

Modificações no solo por práticas agrícolas

Changes in soil characteristics caused by cultural practices

Gustavo Adolfo de Freitas FREGONEZI^{1,2}; Carlos Roberto ESPINDOLA³

¹ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor; Bolsista da CAPES

² Autor para correspondência - Professor Colaborador do Departamento de Agronomia, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Estadual de Londrina- UEL. Rua Conrado Sheller, 216; Jardim Vila Rica; CEP 86192430; Cambé – PR; gustavofregonezi@yahoo.com.br

³ Professor Colaborador da Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI, Universidade Estadual de Campinas – Unicamp; carlospindola@uol.com.br

Resumo

As mudanças no cenário agrícola e mundial têm exigido a adoção de manejos que minimizem os impactos ambientais, além de proporcionar maior produtividade, atendendo à demanda por alimentos e energia futura. O estudo foi realizado no ano de 2002, na região norte do Estado do Paraná (município de Rolândia). Empregou-se o perfil cultural para amostrar e avaliar as modificações. Nas “unidades morfológicamente homogêneas” identificadas nos perfis foram retiradas amostras para densidade de partículas, densidade do solo, porosidade total e teor de carbono orgânico. As principais modificações encontradas restringiram-se aos primeiros 0,45 m da superfície, sendo que o sistema de cultivo contínuo com cana-de-açúcar e o sistema plantio direto apresentaram redução de 15 a 20% na porosidade do solo. O sistema plantio direto devolve ao solo quantidades mais apreciáveis de carbono do que o sistema convencional. O método do perfil cultural permitiu a percepção das principais alterações encontradas nos tratamentos.

Palavras-chave adicionais: estrutura; porosidade; matéria orgânica; plantio direto; cana-de-açúcar

Abstract

Changes in world agricultural scenario have imposed the adoption of management systems capable of minimizing environmental impacts in addition to increasing productivity so as to meet future food and energy demands. This study was carried out in 2002, in Rolândia, state of Paraná, Brazil. The cultural profile was used to sample and evaluate the modifications. In the morphologically homogeneous units identified in the profiles, samples were taken to determine particle density, soil density, total porosity, and organic carbon level. The most important modifications found were restricted to the first 0.45 m deep soil layer - the continued cultivation of sugar cane and the minimum tillage system resulted in reductions from 15 to 20% in soil porosity. The minimum tillage sowing system returns higher amounts of carbon to the soil than the conventional one. The cultural profile method permitted the perception of the most important alterations taking place in the soil.

Additional keywords: structure; porosity; organic matter; direct sowing; sugar cane

Introdução

Nos últimos, anos têm-se observado grandes mudanças na agricultura do Brasil e do mundo, influenciadas pelo aumento da demanda por produtos agrícolas, ocasionando aumento dos custos de produção, principalmente dos fertilizantes. Além disso, tem-se verificado maior frequência de estiagens, acompanhadas de modificações no uso da terra, com virtual aumento da área com cana-de-açúcar para a produção de etanol. Estas modificações no cenário agrícola têm exigido dos produtores rurais a adoção de práticas que visam a reduzir impactos gerados no processo de produção, tais como: maior organização e planejamento gerencial, diagnósticos precisos e rápidos sobre o comportamento

do mercado, que passaram a ser itens obrigatórios para se permanecer na atividade.

Muitos investimentos em usinas de álcool foram feitos sem o devido planejamento, resultando em grande número funcionando abaixo da capacidade instalada por falta de matéria-prima (cana) devido a baixas produtividades, acrescido do problema das estiagens cada vez mais frequentes, exigindo um planejamento mais amplo para a propriedade, procurando evitar quebras significativas na produção.

Para alcançar a produtividade planejada, faz-se necessário conhecer as variedades mais produtivas, os atributos do solo, além de escolher a época mais adequada de semeadura ou plantio. O conhecimento do comportamento químico e físico do solo, ligado à nutrição das cultu-

ras, constitui peça fundamental para um diagnóstico mais preciso da situação, na programação das práticas agrícolas para as épocas mais adequadas.

A coleta de amostras em secções verticais do solo (perfis), em geral, é precedida pelas tradicionais descrições morfológicas (SANTOS et al., 2005), retirando-se de cada horizonte a ser investigado material deformado ou indeformado para análises laboratoriais. Avaliações visuais são imprescindíveis para essa finalidade, referidas por SHEPHERD (2000) como "Visual Soil Assessment". O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos estabeleceu critérios para avaliação visual de certas características do solo mediante diagnósticos práticos e rápidos, usando um kit denominado "Soil Quality Test Kit" (USDA-ARS, 1998).

Preocupações dessa natureza haviam sido já esboçadas por GARLYND et al. (1994), procurando associar caracteres descritivos a análises de laboratório. Com esse escopo, AMADO et al. (2007) avaliaram a qualidade do solo pelo "Soil Quality Test", no Rio Grande do Sul, e NIERO (2009) desenvolveu pesquisa a partir da "Avaliação Visual do Solo"- AVS, de um Latossolo Vermelho distroférico de Campinas (SP), tendo encontrado bons resultados, por comparação com as tradicionais análises de laboratório.

No procedimento empregando o "perfil cultural" (MANICHON, 1995; TAVARES FILHO et al., 1999; PICCININ, 2005; FREGONEZI, 2006), em prosseguimento a investigações anteriores (FREGONEZI et al., 2001), valorizou-se a observação visual ao ter-se estabelecido os diferentes volumes, denominados por TAMIA et al. (1999) como "unidades morfológicamente homogêneas" – UMHs, para se efetuar as coletas das amostras. As UMHs são advindas do trabalho do solo pelas práticas de manejo, tal como o esforço diferencial aplicado pelo "rodado" das máquinas e implementos agrícolas.

Em geral, os valores de densidade, porosidade e matéria orgânica refletem a adequação, ou não, das práticas adotadas (CENTURION et al., 2004). No sistema convencional com cana-de-açúcar colhida com queima, ocorrem operações de preparo e cultivo anual, aumentando a oxigenação, o que acelera a decomposição da matéria orgânica (SILVA et al., 1998; CORRÊA, 2002; GÔES et al., 2005). A queima também diminui o conteúdo de matéria orgânica no solo, segundo observações de diversos autores (CEDDIA et al., 1999; CERRI et al., 2003; CHAER & TÓTOLA, 2007). Com menor teor de matéria orgânica, o solo tem sua estrutura modificada, aumento de densidade (DOMINGOS et al., 2009) e redução da porosidade (CENTURION et al., 2007).

