

## Estrutura anatômica de raízes de cana-de-açúcar cultivada em solo compactado

### *Anatomical structure of roots of sugarcane grown on compacted soil*

Fábio Régis Souza<sup>1</sup>, Anderson Cristian Bergamin<sup>2</sup>, Luciano dos Reis Venturoso<sup>3</sup>, Maria do Carmo Vieira<sup>4</sup>, Douglas Martins Pereira Pellin<sup>5</sup>, Rafael Montanari<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Centro Universitário da Grande Dourados (UNIGRAN), Faculdade de Ciências Exatas e da Terra, Rua Balbina de Matos, 2121, Jd. Universitário, CEP: 79824-900, Dourados, MS. E-mail: fabioagronomo@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Universidade Federal de Rondônia-UNIR, Campus de Rolim de Moura, RO

<sup>3</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), Ariquemes, RO

<sup>4</sup>Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Ciências Agrárias (FCA), Dourados, MS

<sup>5</sup>Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Ilha Solteira, SP

Recebido em: 03/11/2012

Aceito em: 15/10/2013

**Resumo.** O aumento da compactação no solo, na maioria das vezes, interfere negativamente sobre as plantas, diminuindo principalmente o crescimento das raízes. O objetivo deste trabalho foi avaliar a estrutura anatômica das raízes de cana-de-açúcar, em função da densidade do solo. As amostras de raízes e de solo indeformadas foram obtidas em três profundidades: 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m. Foi observada densidade média do solo de 1,08; 1,19 e 1,26 kg dm<sup>-3</sup> nas profundidades de 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, respectivamente. Em solo com densidade de até 1,26 kg dm<sup>-3</sup> a estrutura anatômica das raízes da cana-de-açúcar praticamente não sofreu nenhuma alteração significativa. Há uma tendência de aumento na quantidade de fibras das raízes com o aumento da densidade do solo.

**Palavras-chave.** *Saccharum spp*, densidade do solo, fibra radicular

**Abstract.** Plant development is often harmed by increased soil compaction, especially reducing root growth. The objective of this study was to evaluate the anatomic structure of sugarcane roots affected by soil density. Root and undisturbed soil samples were taken at three depths: 0.0-0.05, 0.05-0.10 and 0.10-0.20 m. Average soil density were 1.08, 1.19 and 1.26 kg dm<sup>-3</sup> in 0.0-0.05, 0.05-0.10 and 0.10-0.20 m depths, respectively. Anatomic structure of sugarcane roots in soils with density up to 1.26 kg dm<sup>-3</sup> hardly showed significant changes. The amount of root fibers tends to be increased by higher bulk density.

**Keywords.** *Saccharum spp*, soil density, root fiber

### Introdução

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) tornou-se uma das culturas de maior importância econômica em todo mundo. Este fato pode estar atribuído à sua múltipla utilização, onde a maior parte da produção está destinada para produção do açúcar e do etanol, que fez com que ao mesmo tempo em que a economia brasileira crescesse de forma mais acelerada, aumentasse consequentemente as especulações e dúvidas com relação ao seu cultivo (Dalchiavon, 2012). De acordo com Conab (2012), o setor sucroalcooleiro nacional tem uma previsão do total de cana moída na safra 2012/13 de 602,2 milhões de toneladas, com aumento de 5,4% em relação à safra 2011/12, que foi de 571,4 milhões de toneladas, significando que a quantidade que será moída deverá ser de 30,7 milhões de toneladas a mais que na safra anterior. A produção de cana da região Centro-Sul deve ser de 532,0 milhões de

toneladas, 6,1% maior que a produção da safra anterior.

