



Micromorfologia de um Neossolo Quartzarênico cultivado com cana-de-açúcar em diferentes espaçamentos de plantio

Allan Charles Mendes de Sousa⁽²⁾; Zigomar Menezes de Sousa⁽³⁾, Ana Paula Guimarães Santos⁽²⁾, Camila Viana Vieira⁽²⁾, Rosa Maria Poch Claret⁽⁴⁾, Antonio Beraldo Neto⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do processo FAPESP (2012/21094-0); ⁽²⁾ Aluno de doutorado em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, São Paulo, allancharles-2@hotmail.com; ⁽³⁾ Professor na Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, São Paulo, zimorarms@feagri.unicamp.br ⁽⁴⁾ Professora na Universidade de Lleida, UDL, Lleida, Espanha, rosa.poch@macs.udl.cat; ⁽⁵⁾ Aluno de graduação do curso de Engenharia. Agrícola da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, São Paulo.

RESUMO: O controle de tráfego de máquinas por meio de piloto automático e o uso do espaçamentos duplo combinado apresentam-se como possíveis soluções para mitigar os problemas de compactação do solo. Essa pesquisa objetivou avaliar as características micromorfológicas de um Neossolo Quartzarênico cultivado com cana-de-açúcar e manejado com e sem piloto automático em diferentes espaçamentos de plantio. Houve diferença estatística entre os tratamentos estudados apenas para o segundo ano de estudo, no qual observou-se uma redução da porosidade total, no ponto de coleta dos rodados. Os tratamentos com espaçamento simples (1,50 m) e manejado com piloto automático e com espaçamento duplo combinado (1,5 x 0,90 m) e manejado com piloto automático apresentaram uma maior porosidade total no segundo ano no ponto de coleta do canteiro e na camada de 0,00-0,15 m. Na camada de 0,15-0,30 m, o tratamento com espaçamento simples (1,5 m) e manejado sem piloto automático apresentou menor superfície específica de poros.

Termos de indexação: compactação do solo, relação solo-máquina, *Saccharum spp.*

INTRODUÇÃO

O tráfego de máquinas, nas áreas de produção de cana-de-açúcar, apresenta-se como um dos principais responsáveis pelos processos de compactação do solo, o que remete a uma maior necessidade de estudos sobre essa problemática (Vasconcelos et al., 2014).

Tal afirmação baseia-se na justificativa de que o aumento da resistência do solo contribui para a redução do crescimento de raízes, e com isso oferece às plantas condições desfavoráveis de absorção de água, nutrientes e por fim, uma menor produtividade (Sousa et al., 2013).

Diante disso, torna-se necessário o estudo da eficiência de técnicas que visam a mitigação dos

efeitos adversos do tráfego de máquinas sobre o solo, à exemplo; o uso de piloto automático. Tal tecnologia tem como princípio a pré-determinação dos locais destinados ao tráfego e que, portanto, preserva as áreas em que ocorre o crescimento de plantas, no caso da cana-de-açúcar, localizadas próximas à linha da soqueira (Montanha et al., 2011; Souza et al., 2015).

Associada ao uso do piloto automático, a adoção do espaçamento duplo, também, apresenta características que podem contribuir para a redução da compactação do solo. Dentre elas, destaca-se a redução do número de ruas destinadas ao tráfego, devido a necessidade do aumento da bitola.

As avaliações dos atributos físicos do solo, dada sua sensibilidade ao tráfego de máquinas, apresentam-se como excelentes indicadores de qualidade e, por isso, podem contribuir para a recomendação, ou não, das tecnologias supracitadas. Dentre essas avaliações, as investigações sobre as características dos poros do solo, por meio da análise de imagens de blocos impregnados e com estruturas preservadas, funcionam como ferramentas para o diagnóstico de compactação (Streck et al., 2008; Gonçalves & Moraes, 2012).

