



Efeito da colheita mecanizada da cana-de-açúcar, sob espaçamento duplo combinado, nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho, em Paranavaí-PR ⁽¹⁾.

Iara Maria Lopes ⁽²⁾; Rafaela Martins da Silva ⁽³⁾; Camila Almeida dos Santos ⁽⁴⁾; Érika Flávia Machado Pinheiro ⁽⁵⁾; Eduardo Lima ⁽⁶⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo da UFRRJ.

⁽²⁾ Doutoranda do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo – Bolsista CNPq – UFRRJ, Seropédica, RJ, CEP:23890-000, iara_m_lopes@hotmail.com; ⁽³⁾ Graduanda do Curso de Engenharia Florestal, Instituto de Agronomia - Bolsista CNPq - UFRRJ, Seropédica, RJ, CEP: 23890-00; ⁽⁴⁾ Mestranda do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo – Bolsista Capes – UFRRJ, Seropédica, RJ, CEP:23890-000; ^(5,6) Professor Adjunto e Associado, respectivamente, Departamento de Solos/IA/UFRRJ, Seropédica, RJ, CEP: 23890-000.

RESUMO: Alguns atributos físicos do solo são sensíveis as práticas do manejo adotado, como preparo do solo e tráfego intenso de colheitadeiras. Assim, o objetivo desse trabalho foi caracterizar os atributos físicos do solo de um Latossolo Vermelho, em área de cana-de-açúcar colhida sem queima (mecanicamente), sob preparo profundo e canteirizado do solo (“penta”), em Paranavaí-PR. Para realização desse estudo, em novembro de 2014, após a colheita da cana-planta (variedade RB86-7515), foram abertas trincheiras que permitiram a amostragem de terra nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm, nas linhas e entrelinhas. Também foi coletada amostras de terra em uma área sob vegetação de mata (área de referência). Observou-se que, na região da LINHA da cana-de-açúcar ocorreu aumento significativo da densidade do solo nas profundidades de 5-10 até 20-30 cm e diminuição da porosidade total do solo nas profundidades de 10-20 e 30-40 cm, quando comparado à região da ENTRELINHA. E, que de maneira geral a área de MATA possuiu menor densidade do solo e maior porosidade, em todas as camadas avaliadas do que as sob cobertura de cana-de-açúcar (LINHA E ENTRELINHA). Finalizando, verificou-se que, mesmo no primeiro ano de cultivo da cana-de-açúcar já foi possível identificar os efeitos negativos da compactação devido ao tráfego intenso de máquinas sobre estes atributos físicos do solo. Esse efeito foi mais pronunciado na LINHA de cultivo da cana-de-açúcar.

Termos de indexação: *Saccharum spp*, compactação do solo, sistemas de manejo do solo.

INTRODUÇÃO

No Brasil a cana-de-açúcar ocupa aproximadamente 8,8 milhões de hectares (Conab, 2014), o que corresponde a aproximadamente 12,9 % de toda a área plantada e destinada à colheita (IBGE, 2012). A produtividade média de colmos, dos estados produtores na safra de 2013/2014, foi de

74,8 Mg ha⁻¹, sendo produzidos nessa safra 37,88 milhões de toneladas de açúcar e 27,96 bilhões de litros de etanol (Conab, 2014).

Entretanto, o setor canavieiro nos últimos anos tem sofrido modificações nos sistemas de manejo de cultivo da cana-de-açúcar. Destacando-se o manejo da palhada, onde a cana queimada (colheita manual) está cada vez mais sendo substituída pela cana sem queima (colheita mecânica). No sistema sem queima, após a colheita da cana-de-açúcar, são deixados sobre a superfície do solo de 10 a 20 t ha⁻¹ de matéria seca anualmente (Schultz et al., 2010). Essa camada de palhada proporciona melhorias dos atributos químicos (Pinheiro et al., 2010; Souza et al., 2012), físicos (Ceddia et al., 1999) e biológicos do solo (Benazzi et al., 2013). Porém, o tráfego intenso de colheitadeiras, em áreas sem queima da palhada, ao longo do tempo, poderá repercutir na compactação do solo, ou seja, perda da qualidade física do mesmo (Roque et al., 2010; Otto et al., 2011; Castro et al., 2013).

Assim, o aumento das áreas sob colheita mecânica tem instigado a busca por uma melhor distribuição das plantas no campo, de forma que facilite o trabalho das colheitadeiras, minimize o tráfego das mesmas, consequentemente minimize também a compactação do solo, e que ainda resulte em economia de tempo e custo. Nesse sentido, pode-se destacar o espaçamento de plantio duplo alternado, onde ao invés de colher apenas uma fileira de cana-de-açúcar sob espaçamento simples, colhe-se duas fileiras com espaçamento reduzido (Tomaz, 2013).