Com a maximização do processo produtivo da cana-de-açúcar, esta ocorrendo à substituição da mão de obra pelo uso de máquinas e equipamentos agrícolas, que estão cada vez maiores e mais pesados, intensificando o processo de compactação do solo. Solos submetidos à compactação sofrem mudanças no seu teor de umidade, porosidade total, número e tamanho de poros, temperatura e resistência do solo à penetração, as quais são dependentes da textura, estrutura, densidade, característica do perfil do solo, entre outros. Alterações nessas propriedades devido à compactação do solo, na maioria das vezes, atuam negativamente sobre as plantas, diminuindo o crescimento das raízes, reduzindo a absorção de água e nutrientes, e a difusão dos nutrientes no solo (Souza et al., 2006; Souza et al., 2010).

Solos compactados podem impedir o crescimento de raízes, diminuir o volume de solo explorado pelo sistema radicular (Montanari et al., 2012), alterar a penetração, ramificação e distribuição destas no perfil do solo (Silva et al., 2004). As raízes sofrem modificações morfológicas (Guimarães & Moreira, 2001) e fisiológicas (Materechera et al., 1992), podendo também ocorrer alterações anatômicas, visando minimizar os efeitos do menor volume de solo explorado pelo reduzido sistema radicular.

Diversos trabalhos têm mostrado o sistema radicular, a nutrição e a produção de cana-de-açúcar em relação à compactação do solo, mas praticamente não há os que analisam a estrutura anatômica. Em feijão, Jaramilho et al. (1992) analisaram no sistema radicular do feijoeiro o diâmetro e a quantidade de vasos de metaxilema em função de diferentes estados de compactação no solo. Voltan et al. (2000) não verificaram diferenças no espessamento das paredes celulares dos elementos de vaso do xilema de soja, cultivada com densidade do solo máxima de  $1,5 \text{ kg dm}^{-3}$ . Estes autores também verificaram que o aumento da densidade do solo não alterou a razão entre o raio interno e externo ao câmbio vascular das raízes de soja. Já Baligar et al. (1975) trabalhando com densidades do solo mais altas, variando de 1,6 a  $1,95 \text{ kg dm}^{-3}$  observaram variações anatômicas na raiz de soja.

Para Bennie (1996) é difícil generalizar conclusões, pois a influência da compactação do solo sobre o sistema radicular está em função de diversos fatores, que dependem das características do vegetal, das condições ambientais e do estágio de desenvolvimento da planta. Mesmo com os mecanismos de adaptação às adversidades ambientais que a planta possui, os condicionantes impostos pela compactação do solo podem alcançar situações críticas e até impeditivas do crescimento da planta (Carvalho et al., 2012).

Por isso são poucos os trabalhos realizados com este enfoque, mas mesmo com estas dificuldades são de suma importância para buscar esclarecer como as plantas conseguem se desenvolver e produzir em um ambiente com algum estado de compactação no solo. Assim é necessário estudar a anatomia de raízes para entendimento de quais são, os mecanismos que a planta utiliza para sobreviver e produzir, quando cultivada em solo compactado.

O objetivo desta pesquisa foi avaliar a estrutura anatômica das raízes de cana-de-açúcar, em função da densidade dos solos compactados.

## Material e Métodos

A coleta das raízes de cana-de-açúcar foi realizada na propriedade pertencente à Usina Dourados, localizada na Rodovia Dourados-Itahum, Km 30, Dourados - MS. A cultivar de cana-de-açúcar utilizada foi a RB 72454, sendo esta de primeiro ano de cultivo e com aproximadamente dez meses. O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico de textura argilosa (Embrapa, 2006).

Para o estudo do sistema radicular em função dos níveis de compactação, foi selecionada a área em que o solo aparentemente estava em estado compactado. Foram abertas trincheiras de 1,5 m de comprimento paralelas à linha de plantio (distante 0,05 m das plantas) a 0,4 m de profundidade e 1 m de largura. As amostras para determinações da densidade do solo foram obtidas em três profundidades: 0,0-0,05; 0,05-0,10; e 0,10-0,20 m, utilizando anéis volumétricos de  $100 \text{ cm}^3$ , sendo determinada segundo (Claessen, 1997) .