No sistema plantio direto, existem trabalhos que indicam um aumento da densidade e redução da porosidade dos solos submetidos a esse sistema (TORMENA et al., 1998; SILVA et al., 2003), sempre decorrentes dos reduzidos teores de matéria orgânica. O aumento da densidade pode ser provocado pelas máquinas utilizadas no sistema de plantio direto (SPD) ou ocorrerem de forma natural pela atividade biológica (BROSSARD et al., 2012) e pelo crescimento das raízes ou peso das árvores (SCOPEL et al., 1992). Segundo RANGEL & SILVA, (2007), quando manejado de forma adequada, o SPD resulta em aumento da matéria orgânica no solo e maior equilíbrio no sistema.

A avaliação dos atributos do solo deve ser efetuada mediante rigorosa coleta, no campo, de amostras que realmente revelem a qualidade do solo, sabendo-se que tais atributos sofrem modificações diferenciadas nas distintas UMHs. Os objetivos deste trabalho foram verificar as modificações de atributos físicos (densidade do solo e porosidade) e o teor de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho distroférico de Rolândia (PR), submetido, durante oito anos, a sistema convencional em cana-de-açúcar e em sistema de plantio direto em trigo, utilizando para coleta de amostras as UMHs determinadas na descrição do perfil cultural.

Material e métodos

O experimento foi realizado em área da Cooperativa Agrícola de Rolândia, localizada na Fazenda Jaú (23°30'S, 51°20'W), Rolândia (PR), no ano de 2002, em um Latossolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 2006). A vegetação original é perenifólia a subperenifólia, o clima Cfa (Köppen), e o relevo é caracterizado como suave ondulado a praticamente plano, com excelente potencial agrícola para culturas de ciclo curto e de ciclo longo, como tem sido verificado nas explorações agrícolas praticadas nessa região (EMBRAPA – IAPAR, 1984).

Foram estabelecidos três tratamentos para avaliação dos atributos do solo:

a) uma parcela de dois hectares com cana-de-açúcar há oito anos em produção contínua sob sistema convencional de manejo (SC), utilizando arado e grade para preparar o solo; b) uma parcela de dois hectares com trigo em rotação com soja, milho, aveia e milheto, no sistema plantio direto (SPD) há oito anos, e c) um pequeno fragmento vegetal de mata natural (MN), cujos atributos avaliados foram usados como referência às modificações estudadas.

Tanto as áreas com cana-de-açúcar no SC de manejo como o tratamento com trigo no SPD haviam sido anteriormente cultivadas com café, desde o início da década de 70.

O SC com cana-de-açúcar obedece exatamente às práticas de manejo adotadas pelos produtores da região, empregando um espaçamento entre linhas de plantio de 1,30 m. Antecedendo ao plantio, em geral é realizada uma amostragem do solo, de 0 a 0,30 m, utilizando-se do índice de saturação por bases (V%) entre 70 e 80 % para a correção do solo. Na colheita, é usado o corte manual; após a queima, a cana-de-açúcar é enleirada e recolhida com tratores até os caminhões que transportam o produto para a usina. No início da brotação, são realizados o enleiramento da palha, o controle de plantas daninhas e o cultivo das soqueiras, com um implemento específico que realiza três operações (escarificação, adubação e gradagem): a tripla operação. No fim do perfilhamento, realiza-se a adubação de cobertura.

Antes da implantação do SPD, o solo foi corrigido de modo a perfazer uma saturação por bases entre 70 e 80 %. Foi adotado um sistema de rotação, utilizando-se das seguintes culturas: trigo, aveia, milho – inverno; soja, milho e milheto (antes do plantio da soja) – verão. Nesse sistema, aveia e milheto são utilizados como adubos verdes em uma parte da área, sendo que, após algumas safras, todas as áreas acabam recebendo a adubação verde. Antes do plantio, são utilizados herbicidas para o controle de plantas daninhas. Na avaliação, a área estava com a cultura de trigo.

As observações, descrições e tomadas de amostras foram efetuadas no final da estação chuvosa do ano agrícola de 2002, em seis trincheiras abertas em cada sistema de manejo, onde foram realizadas as descrições morfológicas dos perfis de solos, empregando o procedimento do perfil cultural (MANICHON, 1995), modificado por TAVARES FILHO et al. (1999), conforme utilizado por PICCININ (2005) e FREGONEZI et al. (2001), delimitando cada UMH diferenciada no horizonte, tanto na vertical quanto na horizontal. Diferentemente das descrições pedológicas, o perfil cultural permite a diferenciação de mais de uma UMH na mesma profundidade. Por isso, as trincheiras foram abertas com 1.3 m de comprimento x 1.0 m de largura x 1.0 m de profundidade, perpendicularmente às linhas de cana-de-açúcar e de trigo, com as mesmas dimensões na MN. Para a cana-de-açúcar, foram descritas duas linhas por trincheira, e para o trigo, nove linhas.

O significado da simbologia de cada UMH encontrada nas tabelas e figuras pode ser observado abaixo, e é uma adaptação do descrito por TAVARES FILHO et al. (1999):

L μ = torrões soltos, não compactos e com alta porosidade visível;

L $\Delta\mu$ = torrões soltos, com média porosidade visível;

F $\Delta\mu$ = porosidade fissural e de empilhamento de agregados arredondados;

F $\mu\Delta$ = porosidade fissural, torrões em processo de compactação, mas que ainda guardam predominantemente as características do estado não compacto μ ;

C μ = típica estrutura encontrada nos Latossolos, correspondente ao horizonte Bw;

gt = grandes torrões;

pt = pequenos torrões resultantes da atividade antrópica ou biológica.

Para cada UMH identificada, foram retiradas amostras indeformadas e deformadas para as análises físicas e químicas. As profundidades de amostragem dependeram do tamanho da UMH, como pode ser observado nas Figuras 1; 2 e 3. As análises e os métodos empregados foram: a) densidade do solo - método do querosene em torrões (MATHIEU & PIELTAIN, 1998); b) granulometria - método da pipeta, empregando NaOH como dispersante; c) densidade de partículas - método do álcool etílico; d) volume total de poros - calculado a partir da densidade do solo e da densidade de partículas, determinada pelo método do balão volumétrico; e) carbono orgânico por oxidação com dicromato de potássio; sendo b), c) e d) realizados segundo EMBRAPA (1999).

