



MANEJO DO SOLO EM SISTEMA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR ORGÂNICA

Palavras-Chave: Saúde do solo, compactação do solo, estabilidade de agregados

Autores(as):

Laura Soares de Paula, FEAGRI – UNICAMP

Aline Schneiders Martins Dalpian, FEAGRI – UNICAMP

Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza, FEAGRI - UNICAMP

INTRODUÇÃO:

Mudanças significativas nas práticas de cultivo de cana-de-açúcar ocorreram nos últimos 15 anos, especialmente, com a adoção do plantio e colheita mecanizada (SANTOS JUNIOR et al., 2015). Diante dessa transformação, o setor sucroenergético enfrenta um grande desafio relacionado ao acelerado processo de degradação do solo promovido pelo excessivo tráfego de máquinas, intenso revolvimento do solo e monocultivo (FARHATE et al., 2020). O tráfego intenso de máquinas agrícolas em áreas de canavial propicia a suscetibilidade do solo à erosão e compactação durante o longo ciclo da cana-de-açúcar (MORAES et al., 2016; TELLES et al., 2018).

Segundo dados da FIBL – Research Institute of Organic Agriculture (instituto mais importante de pesquisa na área de manejo orgânico, localizado na Suíça), o mercado global de alimentos orgânicos atingiu, em 2019, mais de 106 bilhões de euros, sendo os Estados Unidos o líder de mercado ultrapassando os 44 bilhões de euros, seguido pela Alemanha (12 bilhões de euros) e a França (11 bilhões de euros) (IFOAM, 2021).

Perante o exposto, a tendência do cultivo da cana-de-açúcar é unir as práticas sustentáveis, desde o preparo do solo até a fabricação de produtos derivados, e a expansão de sistemas conservacionistas no setor sucroalcooleiro, ainda operado com o manejo convencional. Sendo assim, o objetivo da pesquisa foi estudar os atributos físicos do solo com o uso de diferentes plantas de cobertura em área de cana-de-açúcar sob manejo orgânico em diferentes sistemas de preparo do solo, com a hipótese de que benefícios na qualidade do mesmo podem ser adquiridos unindo planta de cobertura e sistema de plantio direto.

OBJETIVOS:

Objetivo Geral

Avaliar os efeitos do uso de diferentes plantas de cobertura associadas a distintos sistemas de preparo nos atributos físicos e produtividade da cana-de-açúcar sob manejo orgânico, no ciclo de cana planta.

Objetivos Específicos

Analisar os atributos físicos do solo, como: densidade do solo, estabilidade de agregados e condutividade hidráulica saturada no cultivo de cana orgânica.

METODOLOGIA:

O estudo foi conduzido em condições de campo em uma área experimental que está localizada no município de Goiatuba, Goiás, Brasil, posicionado aos 18°3'18.07" de latitude sul e 49°39'54.22" de longitude oeste e com altitude média de 690 metros acima do nível do mar. Trata-se de uma área de renovação de canavial pertencente à Usina Goiasa onde o clima da região é classificado como tropical com estação seca (Aw) segundo a classificação climática de Köppen onde as chuvas ocorrem entre

1.600 e 1.900 mm ano⁻¹, com média anual de temperatura de 20 °C (ALVARES et al., 2013). Baseado no levantamento pedológico da área, o solo foi classificado como Latossolo Vermelho típico (SANTOS et al., 2018) ou como Oxisol segundo o Soil Taxonomy System (SOIL SURVEY STAFF, 2014) com textura média (26-35% de argila, com horizonte A moderado).

O delineamento experimental empregado foi de blocos ao acaso, com três repetições, em esquema de parcelas subdivididas. As parcelas corresponderam aos três sistemas de preparo do solo (plantio direto com gradagem a 0,20 m para controle de plantas espontâneas, cultivo mínimo com subsolagem a 0,45 m e preparo convencional com aração e gradagem a 0,20 m) e as subparcelas receberam as três coberturas Milheto (*Pennisetum glaucum*), Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) e Mix 1 (7% crambe - *Crambe abyssinica* Hochst, 13% guandu anão - *Cajanus cajan*, 25% trigo mourisco - *Fagopyrum esculentum*, 5% nabo forrageiro - *Raphanus sativus* L., 25% *Crotalaria spectabilis* e 25% *Crotalaria ochroleuca*). Cada parcela experimental apresentou 7 linhas de cana-de-açúcar, distribuídas em 30 m de largura (espaçamento entre linhas de 1,5 m) e 10 m de comprimento (300 m²).

Análises físicas do solo

Densidade do solo

Foi calculada pela relação entre a massa do solo seco em estufa a 105 °C e volume da amostra, segundo metodologia da EMBRAPA (TEIXEIRA et al., 2017).