O objetivo do trabalho foi avaliar as características micromorfológicas de um Neossolo Quartzarênico cultivado com cana-de-açúcar e manejado com e sem piloto automático em diferentes espaçamentos de plantio.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado nas dependências da Usina Santa Fé, situada no município de Nova Europa-SP. Os tratamentos estudados foram: 1- cana-de-açúcar plantada com espaçamento simples (1,50 m) e manejado sem piloto automático; 2- cana-de-açúcar plantada com espaçamento simples (1,50 m) e manejado com piloto automático; 3- cana-de-açúcar

plantada com espaçamento duplo combinado (1,5 x 0,90 m) e manejado com piloto automático.

As amostras indeformadas de solo para a realização da análise de micromorfologia foram coletadas nos pontos situados na linha do rodado e no canteiro, nas profundidades de 0,00-0,15 m e 0,15-0,30 m. Além disso, coletou-se amostras nas mesmas profundidades descritas acima, numa área de floresta nativa, situada ao lado do experimento, para a confecção de lâminas utilizadas para a descrição do solo nas condições naturais.

As amostras foram esculpidas nas paredes de trincheiras com dimensões de 0,12 x 0,07 x 0,06 m, sendo o tamanho de maior comprimento orientado para superfície do solo. Em seguida, os blocos foram acomodados em caixas de papel cartão, e cuidadosamente retirados para que não houvesse deformação da estrutura. Após a coleta, as amostras foram embrulhadas com plástico PVC e forradas com papel alumínio.

Feito isso, as amostras foram secas ao ar livre e depois em estufa à 40° C. Após a secagem, as amostras foram impregnadas por capilaridade, com solução a base de poliéster e monômero de estireno. No preparo da solução impregnadora, utilizou-se 1 L de resina de poliéster, 1 L de monômero de estireno, 5 g de pigmento tinopal OB, 15 gotas de butanox e 10 gotas de octoato de cobalto.

Para a descrição das lâminas, utilizou-se um microscópio pedológico modelo Olympus BX51, pertencente ao laboratório de microscopia da Universidade de Lleida, na Espanha, auxiliado pela chave de classificação proposta por Bullock et al. (1985). A captura das imagens precedeu-se com o mesmo microscópio utilizado na descrição das lâminas, porém, acoplado a uma câmera digital OLYMPUS, modelo CS20, com uma resolução espacial de 3072 x 2304 pixels e espectro de 225 tons de cinza. Nesta etapa utilizou-se uma lente óptica com aumento de 2x, para cobrir as dimensões de 2,54 x 1,91 mm, correspondente à área real da imagem.

Em seguida, utilizando o software Imagej, as imagens foram convertidas a 8-bit e binarizadas em preto e branco. Após isso, os poros foram distinguidos dos sólidos, para posterior quantificação da porosidade total e classificados, quanto a sua forma, por meio dos critérios estabelecidos por Bouma et al. (1977) (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação das formas dos poros pela equação $F = \text{área/perímetro}^2$.

Valores de F	Formas
> 0,04	Arredondados
0,015-0,04	Complexos
<0,015-	Alongados

Realizou-se também o cálculo de superfície específica (SE) dos poros por meio da Equação 1.

$$SE = \frac{\text{Número de poros} \times \text{Perímetro}}{(\text{Área total})} \quad (1)$$

Em cada bloco foram capturadas 10 imagens, que corresponderam às médias dos tratamentos, que foram comparadas, entre si, por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando o software SISVAR 5.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As imagens micromorfológicas das camadas de 0,00-0,15 m e 0,15-0,30 m de um Neossolo Quartzarênico sob mata nativa, vizinha ao experimento, são apresentadas na Figura 1.

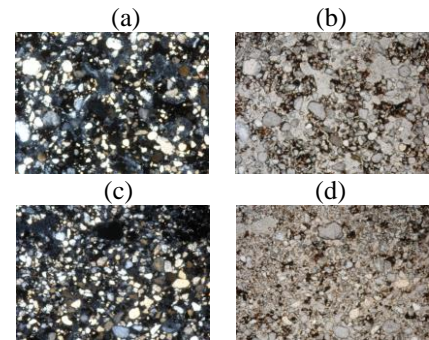


Figura 1. Imagens de lâminas delgadas de um Neossolo Quartzarênico, sob área de mata nas camadas de 0,00-0,15 m (a e b) e 0,15-0,30 m (c e d), com e sem luz polarizada (a e c), e (b e d), respectivamente, na escala de 40 μm .