O espaçamento duplo alternado pode ainda ser associado ao preparo profundo do solo, esse é realizado por um equipamento que desempenha cinco operações simultaneamente: subsolagem, aplicação de corretivos, aplicação de adubo com opção de variação da profundidade de aplicação (0,40 e 0,80 m), destorroamento do solo através de uma enxada rotativa e realização da canteirização (formação de canteiros em faixas), como descrito por Marasca (2014).



O preparo profundo do solo resulta em economia quando comparado ao preparo convencional do solo e até mesmo ao cultivo mínimo do solo, pois ele possui um menor número de operações (Tomaz, 2013). Além disso, revolve-se uma menor quantidade de solo, e o mesmo é realizado somente na região que o sistema radicular irá se desenvolver.

Escassos são os estudos que avaliaram a qualidade física do solo em sistemas de plantio em espaçamento alternado duplo sob preparo profundo do solo. O objetivo desse estudo foi avaliar se o preparo profundo e o canteirizado do solo ("penta"), aliado a colheita mecânica da cana somente na região da linha de plantio está promovendo alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho, em Paranavaí-PR.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área experimental

O experimento foi realizado em uma área pertencente a Usina Alto Alegre S/A, no Estado do Paraná, no município de Paranavaí, entre as coordenadas 22°55'0.7" S, 51°51'49.2" W, com altitude de aproximadamente 474 m.

A cana-de-açúcar (variedade: RB86-7515) foi plantada em uma área de aproximadamente 2304 m², sob plantio combinado, com espaçamento de 0,90 m na entrelinha e 1,50 m nas linhas, até a próxima dupla (Figura 1). Também foram realizados o Preparo Profundo do solo e o Canteirizado (vulgo "Penta").

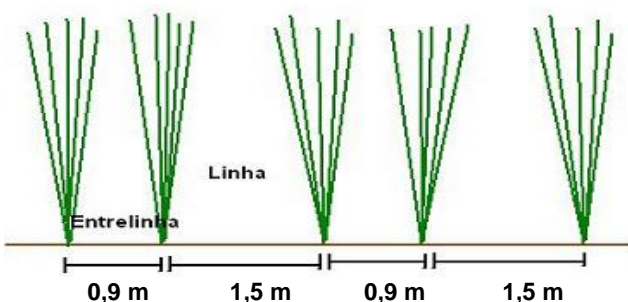


Figura 1. Representação do espaçamento do plantio combinado de cana-de-açúcar. Fonte: Adaptado de Carvalho, 2013.

Uma área adjacente sob cobertura de mata (área de referência), localizada a aproximadamente 600 m do experimento com cana-de-açúcar, também foi avaliada nesse estudo.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho e possui classe textural franco argilo arenosa.

Tratamentos e coleta das amostras

Os tratamentos consistiram na avaliação do plantio combinado, em duas regiões específicas de cultivo: área com cana-de-açúcar na linha de plantio (LINHA) e na entrelinha (ENTRE). No momento da

colheita da cana, as máquinas trafegaram somente nas linhas de plantio da cana. Também foi avaliada uma área de vegetação de mata (MATA).

A coleta de amostras deformadas de terra foi realizada 15 dias após a colheita mecânica da cana planta, em novembro de 2014. Para a coleta das amostras de terra foram abertas trincheiras em todos os tratamentos descritos, nas seguintes profundidades: 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm. Na área de cana-de-açúcar, para os tratamentos LINHA e ENTRE, as amostras foram retiradas próximas as linhas de cultivo e no meio da linha.

As amostras indeformadas foram retiradas com auxílio de um anel de Kopecky de volume de cm³ ($h= 4,5 \text{ cm}$, $r= 2,5 \text{ cm}$). Foram determinadas as seguintes propriedades físicas: densidade do solo e da partícula e porosidade total do solo, segundo a metodologia da EMBRAPA (1997). Os atributos físicos foram analisados no laboratório de Física do Solo da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Análise estatística

Os dados referentes a densidade do solo e porosidade total do solo, em diferentes profundidades, foram submetidos à verificação de homogeneidade das variâncias dos erros (Bartlett) e normalidade dos dados (Lilliefors) utilizando o programa estatístico SAEG 9.1 (Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas – UFV). Posteriormente, foi feita a análise de variância com a aplicação do teste F e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey ($P<0.05$), utilizando o programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2010).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores médios de densidade do solo, para os tratamentos avaliados. Em todas as camadas avaliadas, a densidade do solo apresentou menores valores na área de MATA do que na área sob cultivo de cana-de-açúcar, tanto na entre linha quanto na linha de plantio (ENTRE e LINHA).

Ao avaliar somente a área sob cultivo de cana, percebe-se que houve um aumento significativo da densidade do solo, na região da LINHA de plantio quando comparado à ENTRELINHA, nas profundidades de 5-10, 10-20 e 20-30 cm.