Para a análise estatística, foram considerados como tratamentos os sistemas de manejo (sistema convencional com cana-de-açúcar, sistema plantio direto com trigo e a área com MN como referência); como repetições, as trincheiras (seis por tratamento). Os resultados foram submetidos à análise de variância, complementada com o teste de comparação de médias (Tuckey), ao nível de 1% de probabilidade.

Resultados e discussão

Os resultados referentes à análise granulométrica e à densidade de partículas de cada uma das UMHs estão expostos nas Tabelas 1 e 2.

A representação gráfica esquemática das UMHs, em cada sistema de manejo praticado, pode ser visualizada nas ilustrações que se seguem. Na Figura 1, estão representadas as UMHs encontradas nos perfis culturais sob cultura de cana-de-açúcar (SC), idealizadas como um “perfil representativo” das seis trincheiras. O mesmo ocorre na Figura 2, representando um “perfil representativo” das seis trincheiras analisadas para o trigo em SPD, e na Figura 3, um perfil representativo da área de referência com Mn.

Os resultados de densidade do solo podem ser observados na Figura 4 e revelam que as UMHs 1 (L $\Delta\mu$ pt) e 2 (L $\Delta\mu$ pt) do SC com cana-de-açúcar apresentaram valores mais ele-

vados do atributo, com 1,63 e 1,54 kg dm⁻³, respectivamente, diferindo significativamente da UMH 11 (L μ pt) da MN, de 1,36 kg dm⁻³.

Tabela 1 - Granulometria das unidades morfologicamente homogêneas (UMHs) analisadas. *Soil granulometry of the morphologically homogeneous units (UMH)*.

UMHs	Profundidade (m)	argila (g kg ⁻¹)	silte	areia
1 SC (Cana-de-açúcar) - L $\Delta\mu$ pt	0 - ~ 0,05	619	245	136
2 SC (Cana-de-açúcar) - L $\Delta\mu$ pt	0 - ~ 0,05	638	204	158
3 SC (Cana-de-açúcar) - L $\Delta\mu$	~ 0,05 - ~ 0,30 cm	660	183	157
4 SC (Cana-de-açúcar) - F $\Delta\mu$	~ 0,10 - ~ 0,35 cm	718	131	151
5 SC (Cana-de-açúcar) - F $\mu\Delta$	~ 0,35 - ~ 0,75 cm	783	118	99
6 SC (Cana-de-açúcar) - C μ	> ~ 0,75 cm	753	134	113
7 SPD (Trigo) - L $\Delta\mu$	0 - ~ 0,03	660	198	142
8 SPD (Trigo) - F $\Delta\mu$	~ 0,03 - ~ 0,30	696	188	116
9 SPD (Trigo) - F $\mu\Delta$	~ 0,30 - ~ 0,75	787	128	85
10 SPD (Trigo) - C μ	> ~ 0,75	732	164	104
11 Mn - L μ pt	~ 0,05 - ~ 0,16	644	221	135
12 Mn - F $\Delta\mu$	~ 0,16 - ~ 0,45	668	205	127
13 Mn - F $\mu\Delta$	~ 0,45 - ~ 0,75	806	115	79
14 Mn - C μ	> ~ 0,75 cm	803	123	74

Tabela 2 - Densidade das partículas nas unidades morfologicamente homogêneas (UMHs) analisadas. *Particle density in the morphologically homogeneous units (UMH)*.

UMHs	Profundidade (m)	Densidade de partículas (kg dm ⁻³)	Desvio padrão
1 SC (Cana-de-açúcar) - L $\Delta\mu$ pt	0 - ~ 0,05	2,47	0,06
2 SC (Cana-de-açúcar) - L $\Delta\mu$ pt	0 - ~ 0,05	2,48	0,09
3 SC (Cana-de-açúcar) - L $\Delta\mu$	~ 0,05 - ~ 0,30	2,51	0,06
4 SC (Cana-de-açúcar) - F $\Delta\mu$	~ 0,10 - ~ 0,35	2,50	0,03
5 SC (Cana-de-açúcar) - F $\mu\Delta$	~ 0,35 - ~ 0,75	2,43	0,03
6 SC (Cana-de-açúcar) - C μ	> ~ 0,75	2,47	0,06
7 SPD (Trigo) - L $\Delta\mu$	0 - ~ 0,03	2,48	0,05
8 SPD (Trigo) - F $\Delta\mu$	~ 0,03 - ~ 0,30	2,46	0,04
9 SPD (Trigo) - F $\mu\Delta$	~ 0,30 - ~ 0,70	2,45	0,05
10 SPD (Trigo) - C μ	> ~ 0,75	2,44	0,07
11 Mn - L μ pt	~ 0,05 - ~ 0,16	2,40	0,05
12 Mn - F $\Delta\mu$	~ 0,16 - ~ 0,45	2,50	0,06
13 Mn - F $\mu\Delta$	~ 0,45 - ~ 0,75	2,46	0,03
14 Mn - C μ	> ~ 0,75	2,45	0,06

O cultivo, seja pelo sistema convencional, seja pelo direto, origina estruturas mais compactas (Δ), o que, segundo Fernandes (1979) e Freitas (1987), decorrem do intenso tráfego de maquinário durante as operações de manejo e colheita, sendo mais acentuadas na entrelinha da cultura (UMH 2 - L $\Delta\mu$). ASSIS & LANÇAS (2005) constataram, na mata nativa,

menor densidade do solo em camadas superficiais e relacionaram este fato ao maior teor de matéria orgânica, o que também foi observado no presente trabalho. Não foi possível coletar torrões para análise de densidade da UMH 7 (L $\Delta\mu$) do SPD com trigo, devido à sua pequena espessura.