As duas camadas apresentam-se bastante homogêneas, sem zonas distintas quanto a porosidade e estrutura (Figura 1). Em cada camada, registrou-se uma porcentagem de 45, 10 e 45% para o material grosso, fino e para a porosidade, respectivamente, com uma relação g/f de 4/1, adotando-se o limite de 20 μm . Identificaram-se partículas de areia grossa (35%), média (25%) e fina (20%) e partículas de silte e argila, que somados resultaram em torno de 20%. O material grosseiro apresentou-se com uma frequência muito dominante, bem selecionado, com os minerais em formato equidimensional e moderadamente arredondados. O grau de arredondamento foi identificado como sub-angular e a rugosidade da parede do tipo ondulada.

O material fino encontrou-se distribuído de forma heterogênea, o que proporcionou a identificação de pequenas zonas distintas quanto a distribuição g/f (Figura 1). Nas duas camadas, foram registradas distribuições do tipo mônica, enáulica, quitônica e



porfírica. Porém, predominou a distribuição do tipo enáulica.

O material grosseiro apresentou-se sem orientação com relação à superfície, fraca orientação de base, e sem relação entre os componentes de mesma natureza (Figura 1). A microestrutura foi classificada como apedal e muito dominante. Observaram-se pequenas zonas com pedes de estrutura granular, fracamente desenvolvidos e rugosidade da parede ondulada.

A porosidade total foi de 60%, dividindo-se em canais, empilhamentos e cavidades, com frequência de 15, 75 e 10% (Figura 1), nessa ordem, localizadas entre e intragregados, com orientação de base e por referência do tipo fraca e sem relação, respectivamente, com distribuição de base aleatória e sem relação com a referência. Quanto à formação, os poros foram classificados como bioporos e físico-gênicos.

A micromassa apresentou-se constituída de argila, silte, matéria orgânica e óxidos de ferro com coloração avermelhada e fábrica biorefringente do tipo indiferenciada (Figura 1). Identificou-se resíduos de raízes com coloração preta, límpido, de forma alongado e tamanho aproximado de 1,0 mm. Além desses, verificou-se também alguns fragmentos de carvão e, excrementos com formato esferoidal e elipsoide.

Não verificou-se distinção de médias de PT entre os distintos pontos de coleta e camadas estudadas no primeiro ano de estudo (Tabela 2). No segundo ano, observou-se uma redução da porosidade no ponto de coleta do rodado em comparação ao ponto do canteiro, em todos os tratamentos.

No primeiro ano constatou-se uma tendência de menores valores de porosidade total nas médias dos pontos situados no ponto de coleta do rodado, e na profundidade mais superficial (0,00-0,15 m), como consequência do tráfego das máquinas (Tabela 2). No segundo ano, essa tendência foi comprovada ao verificar, por meio das diferenças entre as médias, maiores valores de porosidade total no canteiro. Além disso, os tratamentos T2 e T3, que utilizaram a tecnologia do piloto automático, apresentaram maiores médias que o tratamento T1, tanto no rodado quanto no canteiro. Esse resultado corrobora com Souza et al. (2006), Piron et al. (2012) e Souza et al. (2015), ao afirmarem que em área de cana-de-açúcar tráfegada, os estudos micromorfológicos revelam uma maior porosidade total nos pontos de coleta localizados próximos da linha de plantio e do canteiro, e uma redução na conectividade dos poros nos locais sob intensa movimentação de máquinas, referente a linha

de tráfego e em alguns casos, com redução de até 90% da porosidade.

Tabela 2. Porosidade total (%) obtidas por imagens digitais de um Neossolo Quartzarênico cultivado com cana-de-açúcar manejada com piloto automático e distintos espaçamentos de plantio.

