	0,36 a	0,35 a	0,36 a		0,37 a	0,36 a	0,36 a	0,37 a	

Valores da macroporosidade do solo (m³/m³) na profundidade de 0,00-0,30 m, em área de cana-de-açúcar, para três tipos de preparo do solo no sistema de linha de plantio com quatro culturas de cobertura.

Preparo do Solo	na entre linha					na de linha de plantio				
	Amendoim	Crotalária	Milheto	Sorgo	Média	Amendoim	Crotalária	Milheto	Sorgo	Média
CM	0,06 Aa	0,09 Aa	0,06 Aa	0,06 Aa	0,07 A	0,09 Aa	0,06 Ab	0,07 Aab	0,07 Aab	0,07 A
CMSp	0,07 Aa	0,05 Ba	0,07 Aa	0,05 Aa	0,06 A	0,10 Aa	0,07 Aa	0,08 Aa	0,08 Aa	0,08 A
PD	0,07 Aa	0,08 Aa	0,06 Aa	0,07 Aa	0,07 A	0,08 Aa	0,07 Aa	0,08 Aa	0,07 Aa	0,08 A
Média	0,07 a	0,07 a	0,06 a	0,06 a		0,09 a	0,07 b	0,08 ab	0,07 ab	

Condutividade hidráulica saturada do solo (1+log(Ks)) na profundidade de 0,00-0,30 m, em área de cana-de-açúcar com diferentes sistemas de preparo e plantas de cobertura

Preparo do Solo	na entre linha					na de linha de plantio				
	Amendoim	Crotalária	Milheto	Sorgo	Média	Amendoim	Crotalária	Milheto	Sorgo	Média
CM	1,70 Bb	1,56 Bb	2,00 Ba	2,04 Aa	1,82 B	2,17 Aab	2,38 Aa	1,84 Cc	2,09 Aab	2,12 B
CMSp	2,46 Aa	1,41 Bc	2,19 Ab	2,13 Ab	2,05 A	2,10 Ac	2,48 Ab	2,97 Aa	1,83 Bd	2,34 A
PD	2,59 Aa	2,10 Ab	2,13 ABb	1,50 Bc	2,08 A	2,16 Aa	1,99 Ba	2,19 Ba	2,09 Aa	2,11 B
Média	2,25 a	1,69 d	2,11 b	1,89 c		2,15 b	2,28 a	2,33 a	2,00 c	

CM: Cultivo mínimo; CMSp: Cultivo mínimo com subsolagem profunda; PD: Plantio direto.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

A Ks foi influenciada pelos sistemas de preparo e plantas de cobertura. Os valores Ks apresentaram diferença estatística para cada tipo de combinação entre preparo do solo e planta de cobertura, nos dois locais de avaliação (Tabela). Na linha de plantio, o uso do milho e cultivo mínimo com subsolagem

profunda resultou na maior Ks, já o uso de milheto com cultivo mínimo resultaram no menor valor de Ks. Na entre linha, maiores valores de Ks foram verificados no amendoim tanto com cultivo mínimo com subsolagem profunda como no plantio direto, concordando com Reichert et al., (2016). No mesmo local, os menores valores de Ks foram obtidos com o uso de crotalária com cultivo mínimo e subsolagem profunda e como uso de sorgo com plantio direto. Sob diferentes preparos de solo no plantio da cana-de-açúcar, AWE *et al.* (2020), verificaram que o plantio direto com compactação do solo resultou nos menores valores de Ks na camada superficial do solo (0,00-0,10 m), em comparação ao plantio direto, preparo convencional e escarificação, refletindo o efeito direto do processo de compactação na geometria dos poros, tornando os poros de transmissão em poros de armazenamento. Após quatro ciclos da cultura, os atributos de densidade do solo e microporosidade não foram sensíveis às alterações impostas pelos sistemas de manejo, possivelmente em resposta à acumulação do tráfego de máquinas nas diferentes operações da cultura. De acordo com De MARIA et al. (2016), prevê-se que mais de 30 operações ocorrem em um mesmo talhão ao longo de ciclo de produção. Contudo, os atributos de macroporosidade e Ks foram alterados, sendo que a Ks foi mais sensível aos efeitos dos manejos na qualidade física do solo. Segundo BORGES et al. (2019), as diferentes práticas de preparo do solo promovem alterações no sistema poroso, afetando principalmente sua conectividade, morfologia, distribuição de tamanho e forma, características do sistema poroso que influenciam funcionamento físico do solo como a movimentação de água e ar.

CONCLUSÕES: Após quatro anos do estabelecimento da cultura de cana de açúcar sob diferentes sistemas de preparo do solo e plantas de cobertura, os atributos de densidade do solo e microporosidade não foram influenciados pelos sistemas de manejo. Contudo, os atributos de macroporosidade e condutividade hidráulica saturada foram alterados. A condutividade hidráulica saturada foi mais sensível aos efeitos dos manejos na qualidade física do solo. Os manejos de cultivo mínimo com subsolagem profunda com uso de milheto, e cultivo mínimo com subsolagem profunda e plantio direto com amendoim resultaram na maior condutividade hidráulica saturada na linha de plantio e na entre linha, respectivamente.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento da pesquisa e à Usina Santa Fé.

REFERÊNCIAS:

- AWE, G.O.; REICHERT, J.M.; FONTANELA, E. Sugarcane production in the subtropics: Seasonal changes in soil properties and crop yield in no-tillage, inverting and minimum tillage. **Soil and Tillage Research**. Amsterdam, v.196, p.104447, 2020.
- BORGES, J. A. R.; PIRES, L. F.; CÃSSARO, F. A. M.; AULER, A. C.; ROSA, J. A.; HECK, R. J.; WALDIR, L. R. X-ray computed tomography for assessing the effect of tillage systems on topsoil morphological attributes. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.189, p.25-35, 2019
- DE MARIA, I. C.; DRUGOWICH, M. I.; BORTOLETTI, J. O.; VITTI, A. C.; ROSSETTO, R.; FONTES, J. L.; TCATCHENCO, J.; MARGATHO, S. M. F. **Recomendações gerais para a conservação do solo na cultura da cana-de-açúcar**. Campinas: Série Tecnologia APTA - Boletim Técnico IAC, n.216, 2016. 113p.
- ESTEBAN, D. A. A.; SOUZA, Z. M.; TORMENA, C. A.; LOVERA, L. H.; LIMA, E. S.; OLIVEIRA, I. N.; RIBEIRO, N. P. Soil compaction, root system and productivity of sugarcane under different row spacing and controlled traffic at harvest. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.187, p.60-71, 2019.
- MIKHA, M. M.; HERGERT, G. W.; BENJAMIN, J. G.; DABRO, J. D.; NIELSEN, R. X. Soil organic carbon and nitrogen in long-term manure management system. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.81, p.153-165, 2017.
- REICHERT, J. M.; ROSA, V. T.; VOGELMANN, E. S.; ROSA, D. P.; HORN, R.; REINERT, D. J.; SATTLER, A.; DENARDIN, J. E. Conceptual framework for capacity and intensity physical soil properties affected by short and long-term (14 years) continuous no-tillage and controlled traffic. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.158, p.123-136, 2016.
- SHULKA, M.K. **Soil physics, an introduction**. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2014. 443 p.
- TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. 3ª Ed Revista e Ampliada, Brasília: Embrapa, 2017. 573p.