



QUALIDADE FÍSICA DO SOLO NA OPERAÇÃO DE TRANSBORDO NA COLHEITA MECANIZADA DA CANA- DE-AÇÚCAR

Palavras-Chave: ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO, CANA-DE-AÇÚCAR, COLHEITA MECANIZADA

Autores(as):

ALEC DUTRA ARCANJO, PIBIC-EM – UNICAMP

CAMILLE VICTÓRIA DA SILVA SOUZA, PIBIC-EM – UNICAMP

MIKAEL WESLEY COLARES BONFAIN, PIBIC-EM – UNICAMP

WESKLEY RICHARD MARQUES BARBOSA, PIBIC-EM – UNICAMP

Prof^(a). Dr^(a). ZIGOMAR MENEZES DE SOUZA (orientador(a)), FEAGRI - UNICAMP

INTRODUÇÃO:

Nos últimos anos, a colheita mecanizada induziu mudanças no cultivo da cana-de-açúcar (SOUZA et al., 2015; CASTIONI et al., 2018; ESTEBAN et al., 2019). Embora a cobertura de palha deixada no solo possa reduzir a pressão das rodas das máquinas, operações sucessivas de colheita mecânica e transporte de colmos, realizadas por equipamentos pesados (transbordo), podem causar compactação do solo e comprometer a produtividade nas safras subsequentes (JIMENEZ et al., 2021).

Na produção de cana-de-açúcar, a colheita é a operação mecanizada de maior contribuição para a compactação do solo (GUIMARÃES JÚNNYOR et al., 2019). A cultura da cana-de-açúcar é uma das que mais altera as condições físicas do solo, dado que, como resultado da colheita mecanizada, a compactação pode reduzir o volume dos macroporos do solo em mais de 50% (SOUZA et al., 2015).

Para a avaliação da qualidade física do solo gerados a partir dos impactos da produção de cana-de-açúcar, são normalmente utilizados os atributos físicos do solo (CASTIONI et al., 2018; ESTEBAN et al., 2019).

Portanto, foi proposto nesta pesquisa a validação da seguinte hipótese: que o uso do caminhão canavieiro no transporte da cana-de-açúcar melhora a qualidade estrutural do solo na linha de plantio comparado com sistemas de transporte que utilizam transbordos rebocados por trator; a qual será comprovada mediante a avaliação dos efeitos de diferentes sistemas de transbordo na operação de colheita da cana-de-açúcar nos atributos físicos do solo nos ciclos de cana planta e primeira soca., em especial a densidade do solo, macroporosidade e resistência do solo à penetração nos ciclos de cana planta e primeira soca sob diferentes sistemas de transbordo.

METODOLOGIA:

O estudo foi realizado em condições de campo no solo identificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico Típico, localizado no município de Frutal, Minas Gerais, nos dois primeiros ciclos da cana-de-açúcar, nas safras 2021/2022 e 2022/2023.

O experimento foi implantado em 2019 em delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições e quatro tratamentos definidos pelos seguintes conjuntos de máquinas:

- 1T/21 = conjunto trator 185 cv + transbordo de 21 toneladas;
- 2T/10 = conjunto trator 185 cv + dois transbordos de 10 toneladas cada;
- 1T/30 = conjunto trator 230 cv + transbordo de 30 toneladas;
- 1C/20 = conjunto caminhão + transbordo de 20 toneladas

Foram quantificados indicadores físicos das alterações impostas pelos transbordos por meio da determinação da densidade do solo, macroporosidade e resistência do solo à penetração nas profundidades de 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Se evidenciou diferenças significativas na densidade do solo (D_s) na primeira colheita da cana (cana planta) para os primeiros 0,30 m desde a superfície (Tabela 1). Após a segunda colheita (primeira cana soca) se obtiveram diferenças na D_s entre locais com mesmo tratamento e mesma camada do solo, apresentando valores superiores nas camadas desde 0,20 m.

O tráfego das máquinas usadas no transbordo da cana-de-açúcar aumentou a densidade do solo na linha de rodado em relação à linha de plantio (camadas 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m), concordando com ROQUE et al. (2010) e ESTEBAN et al. (2019).