Trat.	Ponto de Coleta		Camadas (m)	
	Rodado	Canteiro	0,00-0,15	0,15-0,30
----- Porosidade total (%) -----				
Primeiro ano				
T1	27,80 Aa	36,80 Aa	31,70 Aa	32,90 Aa
T2	27,60 Aa	36,30 Aa	31,10 Aa	32,80 Aa
T3	36,20 Aa	43,20 Aa	38,50 Aa	40,90 Aa
CV (%)	30,58			
Segundo ano				
T1	20,40 Bb	33,90 Ba	25,50 Ba	28,80 Aa
T2	26,00 ABb	34,40 ABa	28,30 ABa	32,10 Aa
T3	30,50 Ab	37,40 Aa	33,10 Aa	34,80 Aa
CV (%)	29,34			

1- Cana-de-açúcar plantada com espaçamento simples (1,50 m) e manejada sem piloto automático; 2- cana-de-açúcar plantada com espaçamento simples (1,50 m) e manejada com piloto automático; 3- Cana-de-açúcar plantada com espaçamento duplo combinado (1,5 x 0,90 m) e manejada com piloto automático. Médias seguidas pela mesma letra minúsculas na linha e pela mesma letra maiúsculas na coluna, não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). CT - canteiro, LR - Linha do rodado.

Ressalta-se, que o T3 reduziu o número de ruas destinadas ao tráfego, numa área de 1 ha, de 66,66 para 41,66, em função da substituição do espaçamento simples de 1,50 m pelo espaçamento duplo combinado de 1,50 x 0,90 m (Tabela 2). Essa modificação no espaçamento proporcionou um aumento da área de canteiro, visto que o tráfego ocorre a cada 2,40 m e não há trânsito de máquinas entre as fileiras duplas. E embora, havendo igualdade entre as médias de porosidade total, no primeiro ano, o tratamento T3 apresenta uma maior totalidade de área não tráfegada e, portanto, menor risco de compactação e danos às plantas. Silva et al. (2015), verificaram uma redução da porosidade de um Latossolo Vermelho distroférrico cultivado com milho, em comparação ao solo de mesma natureza sob mata nativa, o que afirma que o uso agrícola reduz o volume de poros do solo.

Semelhante ao observado no comportamento da porosidade total, a superfície específica de poros não apresentou diferença estatística de médias entre os distintos pontos de coleta e camadas estudadas no primeiro ano (Tabela 3). No segundo ano, o tratamento T2, em que foi feito o uso do piloto automático, registrou uma menor média no ponto de coleta do rodado, em comparação ao canteiro. Entre as camadas, apenas a de 0,15-0,30 m apresentou diferença entre as médias, em que o tratamento T1, que adotou o espaçamento de 1,50 m e não fez o uso de piloto automático, apresentou menor média.



Tabela 3. Superfície específica (mm) em 2D de poros de um Neossolo Quartzarênico cultivado com cana-de-açúcar e manejado com piloto automático e distintos espaçamentos de plantio.

Trat	Ponto de Coleta		Camadas	
	Rodado	Canteiro	0,00-0,15	0,15-0,30
----- Superfície específica (mm) -----				
Primeiro ano				
T1	11,10 Aa	13,90 Aa	11,20 Aa	13,70 Aa
T2	7,70 Aa	9,50 Aa	8,14 Aa	9,11 Aa
T3	8,54 Aa	8,40 Aa	9,87 Aa	15,19 Aa
CV (%)	65,98			
Segundo ano				
T1	7,60 Aa	8,10 Aa	7,89 Aa	7,92 Ba
T2	7,40 Ab	21,30 Aa	11,33 Aa	17,44 Aa
T3	11,20 Aa	13,00 Aa	12,24 Aa	12,04 ABa
CV (%)	58,83			

1- cana-de-açúcar plantada com espaçamento simples (1,50 m) e manejada sem piloto automático; 2- cana-de-açúcar plantada com espaçamento simples (1,50 m) e manejada com piloto automático; 3- cana-de-açúcar plantada com espaçamento duplo combinado (1,5 x 0,90 m) e manejada com piloto automático. Médias seguidas pela mesma letra minúsculas na linha e pela mesma letra maiúsculas na coluna, não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

A compactação proporcionada pelo tráfego especialmente a verificada no ponto de coleta do rodado, aumenta o contato entre as partículas de solo (Roque et al., 2011). Tal efeito promove redução da superfície de exposição das partículas e por consequência, menor superfície específica de poros.