Na mesma trincheira, foram coletadas as amostras de raízes, sendo selecionadas duas plantas na trincheira e coletadas as raízes nas profundidades de 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10 a 0,20 m para os posteriores estudos anatômicos. As raízes foram lavadas para separação da massa de solo e em seguida cortadas em fragmentos de 0,5 cm, fixados em formalina-acetato-álcool etílico 50 % (F. A. A. 50%) e armazenadas em geladeira por três dias até o início do processo de desidratação (Daykin & Hussey, 1985). Posteriormente, foi feita a desidratação em série alcoólica, sendo incluídos em parafina, que em seguida foi substituída por paraplast. Foram feitos cortes transversais de  $12 \mu\text{m}$  de espessura, em micrótomo rotativo, submetendo-os à coloração com safranina orange G - fast green FCF (Hagquist, 1974). Após serem montadas as lâminas permanentes, as imagens foram obtidas usando um microscópio de ocular micrométrica. Em cada amostra de raízes da cana-de-açúcar por profundidade foram feitas duas sub-amostras, sendo posteriormente escolhida e fotografada somente a que estava em melhor estado de visualização.

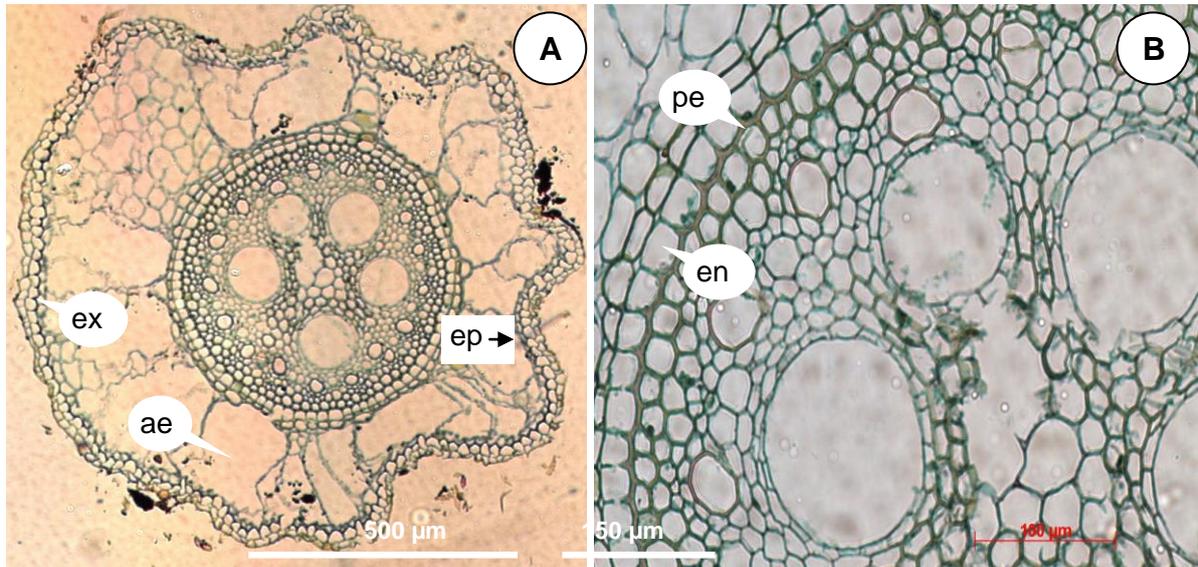
Para verificar o efeito da compactação do solo sobre o sistema radicular, optou-se por fazer uma análise descritiva da estrutura anatômica da raiz, pois, as raízes apresentavam diversas fases de desenvolvimento, uma vez que as amostras foram retiradas em diferentes posições quanto ao ápice da planta, isto em todas as profundidades. Assim, observar o diâmetro das raízes não seria comparável.