Na camada de 0,00-0,10 m, a densidade do solo foi maior na entrelinha em todos os tratamentos nos dois ciclos da cultura, com exceção do tratamento 1C/20 na cana planta que não apresentou diferença significativa entre locais avaliados. No local do PM, diferenças significativas entre tratamentos na densidade do solo ocorreram nas primeiras três camadas, nas quais o tratamento 1C/20 apresentou os maiores valores, fato que pode ser atribuído à menor área de contato pneu-solo concentrando uma maior tensão no solo.

A macroporosidade (MaP) apresentou diferença na EL e na camada 0,10-0,20 m para os quatro tratamentos e nos diferentes ciclos da cultura (Tabela 2). No primeiro ciclo, e comparando os outros dois tratamentos na camada 0,10-0,20 m, o tratamento 2T/10 gerou valores de MaP significativamente menores na LP ($0,12 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$) em comparação ao tratamento 1T/30 ($0,17 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$). Para essa profundidade, o tratamento 1T/30 teve no PM valores de MaP significativamente maiores que nos outros tratamentos ($0,17 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$) e na EL, o valor de MaP ($0,16 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$).

Tabela 1. Densidade do solo (Ds, kg dm⁻³) para um Latossolo Vermelho após colheita mecanizada da cana-de-açúcar (ciclo cana planta e cana soca) com uso de diferentes sistemas de transbordo.

Local	Cana planta (safra 2020/2021)					Cana soca (safra 2021/2022)				
	Tratamento					Tratamento				
	1T/21	2T/10	1T/30	1C/20	Média	1T/21	2T/10	1T/30	1C/20	Média
	Camada 0,00-0,10 m					Camada 0,00-0,10 m				
LP	1,22 Bc	1,30 Ab	1,30 Ac	1,40 A	1,31 a	1,22 b	1,23 b	1,25 b	1,27 b	1,24 b
PM	1,30 Bb	1,34 ABb	1,41 Ab	1,39 A	1,36 b	1,36 a	1,37 a	1,38 a	1,37 a	1,37 a
EL	1,42 a	1,46 a	1,47 a	1,44	1,45 c	1,41 a	1,40 a	1,42 a	1,41 a	1,41 a
Média	1,31	1,37	1,39	1,41	-	1,33	1,33	1,35	1,35	-
	Camada 0,10-0,20 m					Camada 0,10-0,20 m				
LP	1,29 ABb	1,40 A	1,26 Bb	1,31 ABb	1,32 b	1,36	1,31 b	1,29	1,35	1,33
PM	1,46 Aa	1,40 AB	1,29 Bab	1,51 Aa	1,42 a	1,43	1,35 b	1,35	1,49	1,41 a
EL	1,36 b	1,46	1,35 a	1,42 a	1,40 a	1,41	1,50 a	1,42	1,43	1,44 a
Média	1,37	1,42	1,30	1,41	-	1,40	1,39	1,36	1,42	-
	Camada 0,20-0,30 m					Camada 0,20-0,30 m				
LP	1,41	1,41	1,39	1,42 b	1,41 b	1,42	1,36 b	1,38	1,39	1,39 b
PM	1,47 AB	1,47 AB	1,37 B	1,50 Aa	1,45 a	1,46	1,45 ab	1,46	1,47	1,46 a
EL	1,40	1,46	1,40	1,43 ab	1,42 ab	1,44	1,52 a	1,40	1,49	1,46 a
Média	1,43	1,44	1,39	1,45	-	1,44	1,44	1,42	1,45	-

LP = linha de plantio; PM = ponto médio; EL = entrelinha; 1T/21 = conjunto trator 185 cv + transbordo de 21 toneladas; 2T/10 = conjunto trator 185 cv + dois transbordos de 10 toneladas cada; 1T/30 = conjunto trator 230 cv + transbordo de 30 toneladas; 1C/20 = conjunto caminhão + transbordo de 20 toneladas. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 2. Macroporosidade do solo (MaP, dm³ dm⁻³) para um Latossolo Vermelho após colheita mecanizada da cana-de-açúcar (ciclo cana planta e primeira soca) com uso de diferentes sistemas de transbordo.