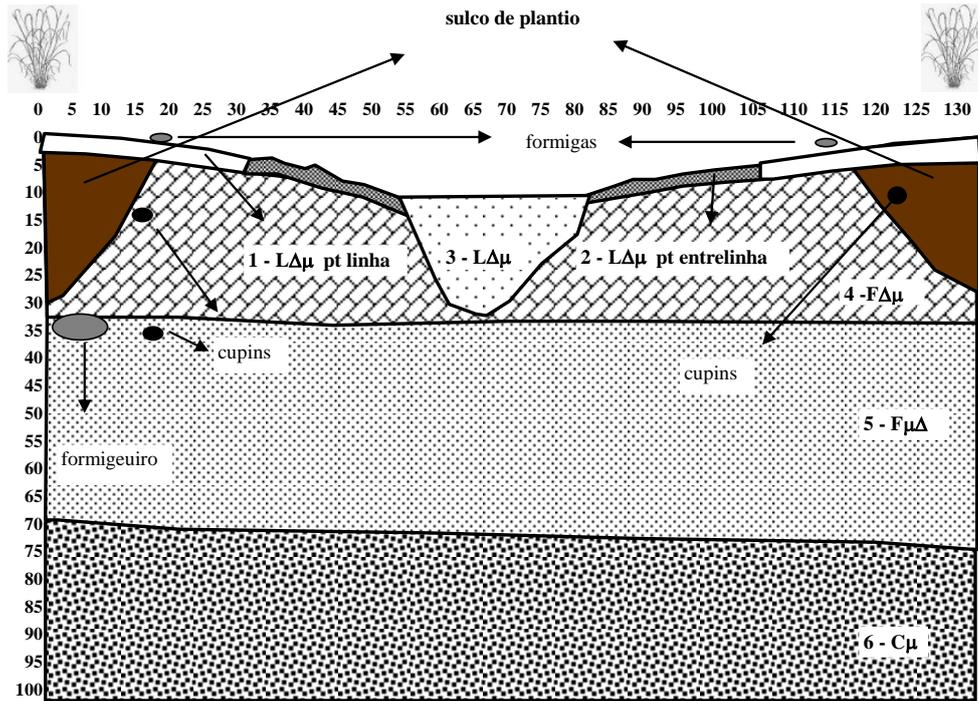


Figura 1 - Unidades de representação das condições encontradas no solo com cana-de-açúcar.
Units of representation of conditions found in the soil with sugar cane.

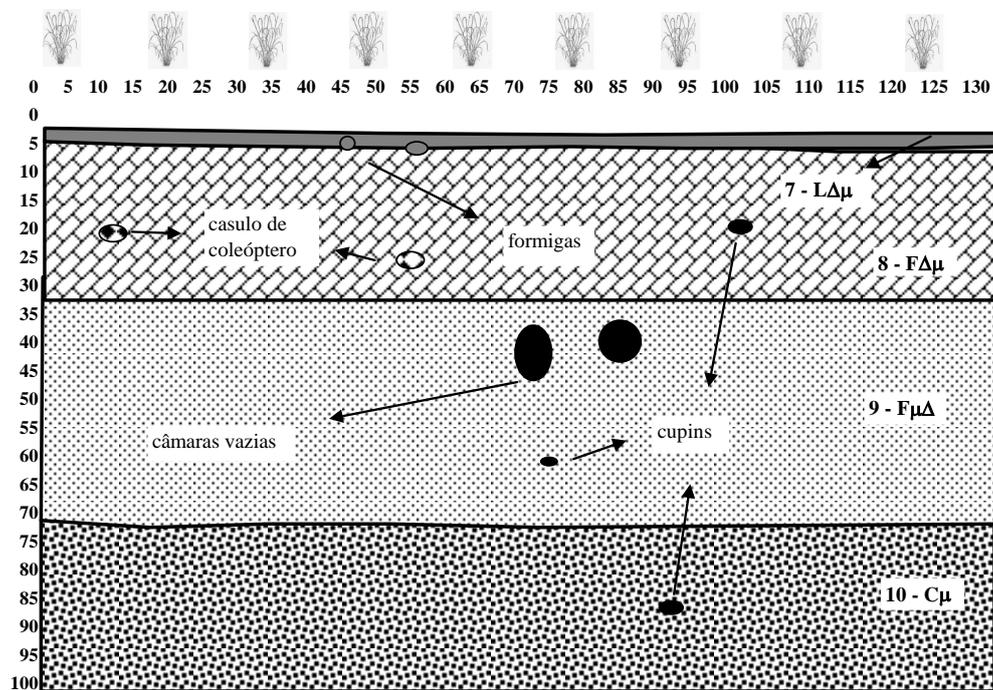


Figura 2 - Unidades de representação das condições encontradas no solo com trigo.
Units of representation of conditions found in the soil with wheat.

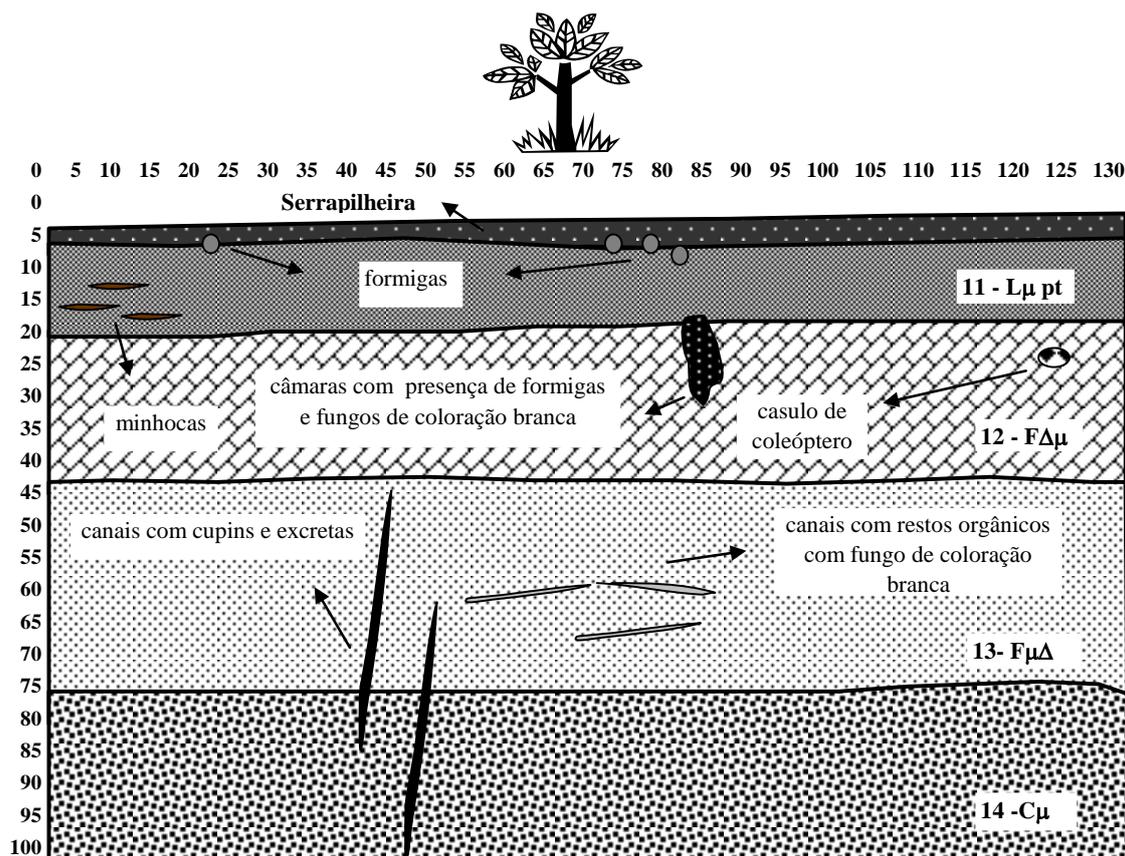


Figura 3 - Unidades de representação das condições encontradas no solo com Mata nativa. *Units of representation of conditions found in the soil with native forest.*