Estabilidade de agregados

Os índices de estabilidade de agregados foram determinados de acordo com o método descrito por Kemper e Chepil (1965), onde as amostras de solo deformado foram levadas ao peneiramento por meio do vibrador Prooutest. Os agregados que passaram pela peneira de 4,76 mm e que ficarão retidos na peneira de 2,00 mm foram utilizados. Após serem secos ao ar, os agregados foram levados ao conjunto de peneiras para o peneiramento em água por 30 minutos. Foram utilizadas cinco peneiras com os diâmetros de 2,0, 1,0, 0,5, 0,25 e 0,125 mm, para obtenção das seguintes classes de agregados C₁ (4,76-2,0 mm), C₂ (2,0-1,0 mm), C₃ (1,0-0,5 mm), C₄ (0,5-0,25 mm) e C₅ (< 0,25 mm). Todo o material retido nas respectivas peneiras foi transferido, com auxílio de jatos d'água, para latas as quais foram levadas à estufa de 105 °C, para secagem e determinação da massa seca (TEIXEIRA et al., 2017).

Condutividade hidráulica saturada (Ks)

Foi determinada pelo método da carga variável usando o sistema de medição automatizado KSAT (UMS GmbH, Munique, Alemanha) em amostras indeformadas de solo de 250 cm³ de volume (8 cm de diâmetro e 5 cm de altura). A metodologia do dispositivo seguiu a norma DIN ISO 18130-1 e baseia-se na inversão da lei de Darcy (1856), em que a Ks é calculada a partir do produto do fluxo volumétrico de água (V) e o comprimento da amostra de solo (L) dividido pela área de amostra de solo (A), o tempo (t) e o gradiente da carga hidráulica (H) ao longo da direção do fluxo. O sensor de pressão do sistema KSAT tem precisão de 0,001 kPa, o sensor de temperatura de 0,2 °C e pode medir valores de Ks entre 0,0001 e 50 m d⁻¹ (UMS GmbH, 2013).

No ensaio de carga variável, a Ks é calculada pela Equação 1, os dados são registrados e processados pelo software do dispositivo (KSAT v1.5.0) ajustando o gradiente da carga hidráulica (H) em função do tempo (t) para determinar o coeficiente b. Durante o ensaio de condutividade hidráulica as medições são realizadas à temperatura ambiente. Como a Ks depende da temperatura, o dispositivo mede a temperatura real e calcula os valores de Ks referentes a uma temperatura de referência selecionada (20 °C), desse modo, os efeitos da temperatura durante o ensaio serão minimizados.

$$K_s = \frac{A_{bur}}{A_s} \times L \times b \quad (1)$$

em que, Ks = condutividade hidráulica saturada (cm d⁻¹); A_{bur} = área da seção transversal da bureta (cm²); A_s = área da seção transversal da amostra de solo (cm²); L = altura da amostra de solo (cm); b = coeficiente.

Análises dos resultados

Para interpretação dos dados foi utilizada estatística descritiva (média e desvio padrão) e a diferença de médias dos atributos entre os diferentes tratamentos foram testadas pelo teste de Tukey (p < 0,05), utilizando-se para isto o programa SAS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Densidade do solo e condutividade hidráulica saturada

Não houve efeito dos sistemas de preparo do solo na densidade do solo (Ds), podendo ser observado apenas aumento da Ds em profundidade nas áreas com diferentes plantas de cobertura (Tabela 1). Como a colheita da cana planta ainda não ocorreu o experimento não sofreu o efeito do tráfego agrícola, que segundo Guimarães Júnnyor et al. (2019), dentre as operações mecanizadas nos sistemas atuais de produção da cana-de-açúcar, a colheita mecanizada de cana crua contribui no aumento da compactação do solo nos canaviais. Garbiate et al. (2011), encontraram menores valores de Ds em áreas de cana-de-açúcar com maior aporte de resíduos orgânicos e sem o efeito da colheita mecanizada.

De acordo com Kiehl (1979) a densidade do solo é considerada ideal em um solo argiloso quando apresenta níveis que variam entre 1,00 e 1,20 kg m⁻³. No presente trabalho os valores de Ds no solo argiloso esteve abaixo de 1,20 kg m⁻³ (Tabela 1), logo, os valores de Ds estão adequados em todos os tratamentos de acordo com o intervalo proposto pelo autor. A densidade tende a aumentar com a profundidade, variando em função de diversos fatores, como teor reduzido de matéria orgânica, menor agregação, maior compactação, diminuição da porosidade do solo, dentre outros fatores.

Tabela 1. Densidade e condutividade hidráulica saturada em Latossolo Vermelho com diferentes tratamentos e profundidades, na área experimental situada em Goiatuba, Goiás, Brasil.