Local	Cana planta (safra 2020/2021)					Cana soca (safra 2021/2022)				
	Tratamento					Tratamento				
	1T/21	2T/10	1T/30	1C/20	Média	1T/21	2T/10	1T/30	1C/20	Média
	Camada 0,00-0,10 m					Camada 0,00-0,10 m				
LP	0,17 Aa	0,15 ABa	0,15 ABa	0,09 Ba	0,14 a	0,20 a	0,23 a	0,19 a	0,20 a	0,21 a
PM	0,14 Aa	0,14 Aa	0,08 Bb	0,09 ABa	0,11 b	0,14 ab	0,14 b	0,12 b	0,13 b	0,13 b
EL	0,07 b	0,07 b	0,05 b	0,05 b	0,06 c	0,09 b	0,13 b	0,09 b	0,10 b	0,10 c
Média	0,13	0,12	0,09	0,08	-	0,15	0,17	0,13	0,14	-
	Camada 0,10-0,20 m					Camada 0,10-0,20 m				
LP	0,14 AB	0,12 B	0,17 A	0,15 ABa	0,14 a	0,14	0,18 a	0,18	0,17 a	0,17 a
PM	0,09 B	0,11 B	0,17 A	0,07 Bb	0,11 b	0,11	0,15 ab	0,14	0,10 b	0,13 b
EL	0,13 AB	0,08 B	0,16 A	0,08 Bb	0,11 b	0,12	0,10 b	0,12	0,13 ab	0,11 b
Média	0,12 B	0,10 B	0,17 A	0,10 B	-	0,12	0,14	0,14	0,13	-
	Camada 0,20-0,30 m					Camada 0,20-0,30 m				
LP	0,10	0,12 a	0,13	0,11	0,12 a	0,11	0,15 a	0,14	0,14	0,14 a
PM	0,08	0,09 b	0,13	0,08	0,10 b	0,10	0,11 ab	0,09	0,11	0,10 b
EL	0,10	0,10 ab	0,11	0,12	0,11 ab	0,10	0,08 b	0,12	0,11	0,10 b
Média	0,09	0,10	0,12	0,10	-	0,11	0,12	0,11	0,12	-

LP = linha de plantio; PM = ponto médio; EL = entrelinha; 1T/21 = conjunto trator 185 cv + transbordo de 21 toneladas; 2T/10 = conjunto trator 185 cv + dois transbordos de 10 toneladas cada; 1T/30 = conjunto trator 230 cv + transbordo de 30 toneladas; 1C/20 = conjunto caminhão + transbordo de 20 toneladas. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 3. Resistência do solo à penetração (RP, MPa) para um Latossolo Vermelho após colheita mecanizada da cana-de-açúcar (ciclo cana planta e primeira soca) com uso de diferentes sistemas de transbordo.

Local	Cana planta (safra 2020/2021)					Cana soca (safra 2021/2022)				
	Tratamento					Tratamento				
	1T/21	2T/10	1T/30	1C/20	Média	1T/21	2T/10	1T/30	1C/20	Média
	Camada 0,00-0,10 m					Camada 0,00-0,10 m				
LP	0,61 Cb	0,71 BCb	0,90 ABb	1,19 Aab	0,85 c	0,73	0,54 b	0,77 b	0,69 b	0,68 b
PM	0,63 Cb	0,67 Cb	1,49 Aa	1,09 Bb	0,97 b	0,96	0,95 a	1,24 a	1,02 ab	1,04 a
EL	1,59 a	1,52 a	1,61 a	1,32 a	1,51 a	1,04	0,98 a	1,44 a	1,17 a	1,16 a
Média	0,95 C	0,96 BC	1,33 A	1,20 AB	-	0,91	0,82	1,15	0,96	-
	Camada 0,10-0,20 m					Camada 0,10-0,20 m				
LP	1,11	1,11 b	0,79	0,81 b	0,95 b	0,86	0,77 b	0,89	1,05	0,89 b
PM	1,65 A	1,17 ABb	1,03 B	1,56 Aa	1,35 a	1,10	0,89 ab	1,24	1,78	1,25 ab
EL	1,19 B	1,95 Aa	0,76 B	1,10 Bab	1,25 a	1,15	1,63 b	1,41	1,16	1,34 a
Média	1,31 A	1,41 A	0,86 B	1,15 A	-	1,03	1,10	1,18	1,33	-
	Camada 0,20-0,30 m					Camada 0,20-0,30 m				
LP	1,36	1,15	1,14	1,13 b	1,19 b	1,37	0,83 b	1,67	1,19	1,27
PM	1,46	1,67	1,24	1,95 a	1,58 a	1,35	1,22 ab	1,86	1,73	1,54
EL	1,16	1,58	1,34	1,52 ab	1,40 ab	1,23	1,88 a	1,70	1,68	1,62
Média	1,33	1,47	1,24	1,53	-	1,32	1,31	1,74	1,53	-