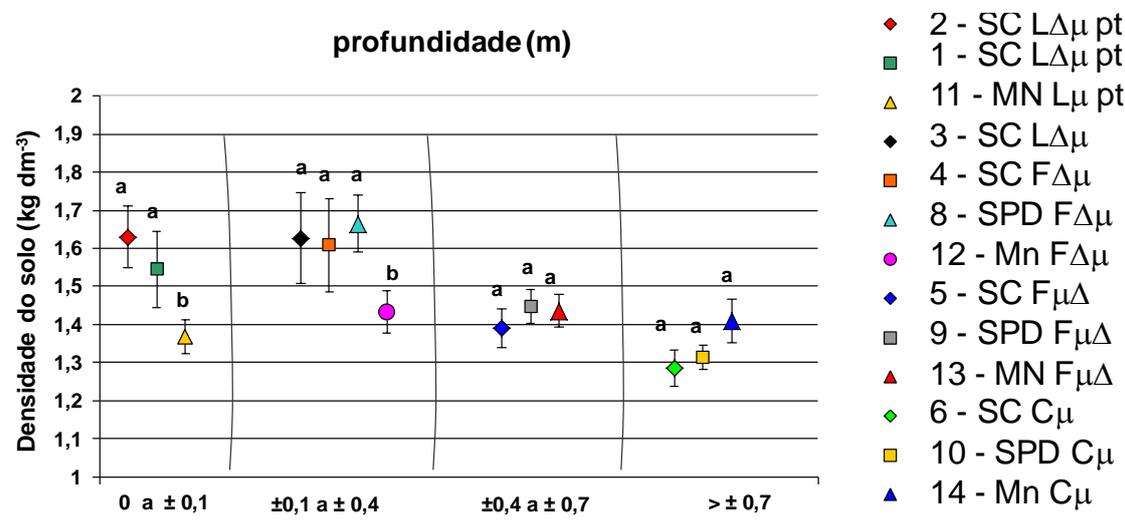


Figura 4 - Densidade do solo nos sistemas de manejo estudados. *Soil bulk density in the studied management systems.*

A UMH 8 (FΔμ), do SPD com trigo, apresentou valores mais elevados de densidade (1,66 kg dm⁻³), mas não diferiu estatisticamente da UMH 3 (LΔμ), do SC com cana-de-açúcar originado pela tríplice operação (1,62 kg dm⁻³) e da UMH 4 (FΔμ), do SC com cana-de-açúcar

(1,60 kg dm⁻³). Entretanto, as UMHs 3 (LΔμ), 4 (FΔμ) e 8 (FΔμ) apresentaram diferenças significativas em relação à UMH 12 (FΔμ), localizada na MN, que foi de apenas 1,43 kg dm⁻³. Estas UMHs encontram-se em profundidades de até 0,35 m e são afetadas diretamente pelo intenso

tráfego de máquinas no SC e no SPD. Valores semelhantes de densidades haviam sido também relatados por Dias Junior & Estanislau (1999) e DOMINGOS et al. (2009) em Latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo. Esses dados assinalam que o manejo do solo com culturas anuais, quer no SPD com culturas anuais, quer no SC com cana-de-açúcar, promove rearranjos de sua estrutura, em razão do aumento de sua densidade, mas apenas restritos aos primeiros 0,40 m de profundidade nos perfis estudados, de modo semelhante ao encontrado por FREITAS (1987), TOGNON (1991) e KERTZMAN (1989; 1996), em solo análogo.

A UMH 9 ($F_{\mu\Delta}$) do SPD com trigo revelou valores de densidade mais elevados ($1,44 \text{ kg dm}^{-3}$), seguidos pela UMH 13 ($F_{\mu\Delta}$) da MN e pela UMH 5 ($F_{\mu\Delta}$) do SC com cana-de-açúcar, cujos valores foram de 1,43 e $1,39 \text{ kg dm}^{-3}$, respectivamente. Estas UMHs estão localizadas de 0,35 a 0,70 m, região em que praticamente não se observa mais o efeito dos sistemas de manejo sobre a estrutura do solo. Nota-se que a estrutura $F_{\mu\Delta}$ não é tão compactada como as $F_{\Delta\mu}$, ambas localizadas mais superficialmente.

É interessante observar que a UMH 14 (C_{μ}), da MN, apresentou valores significativamente maiores de densidade ($1,41 \text{ kg dm}^{-3}$), quando comparada com as UMHs do SPD com trigo - 10 (C_{μ}) e do SC com cana-de-açúcar - 6 (C_{μ}), com 1,31 e $1,28 \text{ kg dm}^{-3}$, respectivamente. Resultados como esses, em mata, foram observados por BROSSARD et al. (2012), que atribuíram os resultados à atividade biológica e ao crescimento das raízes aí ocorrentes, de vegetação diversa, as quais provocam compressões decorrentes da expansão (em comprimento e em diâmetro), além do peso, que resulta em adensamentos, como já foi mencionado por SCOPEL et al. (1992).

As UMHs abaixo de 0,40 m não se mostraram afetadas pelo sistema de manejo adotado, o que está em acordo com os resultados obtidos por FREITAS (1987), TOGNON (1991), KERTZMAN (1989 e 1996) e DOMINGOS et al. (2009), para solos análogos (Figura 4).

Observa-se que os valores de densidade encontrados são, em geral, mais elevados do que os obtidos pelo convencional método do anel volumétrico, uma vez que, no método do querosene, proposto por MATHIEU & PIELTAIN (1998), não é considerada a maioria dos poros interagregados. Resultados obtidos por FREGONEZI et al. (2001) mostraram diferença de 20%, embora possa ser maior que 30%, dependendo do tamanho do torrão utilizado, segundo resultados obtidos por GLÉCIO (2006).