Tratamentos	Densidade do solo (Mg m ⁻³)			Condutividade hidráulica (cm d ⁻¹)		
	0,00-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,00-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20
Sorgo						
Plantio direto	1,01 Aa	1,03 Aa	1,21 Aa	783,33 Aa	1247,33 Aa	753,67 Aa
Cultivo mínimo	1,05 Aa	1,10 Aa	1,19 Aa	628,33 Aa	853,67 Aa	537,00 Aa
Preparo convencional	1,07 Aa	1,20 Aa	1,20 Aa	1065,00 Aa	1514,67 Aa	1723,00 Aa
Mix 1						
Plantio direto	1,05 Aa	1,00 Aa	1,16 Aa	1479,33 Aa	1290,00 Aa	899,00 Aa
Cultivo mínimo	1,00 Aa	1,19 Aa	1,19 Aa	830,33 Aa	689,67 Aa	558,33 Aa
Preparo convencional	1,04 Aa	1,06 Aa	1,16 Aa	1486,00 Aa	1179,33 Aa	1123,00 Aa
Milheto						
Plantio direto	0,91 Aa	1,00 Aa	1,10 Aa	1646,67 Aa	1228,67 Aa	3218,00 Aa
Cultivo mínimo	1,06 Aa	1,08 Aa	1,22 Aa	849,67 Aa	498,67 Aa	1250,33 Aa
Preparo convencional	1,10 Aa	1,06 Aa	1,13 Aa	962,33 Aa	603,33 Aa	747,00 Aa

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

A condutividade hidráulica saturada não apresentou diferença significativa entre os tratamentos nas camadas analisadas, onde o plantio de milho em sistema de plantio direto (PD) e sorgo como planta de cobertura em plantio convencional (PC) tiveram valores maiores em relação aos demais tratamentos estudados com 3218,00 e 1723,00 cm d⁻¹, respectivamente (Tabela 1). Awe et al. (2020) estudando a produção de cana-de-açúcar nos subtrópicos: Mudanças sazonais nas propriedades do solo e rendimento das culturas em plantio direto, cultivo mínimo e convencional, verificaram que o sistema plantio direto apresentou alta impedância, o que pode prejudicar as trocas hídricas e gasosas e, conseqüentemente, prejudicar o crescimento e o desenvolvimento das raízes. Assim, o plantio direto, o preparo escarificado ou o preparo convencional poderiam ser defendidos quando se considera as opções de manejo do solo para a produção de cana-de-açúcar nessa região de estudo.

Dentre os sistemas de plantas de cobertura, o milho destacou-se apresentando os maiores valores de condutividade hidráulica saturada entre os tratamentos sob sistemas de plantio direto analisados (Tabela 1). O sistema de preparo convencional apresentou os maiores valores de Ks para o sorgo e mix 1 nas profundidades estudadas. Resultados semelhantes foram observados por Martíni et al. (2020) estudando diferentes sistemas de manejo do solo em cana-de-açúcar, onde verificaram que o

preparo do solo neste sistema pode aumentar tanto a infiltração de água no solo quanto a condutividade hidráulica do solo, pois os implementos de preparo rompem a camada superficial do solo, afrouxando o solo e aumentando a porosidade total e principalmente a macroporosidade.

Estabilidade de agregados

O diâmetro médio ponderado (DMP) não apresentou diferença significativa entre os tratamentos nas camadas avaliadas (Tabela 2). Os valores variaram de 2,51 a 3,34 mm, resultados semelhantes foram observados por Souza et al. (2015) estudando controle de tráfego em área de cana-de-açúcar em solo argiloso. Farhate et al. (2022) estudando a mudança física do solo e produtividade da cana-de-açúcar com diferentes plantas de cobertura e preparo do solo, verificaram valores abaixo dos encontrados nesta pesquisa.

Tabela 2. Diâmetro médio ponderado (mm) em Latossolo Vermelho com diferentes tratamentos e profundidades, na área experimental em Goiatuba, Goiás, Brasil.

Cobertura	0,00-0,05			0,05-0,10			0,10-0,20		
	PD	CM	PC	PD	CM	PC	PD	CM	PC
Sorgo	2,96 Aa	2,93 Aa	3,16 Aa	3,26 Aa	3,06 Aa	3,18 Aa	2,80 Aa	2,86 Aa	2,80 Aa
Mix 1	2,70 Aa	2,51 Aa	3,06 Aa	3,34 Aa	2,86 Aa	2,83 Aa	2,97 Aa	3,01 Aa	3,01 Aa
Milheto	3,21 Aa	3,01 Aa	2,97 Aa	3,16 Aa	3,24 Aa	3,34 Aa	3,24 Aa	3,04 Aa	2,97 Aa
Média	2,96	2,82	3,06	3,25	3,05	3,12	3,00	3,03	2,93