Embora não tenha sido verificada diferença estatística entre as médias dos tratamentos T1 e T3, tanto entre as camadas como nos diferentes pontos de coleta, é importante ressaltar que a zona destinada ao tráfego no T1 é maior, e, portanto, apresenta-se mais sujeita aos prejuízos da compactação.

CONCLUSÕES

O tráfego de máquinas promoveu alterações apenas no segundo ano de estudo e de forma mais intensa no ponto de coleta do rodado, que apresentou menor porosidade total.

Os tratamentos com espaçamento simples e duplo com piloto automático apresentaram maior porosidade total no segundo ano no canteiro e na camada de 0,00-0,15 m.

Na camada de 0,15-0,30 m o T1 apresentou menor superfície específica de poros.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPESP (Projeto: 2012/21094-0), pelo financiamento da pesquisa e fornecimento de bolsa ao primeiro autor. À Usina Santa Fé, por ceder a área de estudo.

REFERÊNCIA

BOUMA, J. The function of different types macro pores during saturated flow through four swelling soil horizons. *Soil Science Society of America Journal*, 41:945- 950, 1977.

BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T. & BABEL, U. Handbook for soil thin section description. Albrington: Waine Reserch, 1985.

GONÇALVES, F. C. & MORAES, M. H. Porosidade e infiltração de água do solo sob diferentes sistemas de manejo. *Irriga*, 17:337-345, 2012.

MONTANHA, G. K.; GUERRA, S. P. S.; ANDRADE-SANCHEZ, P.; CAMPOS, F. H. & LANÇAS, K. P. Consumo de combustível de um trator agrícola no preparo do solo para a cultura do algodão irrigado em função da pressão de inflação dos pneus. *Energia na Agricultura*, 26:39-51, 2011.

PIRON, D.; PÉRÈS, G.; HALLAIRE, V. & CLUZEAU, D. Morphological description of soil structure patterns produced by earthworm bioturbation at the profile scale. *European Journal of Soil Biology*, 50:83-90, 2012.

ROQUE, A. A. O.; SOUZA, Z. M.; ARAÚJO, F. S. & SILVA, G. R. V. Atributos físicos do solo e intervalo hídrico do solo de um Latossolo Vermelho distrófico sob controle de tráfego agrícola. *Ciência Rural*, 41:1536-1542, 2011.

SILVA, L. F. S.; MARINHO, M. A.; MATSURA, E. E.; COOPER, M. & RALISCH, R. Morphological and micromorphological changes in the structure of a rhodic hapludox as a result of agricultural management. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30:205-221, 2015.

SOUSA, A. C. M.; MATSURA, E. E.; ELAIUY, M. L. C.; SANTOS, L. N. S.; MONTES, C. R.; PIRES, R. C. M. Root system distribution of sugarcane irrigated with domestic sewage effluent application by subsurface drip system. *Engenharia Agrícola*, 33:647-657, 2013.

SOUZA, G. S.; SOUZA, Z. M.; COOPER, M. & TORMENA, C. A. Controlled traffic and soil physical quality of an Oxisol under sugarcane cultivation. *Scientia Agrícola*, 72:270-277, 2015.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; COOPER, M. & PEREIRA, G.T. Micromorfologia do solo e sua relação com atributos físicos e hídricos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41:487-492, 2006.

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. & HORN, R. Relações do parâmetro S para algumas propriedades físicas de solos do sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:2603-2612, 2008.

VASCONCELOS, R. F. B.; SOUZA, E. R.; CANTALICE, J. R. B. & SILVA, L. S. Qualidade física de Latossolo Amarelo de tabuleiros costeiros em diferentes sistemas de manejo de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18:381-386, 2014.