Os resultados de VTP podem ser visualizados na Figura 5. Para o SC com cana-de-açúcar, a UMH 1 ($L_{\Delta\mu}$ pt) apresentou valores de VTP igual a $0,37 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, superior ao da UMH 2 ($L_{\Delta\mu}$ pt), locali-

zada na entrelinha ($0,34 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), mas não significativo estatisticamente. Quando se comparam as UMHs 1 e 2 ($L_{\Delta\mu}$ pt) do SC com cana-de-açúcar, com a UMH 11 (L_{μ} pt) da MN, observam-se valores mais elevados no solo da MN, $0,42 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, diferindo estatisticamente e concordando com resultados obtidos por TOGNON (1991), KERTZMAN (1996) e CENTURION et al. (2007). Importante observar que a tríplice operação (escarificação, adubação e gradagem) não diminui a densidade e, portanto, não aumenta a porosidade do solo. Poderia ser substituída por equipamento que realizasse apenas a escarificação e a adubação, reduzindo os custos de produção, pois segundo CAMPOS et al. (2008), a tríplice operação está entre as seis práticas de manejo de maior criticidade, seja pela execução, seja pelos altos custos de sua execução.

Valores mais elevados de volume total de poros foram encontrados na UMH 12 ($F_{\Delta\mu}$) da MN ($0,42 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), diferindo significativamente da UMH 4 ($F_{\Delta\mu}$) do SC com cana-de-açúcar, da UMH 8 ($F_{\Delta\mu}$) do SPD com trigo, bem como da UMH 3 ($L_{\Delta\mu}$) do SC com cana-de-açúcar, que se encontram na mesma profundidade, cujos índices foram de 0,35; 0,32 e $0,35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, respectivamente. Com base nesses resultados, pode-se constatar uma redução na porosidade total de aproximadamente 20% nas UMHs, nos primeiros 0,40 m dos perfis cultivados no SC com cana-de-açúcar e no SPD com trigo, em relação às UMHs localizadas em profundidades superiores, ou em relação às UMHs da MN, onde não foram observadas variações dentro dos perfis estudados. Resultados semelhantes também foram obtidos por KERTZMAN (1996) e CERRI et al. (1991), em solos análogos. No SC com cana-de-açúcar, estas modificações são o reflexo da destruição da estrutura do solo pelas operações de preparo e cultivo anual (CORRÊA, 2002), além da queima da palhada antes da colheita, reduzindo o teor de matéria orgânica, o que também foi constatado por CEDDIA et al. (1999). No SPD, trabalhos indicam um aumento do estado de compactação e de redução da porosidade dos solos (TORMENA et al., 1998; SILVA et al., 2003), sempre aliada a baixos teores de matéria orgânica, o que ocorre nas UMHs encontradas nesta profundidade.

Quando se comparam as UMHs 5 ($F_{\mu\Delta}$), 9 ($F_{\mu\Delta}$) e 13 ($F_{\mu\Delta}$) dos diferentes sistemas, com a área de referência (mata), não se verificam diferenças significativas, embora o SC com cana-de-açúcar tenha apresentado valores mais elevados ($0,43 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), seguido pelos obtidos na MN ($0,41 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e do SPD com trigo ($0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Nesta profundidade, o solo é pouco afetado pelo manejo e guarda mais relação com suas características intrínsecas.

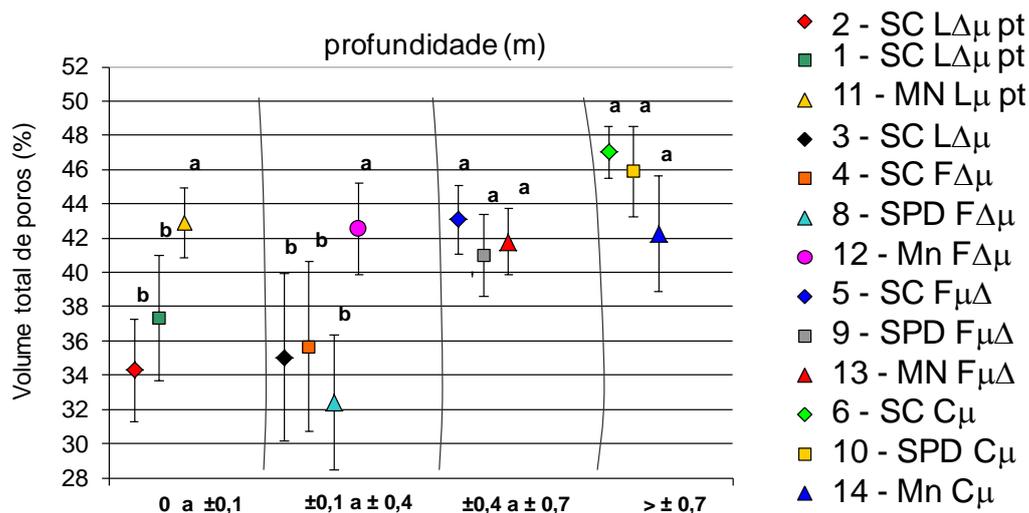


Figura 5 - Volume total de poros nos diferentes sistemas de manejo. *Pore total volume (VTP) in the different management systems.*

Em relação às UMHs constituídas por estrutura microagregada Cμ (6, 10 e 14), o SC com cana-de-açúcar apresentou porosidade total de $0,47 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, não diferindo estatisticamente do SPD com trigo ($0,45 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$); porém, revelou valores significativamente maiores em relação à MN ($0,42 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Não foram observadas diferenças significativas entre a MN e o SPD com trigo. Abaixo de 0,40 m de profundidade, os valores de porosidade nos SCs com cana-de-açúcar e SPD com trigo mostraram-se mais elevados em relação aos da MN, porém há que se levar em conta a possibilidade de adensamento provocado pela expansão das raízes de plantas, predominantemente dicotiledôneas (SCOPEL et al., 1992), posto que as gramíneas, em geral, costumam promover maior aeração e porosidade.

Os resultados de carbono orgânico podem ser visualizados na Figura 6. As UMHs 11 (Lμ pt) da MN e 7 (LΔμ pt) do SPD com trigo foram, respectivamente, $39,06$ e $35,99 \text{ g dm}^{-3}$, significativamente mais elevados do que nas UMHs 1 e 2 (LΔμ pt), localizadas na entrelinha e na linha do SC com cana-de-açúcar ($21,32$ e $20,91 \text{ g dm}^{-3}$) tal como verificado por SILVA et al. (1998) e GÓES et al. (2005). O revolvimento do solo e a queima aumentam a decomposição da matéria orgânica, refletindo em decréscimo de seu teor, o que culmina com a renovação das áreas com cana (CERRI et al., 2003; CHAER & TÓTOLA, 2007). Ao contrário do SC, o SPD tem sido determinante para o aumento e a manutenção da matéria orgânica no solo (RANGEL & SILVA, 2007).