## Resultados e Discussão

A estrutura anatômica das raízes de cana-de-açúcar apresenta o cilindro vascular limitado externamente pela endoderme, córtex, exoderme e

epiderme e, internamente, pela medula. A epiderme possui uma camada de células que circunda a raiz, sendo uniforme e, logo abaixo desta, nota-se a exoderme, que é bicariada (Figura 1A). A zona

cortical ou córtex é constituído por células parenquimatosas e cuja camada mais interna é a endoderme, que é formada por camada de células com espessamento em “U” (Figura 1B).



**Figura 1.** Cortes transversais de raízes de cana-de-açúcar, provindos de solo na profundidade de 0-5 cm. A e B. ae = aerênquima; ep = epiderme; ex = exoderme; en = endoderme; e pe = periciclo.

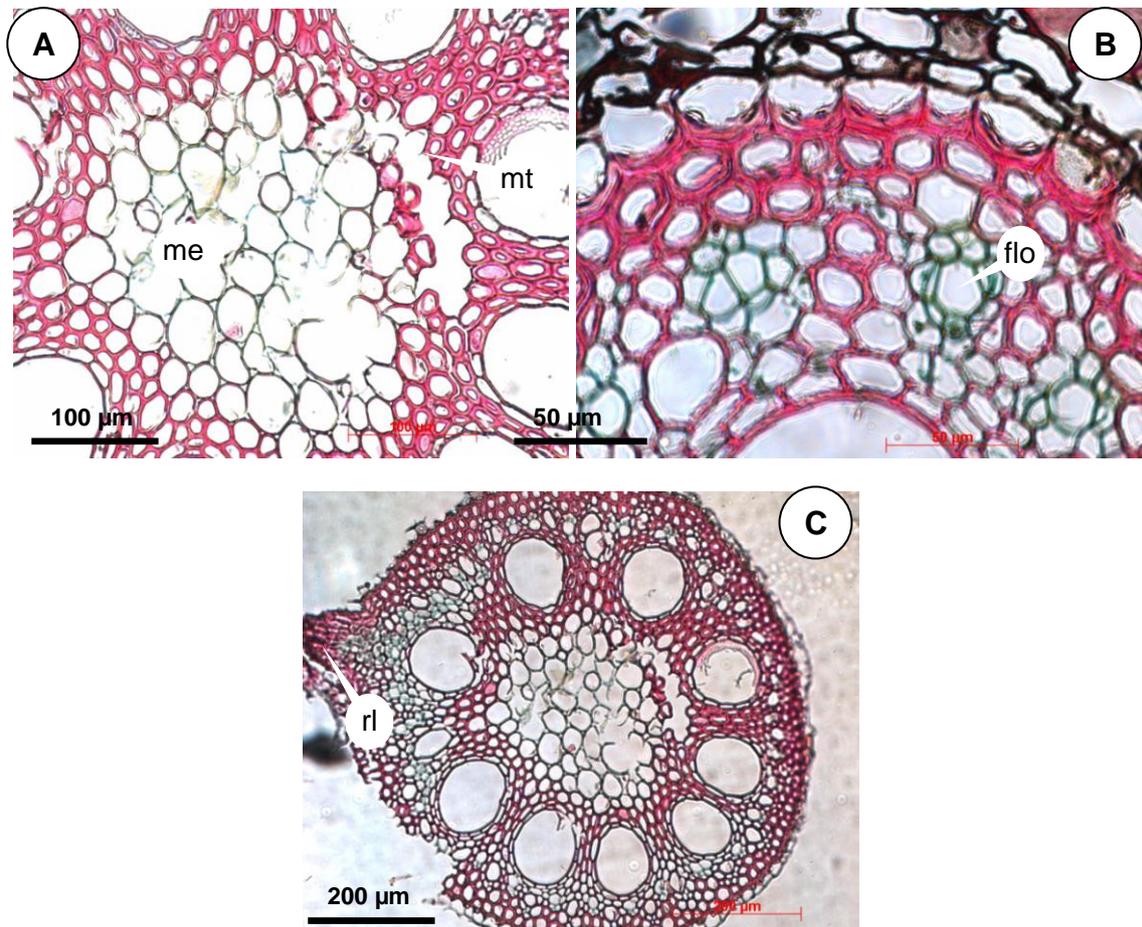
Com o desenvolvimento das raízes, as células do córtex vão sendo destruídas, formando grandes espaços intercelulares, denominados aerênquima (Figura 1A). A medula esta situada no centro do cilindro central, formada por células arredondadas e parenquimatosas, com poucos espaços intercelulares (Figura 2B).