PD = plantio direto; CM = cultivo mínimo; PC = plantio convencional; média seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Verificou-se que o tempo de implantação não foi suficiente para promover alteração no diâmetro médio ponderado (Tabela 2). Roque et al. (2010) estudando diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar não verificaram diferença para o diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e agregados $> 2,0$ mm, nos anos de 2008 e 2009. Ceddia et al. (1999) estudando diferentes sistemas de colheita da cana-de-açúcar e alterações nos atributos físicos de um Podzólico Amarelo, no Estado do Espírito Santo, verificaram, após cinco anos, maior DMP no sistema com cana crua em relação ao de cana queimada. É importante mencionar que, apesar da cana-de-açúcar ser uma gramínea e, segundo Silva e Mielniczuk (1997), as gramíneas proporcionarem maior benefício na agregação, em consequência da maior densidade de raízes, este benefício foi inferior quando comparado aos conteúdos de matéria orgânica.

CONCLUSÕES:

Os atributos físicos condutividade hidráulica saturada, densidade do solo e diâmetro médio ponderado (DMP), não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos e em nenhuma das profundidades analisadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, 711-728, 2013.
- AWE, G.O.; REICHERT, J.M.; FONTNELA, 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**, v.196, 104447, 2020.
- CEDDIA, M. B.; ANJOS, L. H. C.; LIMA, E.; RAVELLI NETO, A.; SILVA, L. A. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar e alterações nas propriedades físicas de um solo Podzólico Amarelo no Estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.8, p.1467-1473, 1999.
- FARHATE, C. V. V.; SOUZA, Z. M.; CHERUBIN, M. R.; LOVERA, L. H.; OLIVEIRA, I. N.; CARNEIRO, M. P.; LA SACALA JUNIOR, N. Abiotic soil health indicators that respond to sustainable management practices in sugarcane cultivation. **Sustainability**, v.12, n.22, p.1-6, 2020.
- FARHATE, C. V. V.; SOUZA, Z. M.; CHERUBIN, M. R.; LOVERA, L. H.; OLIVEIRA, I. N.; GUIMARÃES JÚNNYOR, W. S.; LA SCALA, N. Soil physical change and sugarcane stalk yield induced by cover crop and soil tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.46, e0210123, 2022.

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, n.6, p.2145-2155, 2011.

GUIMARÃES JÚNNYOR, W. S.; DISERENS, E.; DE MARIA, I. C.; ARAUJO-JUNIOR, C. F.; FARHATE, C. V. V.; SOUZA, Z. M. Prediction of soil stresses and compaction due to agricultural machines in sugarcane cultivation systems with and without crop rotation. **Science of the Total Environment**, v.681, p.424-434, 2019.

IFOAM – International Federation of Organic Agriculture Movements. **Agricultura orgânica mundial: estatísticas**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <<https://ciorganicos.com.br/biblioteca/agricultura-organica-mundial-estatisticas>> Data de acesso: 28/06/2023.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. **Size distribution of aggregates**. In: BLACK, C. A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Madison: American Society Agronomy, p.499-510, 1965.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

MARTÍNI, A. F.; VALANI, G. P.; BOSCHI, R. S.; BOVI, R. C.; SILVA, L. F. S.; COOPER, M. Is soil quality a concern in sugarcane cultivation? A bibliometric review. **Soil and Tillage Research**, v.204, p.1-8, 2020.

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

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

SANTOS JUNIOR, J. D. G.; SÁ, M. A. C.; OLIVEIRA, C. M.; FRANZ, C. A. B.; REIN, T. A.; SOUSA, D. M. G. **Sistema plantio direto de cana-de-açúcar no Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2015. 8 p. (Embrapa Cerrados - Circular Técnica, 30).

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª Ed. Revista e Ampliada, Brasília: Embrapa, 2018. 353 p.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n.1, p.113-117, 1997.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to Soil Taxonomy**. 12 Ed. Washington: United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. 2014. 372 p.

SOUZA, G. S.; SOUZA, Z. M.; COOPER, M.; TORMENA, C. A. Controlled traffic and soil physical quality of an Oxisol under sugarcane cultivation. **Scientia Agricola**, v.72, n.3, p.270-277, 2015.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. Embrapa Solos, 3ª Ed. Revisada e Ampliada, Brasília: Embrapa, p.575. 2017.

TELLES, T. S.; REYDON, B. P.; MAIA, A. G. Effects of no-tillage on agricultural land values in Brazil. **Land Use Policy**, v.76, n.1, p.124-129, 2018.

UMS GmbH. **Operation Manual KSAT**, Alemanha, 2013.