A densidade do solo e a porosidade do solo são consideradas propriedades que mudam rapidamente em função do manejo adotado. A densidade do solo e uma relação da massa de sólidos pelo volume total do solo. Quanto maior a massa de sólidos, maior a densidade do solo, menor a porosidade do solo, maior a compactação do solo.



Tabela 1. Valores médios de densidade do solo em área de mata e em área de cana-de-açúcar na região da linha e entrelinha, nas diferentes profundidades, em Paranavaí-PR.

Profundidade (cm)	ENTRE	LINHA	MATA	CV (%)
	-----	(Mg m ⁻³)	-----	
0-5	1,47 a	1,60 a	1,15	9,53
5-10	1,44 b	1,64 a	1,24	7,66
10-20	1,58 b	1,70 a	1,43	2,22
20-30	1,66 b	1,73 a	1,44	3,75
30-40	1,66 a	1,66 a	1,51	3,75
40-60	1,63 a	1,63 a	1,52	4,70
60-80	1,53 a	1,57 a	1,44	3,91
80-100	1,56 a	1,50 a	1,46	3,10

Médias seguidas com letras distintas nas linhas diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0.05). ENTRE: região da entrelinha (não trafegada) e LINHA: região trafegada.

As médias dos valores de porosidade total do solo são apresentadas na Tabela 2. Em todas as camadas avaliadas, a porosidade do solo foi maior na área sob vegetação de MATA do que na área de plantio de cana-de-açúcar (ENTRE e LINHA), seguindo um padrão semelhante ao observado para os valores de densidade do solo.

Tabela 2. Médias de porosidade total do solo em área de mata e em área de cana-de-açúcar na região da linha e entrelinha, após a colheita de cana-planta, em diferentes profundidades, em Paranavaí-PR

Profundidade (cm)	ENTRE	LINHA	MATA	CV (%)
	-----	(%)	-----	
0-5	43 a	38 a	55	14,13
5-10	36 a	36 a	52	19,31
10-20	38 a	31 b	43	4,43
20-30	33 a	31 a	43	8,76
30-40	36 a	32 b	42	7,12
40-60	36 a	36 a	39	8,61
60-80	41 a	38 a	42	7,23
80-100	40 a	40 a	42	4,64

Médias seguidas com letras distintas nas linhas diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0.05).

Os valores de porosidade total do solo, possivelmente não sofreram alterações, na região da LINHA em comparação a ENTRELINHA, em todas as camadas que observou-se diferença para a densidade do solo, devido a variação do arranjo das partículas do solo terem ocorrido, mas não o suficiente para alterar a porosidade total.

Ao avaliar a porosidade do solo, densidade do solo, curva de retenção de água do solo, curva de resistência do solo à penetração e o intervalo hídrico ótimo, de um Latossolo Vermelho Distrófico da região Noroeste do Paraná, em solo cultivado com cana-de-açúcar e sob mata, Araújo et al. (2004), encontraram maiores valores de densidade do solo e menores de macroporosidade, porosidade total e

intervalo hídrico ótimo (IHO) na área cultivada com cana-de-açúcar. Os autores explicam que as mudanças no sistema poroso, na área cultivada, resultaram da compactação do solo.

Os resultados de maior densidade do solo e menor porosidade total, na LINHA do que na ENTRE, provavelmente ocorreu devido a LINHA ter sido mais compactada do que a região da ENTRE. Pois, as colheitadeiras trafegam somente nas LINHAS no momento da colheita da cana. Além disso, essas são menos revolvidas durante o preparo do solo no momento da renovação do canavial. Assim, acredita-se que nos próximos anos de cultivo esse efeito fique mais pronunciado. Sendo necessário mais estudos ao longo das futuras safras para acompanhar como e em qual proporção a modificação dos atributos físicos podem influenciar na produtividade e longevidade do canavial.

A maioria dos trabalhos, avaliam os efeitos dos sistemas de preparo do solo e do tráfego de colheitadeiras sobre os atributos físicos do solo somente nas primeiras safras. E, os efeitos negativos da compactação do solo, em áreas com colheita mecânica da cana-de-açúcar, tendem a ser mais pronunciados nas últimas safras (Castro et al., 2013), até mesmo inviabilizando a condução do canavial, sendo necessário a renovação do mesmo.

Em Bandeirantes/PR, em áreas de cana-de-açúcar colhidas mecanicamente, em diferentes safras (cana planta, 1^a, 2^a, 3^a, 4^a e 5^a soca) e em uma área de mata, sob Latossolo Vermelho Eutroférico com classe textural muito argiloso, Castro et al. (2013) observaram na camada de 0-10 cm uma maior macroporosidade do solo e menor densidade do solo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, nas áreas de mata e cana planta quando comparado as áreas com mais tempo de cultivo. Além disso, observaram que a medida em que o solo foi sendo trabalhado, aumentou a quantidade de microporos e a resistência do solo a penetração.