No cilindro central é encontrado o sistema vascular que é revestido por uma camada de células contínua e lignificada, formando o periciclo (Figura 1B); feixes de xilema e de floema. No sistema vascular, as células do protoxilema e do protofloema estão mais na extremidade do feixe, e as células do metaxilema e metafloema na zona mais interna do feixe. Devido à disposição dos feixes vasculares que apresentam uma posição circular, dá-se o nome das raízes de estrutura poliarca. Na parede do metaxilema evidencia-se vaso pontuado (Figura 2A). O xilema é composto por: elementos condutores, traqueídes e elementos de vaso; células parenquimatosas; e pode vir a apresentar fibras. Nas paredes destes feixes encontram-se placas de perfuração. O floema é constituído por elementos de

tubo crivado; células companheiras; células parenquimatosas e podem apresentar fibras.

Nas raízes de cana-de-açúcar pode ser visualizada a formação de raiz lateral, desenvolvida a partir de células do periciclo (Figura 2C), formando um sistema radicular ramificado.

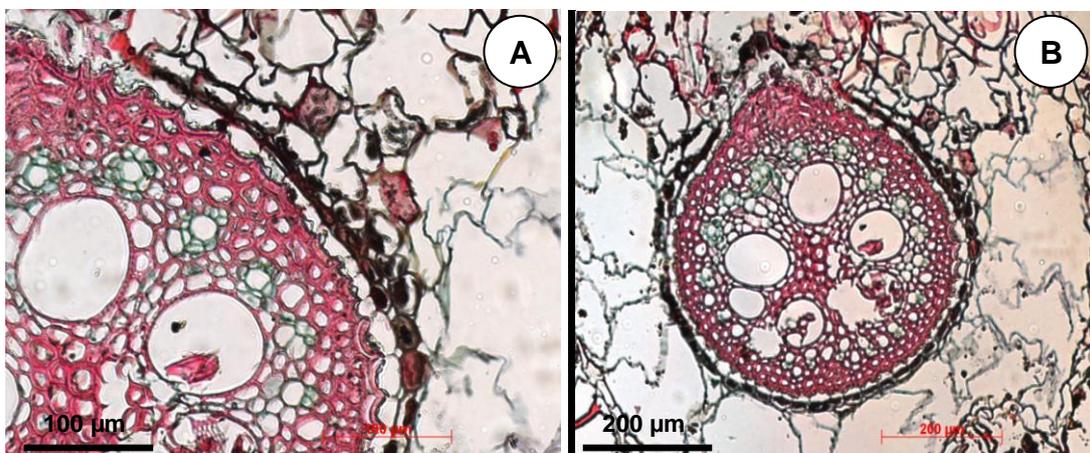
A densidade do solo variou em função das diferentes profundidades e também dentro de cada profundidade estudada. Assim foi estabelecido um valor médio de densidade do solo para cada profundidade. Foi observada densidade média do solo de 1,08; 1,19 e 1,26 kg dm<sup>-3</sup> nas profundidades 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade, respectivamente. Diversos autores estudaram a compactação do solo, mas ainda não se tem um consenso sobre qual o valor de densidade do solo que acima deste o solo é considerado compactado (Richart et al., 2005). Para De Maria et al. (1999) densidade do solo acima de 1,2 kg dm<sup>-3</sup> em Latossolo Roxo, interfere negativamente no desenvolvimento do sistema radicular.