Comparando a UMH 4 (FΔμ) do SC com cana-de-açúcar, com a UMH 8 (FΔμ) do SPD com trigo, com a UMH 3 (LΔμ) do SC com cana-de-açúcar, com a UMH 12 da MN, localizadas na mesma profundidade, não foram constatadas

diferenças significativas entre elas. Entretanto, a UMH 8 com trigo no SPD apresentou valores de carbono orgânico mais elevados ($22,68 \text{ g/dm}^3$), seguidos pelas UMHs 12 da Mn ($22,01 \text{ g/dm}^3$) e pelas UMHs 4 e 3 com SC, com cana-de-açúcar ($19,39$ e $19,68 \text{ g/dm}^3$, respectivamente). Esses resultados comprovam que o SC com cana-de-açúcar diminuem os teores de carbono orgânico em superfície, que se elevam com a profundidade, quando comparados a outros sistemas de cultivo, à semelhança do que tem sido constatado por diversos pesquisadores (CERRI et al., 1991 e 2003; CANELLAS et al., 2003).

Os resultados de carbono orgânico das UMHs 5 (FμΔ), 9 (FμΔ) e 13 (FμΔ) não mostraram diferenças significativas entre tratamentos, embora na MN tenham sido constatados valores mais elevados ($10,61 \text{ g/dm}^3$), seguidos pela cana-de-açúcar e pelo trigo: $9,03$ e $8,68 \text{ g/dm}^3$, respectivamente. Já para as UMHs formadas pela estrutura microagregada, os resultados também não conduziram a diferenças significativas - UMHs 6, 10 e 14, com valores mais elevados no SPD com trigo ($7,21 \text{ g/dm}^3$), seguidos pelo SC com cana-de-açúcar e pela MN ($6,80$ e $6,03 \text{ g dm}^{-3}$, respectivamente).

Em geral, os resultados de carbono orgânico nos perfis estudados apontam que a deposição de resíduos promovida pelo SPD foi superficial (0 a 0,04 m), implementando no solo condições análogas às existentes no solo com mata nativa, reafirmando inúmeras constatações anteriores (SIDIRAS & PAVAN, 1985; MUZILLI, 1985; SANTOS & SIQUEIRA, 1996; CERRI et al., 2003; CANELLAS et al., 2003; CHAER & TÓTOLA, 2007).

Esse aumento de carbono orgânico na superfície dos solos de regiões tropicais, onde a mineralização é intensa, devolve ao solo parte dos nutrientes extraídos pelas culturas.

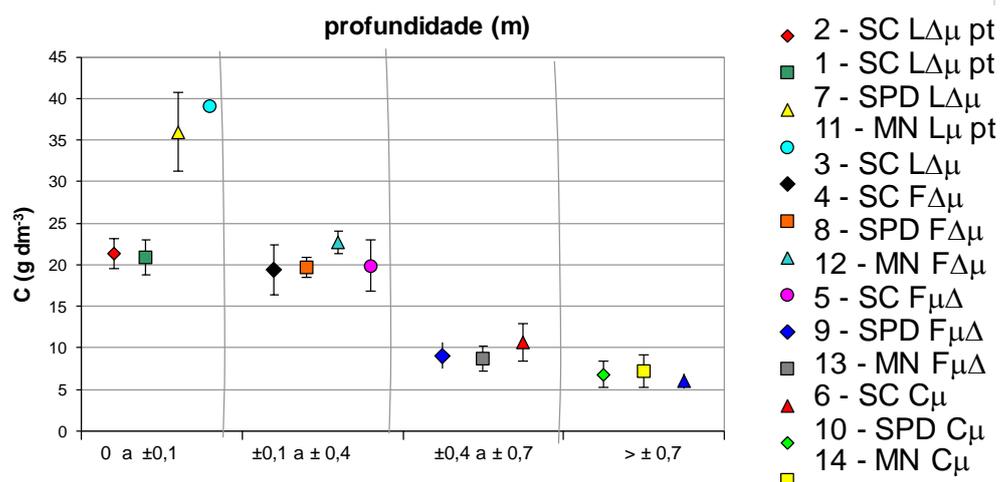


Figura 6 - Carbono orgânico nos diferentes sistemas de manejo. *Organic carbon in the different management systems.*

Nesse particular, o SC com cana-de-açúcar, com a utilização de queima para colheita, tem demonstrado ser pouco efetivo no aumento de carbono orgânico na superfície em relação ao sistema plantio direto.

Com base nos resultados, para a adequação do manejo, seria necessário rever a gradagem no momento em que é realizada a triplíce operação, objetivando a manutenção da estrutura superficial; realizar a subsolagem da triplíce operação em local o mais próximo possível do sistema radicular, melhorando a infiltração de água, incrementando aí a condição de umidade, o que pode favorecer a expansão radicular e melhor exploração do solo; incorporar ao sistema de rotação uma frequência maior de plantas de adubação verde no SPD, visando a reduzir a densidade do solo, e na reforma do SC com cana-de-açúcar, para auxiliar maior acúmulo de carbono orgânico.

Conclusões

A compactação do solo restringiu-se aos primeiros 0,4 m de profundidade, e, mesmo com valores mais elevados de densidade do solo, as raízes foram capazes de atravessar as camadas mais compactas e de explorarem regiões abaixo destas, com unidades estruturais mais favoráveis ao desenvolvimento radicular.

Com relação à porosidade total, o sistema convencional com cana-de-açúcar, assim como o sistema plantio direto com trigo promoveram redução de aproximadamente 20 % para os primeiros 0,4 m, quando comparado à condição de MN.

A prática da “tríplice operação” realizada na cultura de cana-de-açúcar não demonstrou reduzir a compactação, pois os agregados que constituem a Unidade Morfológica Homogênea que são resultantes desta operação mos-

traram o mesmo nível de compactação que as Unidades Morfológica Homogêneas descritas na mesma profundidade, representando, assim, um custo adicional na produção.

O cultivo convencional com cana-de-açúcar reduziu o carbono orgânico do solo e o sistema plantio direto aproximou os teores de carbono orgânico aos encontrados na mata nativa.

A descrição morfológica do solo pela metodologia do Perfil Cultural possibilitou evidenciar e compreender as principais alterações impostas pelos manejos.