LP = linha de plantio; PM = ponto médio; EL = entrelinha; 1T/21 = conjunto trator 185 cv + transbordo de 21 toneladas; 2T/10 = conjunto trator 185 cv + dois transbordos de 10 toneladas cada; 1T/30 = conjunto trator 230 cv + transbordo de 30 toneladas; 1C/20 = conjunto caminhão + transbordo de 20 toneladas. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Na camada 0,20-0,30 m foi obtido os valores mais elevados de RP para cada tratamento, porém, sem diferenças significativas (Tabela 3). Diferenças foram obtidas nas duas camadas superficiais (0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m) durante o primeiro ciclo e aumentando na ordem 1T/21, 2T/10, 1C/20 e 1T/30 na primeira camada. Para a camada 0,10-0,20 m, o tratamento 1T/30 apresentou valor médio significativamente menor.

No tratamento 1C/20 na LP e no tratamento 1T/30 no PM, foram obtidos maiores valores de RP para o ciclo de cana planta (Tabela 3). Nesse ciclo, para a camada 0,10-0,20 m verificou-se diferenças entre os tratamentos no PM com altos valores de RP e significativamente maiores nos tratamentos 1C/20 e 1T/21 e na EL para o 2T/10. No segundo ciclo da cultura, não observou diferenças significativas entre tratamentos.

O uso de diferentes sistemas de transbordo na colheita mecanizada de cana-de-açúcar promoveu alterações nos atributos densidade do solo, macroporosidade e resistência do solo à penetração nas camadas 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. Esse fato corroboram os resultados obtidos por JIMENEZ et al. (2021) sobre a relevância de detalhar as propriedades compressivas dos solos ao invés de considerar o perfil do solo como homogêneo.

CONCLUSÕES:

Os sistemas de transbordos utilizados na primeira e segunda colheita da cana-de-açúcar (ciclo da cana planta e cana soca), resultaram em alterações nos atributos do solo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m, e na camada 0,20-0,30 m em menor intensidade.

Os tratamentos 1T/21 e 2T/10 resultaram em melhor qualidade física do solo na camada de 0,00-0,10 m, verificada pela menor densidade do solo e resistência do solo à penetração, assim como maior macroporosidade quando comparado com os tratamentos 1T/30 e 1C/20.

Na camada 0,10-0,20 os tratamentos 2T/10 e 1C/20 resultou em maior impacto na qualidade física do solo na região da entrelinha, com maior densidade do solo e menor macroporosidade. Nessa camada, a melhor qualidade física do solo foi obtida no tratamento 1T/30.

BIBLIOGRAFIA

CASTIONI, G. A. F.; CHERUBIN, M.R.; MENANDRO, L. M. S.; SANCHES, G. M.; BORDONAL, R. O.; BARBOSA, L. C.; FRANCO, H. C. J.; CARVALHO, J. L. N. Soil physical quality response to sugarcane straw removal in Brazil: A multi approach assessment. **Soil and Tillage Research**, v.184, p.301-309, 2018.

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**, v.187, p.60-71, 2019.

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.

JIMENEZ, K. J.; ROLIM, M. M.; GOMES, I. F.; LIMA, R. P.; BERRÍO, L. L. A.; ORTIZ, P. F. S. Numerical analysis applied to the study of soil stress and compaction due to mechanised sugarcane harvest. **Soil and Tillage Research**, v.206, 104847, 2021.

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.

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.