**Figura 2.** Cortes transversais de raízes de cana-de-açúcar, provindos de solo na profundidade de 5 – 10 cm. **A, B e C.** flo = floema; me = medula; mt = metaxilema e rl = raiz lateral.

Souza et al. (2010) verificaram, em um Latossolo Vermelho eutrófico, trabalhando com a geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, valores de densidade do solo de 1,56 e 1,58 kg dm<sup>-3</sup> nas profundidades de 0,00-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente. Os autores afirmam que esse valor de densidade do solo é muito alto e restringe o desenvolvimento do sistema

radicular da cultura da cana-de-açúcar nas duas profundidades estudadas aumentando a compactação e diminuindo a macroporosidade do solo. Assim os valores de densidade do solo encontrados neste experimento nas profundidades de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, estariam comprometendo o desenvolvimento do sistema radicular das plantas.



**Figura 3.** Cortes transversais de raízes de cana-de-açúcar, provindos de solo na profundidade de 10 - 20 cm. **A e B.**



Analisando a estrutura anatômica das raízes, pode-se notar que em local mais compactado (0,05-0,10 e 0,10-0,20 cm de profundidade) (Figura 2 e 3) há uma maior concentração de fibras em relação às raízes que se desenvolveram na profundidade com menor densidade (0,0-0,05 m de profundidade) (Figura 1). Quanto à quantidade de vasos de metaxilema, foi observado que as raízes desenvolvidas na profundidade de 0,05-0,10 m (Figura 2) de profundidade apresentaram dez vasos de metaxilema, enquanto que nas profundidades de 0,0-0,05 e 0,10-0,20 m essa quantidade caiu para cinco (Figura 1 e 3). Jaramillo et al. (1992) estudando a anatomia de raízes de feijão, observaram que maiores valores de densidade do solo aumenta a quantidade de vasos de metaxilema nas raízes, mas diminui o diâmetro destes.

Os resultados encontrados no experimento não seguiram esta tendência, isto pode estar relacionado com a diferença no estágio de desenvolvimento das raízes, pois estas foram obtidas de diferentes locais em relação ao ápice da planta. Para Voltan et al. (1998) a quantidade de vasos de metaxilema esta relacionada com o estágio de desenvolvimento em que a raiz se encontra, podendo esta quantidade chegar até quinze em raízes mais velhas.

O córtex de raízes de cana-de-açúcar pode apresentar aerênquima. Estes são oriundos da desintegração das células do córtex e têm a finalidade de melhorar a aeração nas raízes. Assim, está presente em raízes que se desenvolvem em locais alagados e áridos (Esau, 1977). No trabalho foi observada a presença de aerênquima em raízes obtidas na profundidade de 0,0-0,05 m (Figura 1A). Isto mostra que esta raiz poderia estar sofrendo algum tipo de restrição à aeração no pequeno volume de solo em que estaria ocupando, fazendo com que esta viesse a apresentar aerênquima, mesmo na profundidade em que apresentou os menores valores médios de densidade do solo. De acordo com Voltan et al. (1998) solos com maiores densidades, estimulam o aumento na espessura do córtex de raízes de cana-de-açúcar, onde há presença de aerênquima, favorecendo a aeração.

### Conclusão

Em solo com densidade de até 1,26 kg dm<sup>-3</sup> a estrutura anatômica das raízes de cana-de-açúcar praticamente não sofre nenhuma alteração.

Há uma tendência de aumento na quantidade de fibras das raízes com o aumento da densidade do solo.

### Referências

BALIGAR, V.C.; NASH, V.E.; HARE, M.L.; PRICE JÚNIOR, J. A. Soybean root anatomy as influenced by soil bulk density. **Agronomy Journal**, v.67, p.842-844, 1975.

BATISTA, L.A.; GUIMARÃES, R. J.; PEREIRA, F.J.; CARVALHO, G. R.; CASTRO, E. M. Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.3, p. 475-481, 2010.