CONCLUSÕES

Em área sob cultivo de cana-de-açúcar em espaçamento duplo combinado com preparo profundo do solo, o tráfego intenso de colheitadeiras associado ao menor revolvimento do solo no momento do preparo do mesmo, na região da LINHA aumentou a densidade do solo e diminuiu a porosidade total, nas camadas de 5-10, 10-20 e 20-30 cm, e de 10-20 e 30-40 cm, respectivamente. O efeito do sistema de preparo do solo e de colheita da cana na compactação do solo já está sendo evidenciado no primeiro ano de implantação do experimento. Deve-se, no entanto, continuar o monitoramento dos atributos físicos do solo, ao longo das demais safras, verificando se o manejo adotado influenciara na produtividade e longevidade do canavial.



A conversão de uso do solo de vegetação de mata para cultivo de cana-de-açúcar alterou os atributos físicos do solo, principalmente devido as práticas de manejo de colheita e ao preparo do solo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CPGA-CS, à Fundação de Apoio a Pesquisa Científica e Tecnológica da UFRRJ (FAPUR) e ao CNPQ (Edital Universal, processo: 481691/2013-8) pelo apoio financeiro. Também gostaríamos de agradecer a bolsa de Doutorado concedida ao primeiro autor. Agradecemos a Usina Alto Alegre/PR pela disponibilização da área experimental. E, aos pesquisadores e técnicos, da RIDESA/UFPR e da Estação Experimental Dr. Leonel Miranda (UFRRJ), respectivamente, pelo auxílio na coleta das amostras.

REFERÊNCIAS

a. Periódicos:

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

BENAZZI, E.S.; BIANCHI, M.O.; CORREIA, M.E.F.; LIMA, E.; ZONTA, E. Impactos dos métodos de colheita da cana-de-açúcar sobre a macrofauna do solo em área de produção no Espírito Santo-Brasil. *Semina: Ciências Agrárias*, 34:3425-3442, 2013.

CASTRO, A.M.C.; SANTOS, K.H.; MIGLIORANZA, E.; GOMES, C.J.A.; MARCHIONE, M.S. Avaliação de atributos físicos do solo em diferentes anos de cultivo de cana-de-açúcar. *Revista Agrarian*, 6:415-422, 2013.

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*, 34:1467-1473, 1999.

FERREIRA, D. F. Programa computacional Sisvar - UFLA, versão 5.3, 2010.

MARASCA, I. Avaliação dos atributos físicos de um Argissolo cultivado com cana-de-açúcar em área com adequação de relevo, utilizando equipamento de preparo profundo e canteirizado do solo. 2014. 76 f. Tese (Doutorado Agronomia). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu-SP.

OTTO, R.; SILVA, A.P.; FRANCO, H.C.J.; OLIVEIRA, E.C.A.; TRIVELIN, P.C.O. High soil penetration resistance reduces sugarcane root system development. *Soil & Tillage Research*, 117:201-210, 2011.

PINHEIRO, E.F.M.; LIMA, E.; CEDDIA, M.B.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. Impact of pre-harvest burning versus trash conservation on soil carbon and nitrogen stocks on a sugarcane plantation in the Brazilian Atlantic forest region. *Plant and Soil*, 333:71-80, 2010.

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

SCHULTZ, N.; LIMA, E.; PEREIRA, M.G.; ZONTA, E. Adubação nitrogenada e potássica na cana-soca colhidas com e sem a queima da palhada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:811-820, 2010.

SOUZA, R.A.; TELLES, T.S.; MACHADO, W.; HUNGRIA, M.; FILHO, J.T.; GUIMARÃES, M.F. Effects of sugarcane harvesting with burning on the chemical and microbiological properties of the soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 155:1- 6, 2012.

TOMAZ, H.V.Q. Sistema de preparo profundo do solo e sua influência no desenvolvimento da cana-de-açúcar. 2013. 132 f. Tese (Doutorado Fitotecnia). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba-SP.

b. Livro:

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed., rev. Atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

c. Trabalho em Anais:

Carvalho, L.A.; Pereira, A.C.; Novak, E.; Corrêa, N.F.; Oliveira, A.C.C. Monitoramento de área de cana-de-açúcar utilizando atributos físicos do solo. In: IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2013, Salvador/BA. Anais...

d. Internet:

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo levantamento, agosto/2014. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>; acesso em 14 abril 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Produção Agrícola Municipal - Culturas temporárias e permanentes, v. 39, 2012, Brasil. Disponível em: [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Producao_Agricola_Municipal_\[anual\]/2012/pam2012.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Producao_Agricola_Municipal_[anual]/2012/pam2012.pdf); acesso em 07 maio 2015.