BENNIE, A.T.P. Growth and mechanical impedance. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U (Eds). **Plant roots: the hidden half**. 2ed, New York: Marcel Dekker, 1996. p.453-470.

CARVALHO, L.A.; MEURER, I.; SILVA JÚNIOR, C.A.; CENTURION, J.F. Spatial variability of soil physical properties in two management systems in sugarcane crop. **Engenharia. Agrícola**, 2012, v.32, n.1, p.60-68.

COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Cana-de-açúcar. **Quadro Comparativo de Área, Produção e Produtividade, Safra 2012/2013 - 1º Levantamento**. Abril 2012. Brasília, 2012. 19p. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb>>. Acessado em 20 de setembro 2012.

CLAESSEN, M.C.E. **Manual de métodos de análise do solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997.212p.

DALCHIAVON, F.C. **Correlações de pearson e geoestatísticas entre a produtividade de cana-de-açúcar, estabelecida em dois métodos de colheita, e atributos físico-químicos do solo**. 2012. 110p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, SP, Brasil.

DAYKIN, M.E.; HUSSEY, R.S. Staining and histopathological techniques in nematology. In: **An advanced treatise on Meloidogyne**. BARKER, K. R.; CARTER, C.C.; SASSER, J.N. (Eds). Raleigh, North Carolina State University Graphics, 1985, p.39-48.

- DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; DIAS, H.S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.23, p.703-709, 1999.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ed. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS, 2006. 306 p.
- ESAU, K. **Anatomy of seed plants**. 2 ed. New York, John Wiley, 1977. 550p.
- GUIMARÃES, C.M.; MOREIRA, J.A.A. Compactação do solo na cultura do arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.4, p.703-707, 2001.
- HAGQUIST, C.W. Preparation and care of microscope slides. **Am. Biol. Teacher**, v.36, p.414-417, 1974.
- JARAMILLO, G.; WHITE, J.W.; CRUZ, G. de la. The effect of soil compaction on differentiation of late metaxylem in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Annals of botany**, v.70, p.105-110, 1992.
- MATERECHERA, S.A.; ALSTON, A.M.; KIRBY, J. M.; DEXTER, A. R. Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. **Plant and Soil**, v.144, p. 297-303, 1992.
- MONTANARI, R.; PELLIN, D.M.P.; ZAMBIANCO, E.C.; CORRÊA, A.R.; CARVALHO, MOREL de PASSOS; DALCHIAVON, F. C. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho correlacionados linear e espacialmente com a consorciação de guandu com milheto. **Revista Ceres**, v. 59, p. 125-135, 2012
- RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R.F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, v.26, n.3, p.321-344, 2005.
- SOUZA, Z.M.; CAMPOS, M.C.C.; CAVALCANTE, Í. H. L.; MARQUES JÚNIOR, J.; CESARIN, L. G.; SOUZA, S. R. Dependência espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água do solo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v.36, n.1, p.128-134, 2006.
- SOUZA, Z.M.; CERRI, D.G.P.; MAGALHÃES, P. S.G.; CAMPOS, M.C.C. Correlação dos atributos físicos e químicos do solo com a produtividade de cana-de-açúcar. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.8, p.183-190, 2008.
- SILVA, A.P.; IMNHOFF, S.; KAY, B. Plant response to mechanical resistance and air-filled porosity of soils under conventional and no-tillage system. **Scientia Agrícola**, v.61, n.4, p.451-456, 2004.
- SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v.40, n.1, p.48-56, 2010.
- VOLTAN, R. B. Q.; PRADO, H.; MORETTI, F. C. Aspectos estruturais de raízes de cana-de-açúcar sob efeito da compactação do solo. **Bragantia**, v.57, n.1, p.49-55, 1998.
- VOLTAN, R.B.Q.; NOGUEIRA, S.S.S.; MIRANDA, M.A.C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.5, p.929-938, 2000.