Referências

AMADO, T. J. C., CONCEIÇÃO, P. C., BAYER, C.; ELTZ, F. L. F. Qualidade do solo avaliada pelo Soil Quality Rest em dois experimentos de longa duração no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.31, p.109-121, 2007.

ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. P. Avaliação da compressibilidade de um Nitossolo Vermelho distroférrico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p. 507-514, 2005.

BROSSARD, M.; FREGONEZI, G. A. de F.; GUIMARÃES, M. de F.; MEDINA, C. de C.; PASINI, A.; AYARZA, M. A.; VILELA, L. Analysis of an illustrative interaction between structural features and earthworm populations in Brazilian ferralsols. **Comptes Rendus Geoscience**, v.344, p.41-49, 2012.

CAMPOS, C. M.; MILAN, M.; LUIZ F. F. SIQUEIRA, L.F.F. Identificação e avaliação de variáveis críticas no processo de produção da

- cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28 n.3, p.554-564, 2008.
- CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.935-944, 2003.
- 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**, Brasília, v.34, p.1467-1473, 1999.
- CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N. & SOUZA, Z. M. Physical attributes of kaolinitic and oxidic oxisols resulting from different usage systems. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.47, p.725-732, 2004.
- CENTURION, J. F.; FREDDI, O. S.; ARATANI, R. G.; METZNER, A. F. M.; BEUTLER, A. N.; ITAMAR ANDRIOLI, I. Influência do cultivo da cana-de-açúcar e da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos Vermelhos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.199-209, 2007.
- CERRI, C. C.; FELLER, C.; CHAUVEL, A. Evolução das principais propriedades de um Latossolo Vermelho-Escuro após desmatamento e cultivo por doze e cinquenta anos com cana-de-açúcar. **Cahiers ORSTOM, sér. Pédologie**, Bondy, v.6, p.37-50, 1991.
- CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C.; & CERRI, C. E. P. Balanço de gases nos sistemas de produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003. **Anais**. Ribeirão Preto, Universidade Estadual de São Paulo, 2003. CD-ROOM.
- CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. G. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.1381-1396, 2007.
- DIAS JUNIOR, M. S.; ESTANISLAU, W. T. Grau de compactação e de retenção de água de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.23, p.45-51, 1999.
- CORRÊA, J. C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p.203-209, 2002.
- DOMINGOS, M. M. M.; GASPARETTO, N. V. L.; NAKASHIMA, P.; RALISCH, R.; TAVARES FILHO, J. Estrutura de um Nitossolo Vermelho latossólico eutroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e floresta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.6, p.1517-1524, 2009.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária e IAPAR - Instituto Agrônomico do Paraná. **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná**. Curitiba, 1984. 791p. (Boletim técnico, 57).
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed., Rio de Janeiro, EMBRAPA-CNPS, 1999. 212p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed., Rio de Janeiro, EMBRAPA-CNPS, 2006. 306p.
- FERNANDES, J. **A subsolagem no controle da compactação do solo na cana-soca (*Saccharum spp*) variedade CB 41-76 e seus efeitos no rendimento agrícola e no sistema radicular**. 1979. 158 f. Dissertação (Mestrado em solos) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1979.
- FREGONEZI, G. A. F. **Perfil de manejo na identificação de modificações de atributos do solo decorrentes do uso agrícola**. 2006. 114f. Tese (Doutorado em Solos) Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp, 2006.
- FREGONEZI, G. A. F.; BROSSARD, M.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C. Modificações morfológicas e físicas de um Latossolo roxo argiloso sob pastagens. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.25, p.1017-1027, 2001.
- FREITAS, G. R. Preparo do solo. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar - cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargil, 1987. p.271-283.

- GARLYND, M. J.; ROMIG, D. E.; HARRIS, R. F.; KURAKOV, A. V. Descriptive and analytical characterization of soil quality/health. In: DORAN, J. W., COLEMAN, D. C., BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). Defining soil quality for a sustainable environment. **Soil Science Society of America**, Madison, n.35, p. 159-168, 1994. Special publication.
- GLÉCIO, M. S. Variabilidade de atributos físicos so solos determinados por métodos diversos. 2006. 163. Dissertação (Mestrado em solos), Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 2006.
- GÓES, G. B.; GREGGIO, T. C.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; ANDRIOLI, I. Efeito do cultivo da cana-de-açúcar na estabilidade de agregados e na condutividade hidráulica. **Irriga**, Botucatu, v.10, p.116-122, 2005.
- KERTZMAN, F. F. **Modification de la structure et des proprietes physiques des couches superficielles d'un Latossolo Roxo (Guaíra, São Paulo, Brasil) soumis a une irrigation par aspersion**. Paris: Université Paris VI, D.E.A, 1989. 48 p.
- KERTZMAN, F. F. **Modificações na estrutura e no comportamento de um Latossolo Roxo provocadas pela compactação**. 1996. 153 f. Tese (Doutorado em Solos), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 1996.
- MANICHON, H. Le profil cultural - Une perspective nouvelle pour l'analyse du travail du sol. In: **Reunion du group thematique structure et fertilité des sols tropicaux**, 2. 1995, Montpellier. p.7-14.
- MATHIEU, C.; PIELTAIN, F. **Analyse Physique des Sols: Méthodes Choisies**. Paris: Lavoisier Tec & Doc, 1998. 275p.
- MUZILLI, O. Fertilidade do solo em plantio direto. In: FANCELLI, A. L.; TORRADO, P. V.; MACHADO, J. **Atualização em plantio direto**. Campinas: Fundação Cargil, 1985. p.147-160.
- NIERO, L. A. C. **Avaliações visuais como índice de qualidade de um Latossolo Vermelho em oito usos e manejos e sua validação por análises físicas e químicas**. 2009. 90f. Dissertação (Mestrado em Solos), Instituto Agronômico, Campinas, 2009.
- PICCININ, J. L. **Modificações no perfil de solo sob plantio direto com intervenções mecânica sob sucessão e rotação de culturas**. 2005. 125f. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
- RANGEL, O. J. P., SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, 2007. p.1609-1623.
- SANTOS, R. D., LEMOS, R. C., SANTOS, H. G., KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.
- SANTOS, H. P.; SIQUEIRA, O. J. W. Plantio direto e rotação de culturas para cevada: efeitos sobre a fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p.163-169, 1996.
- SCOPEL, I. et al. Riscos de compactação do solo na produção florestal. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 7., 1992, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, Universidade Federal de Viçosa, 1992. p. 172-193.
- SHEPHERD, T. D. **Visual soil assessment**. Field guide for cropping and pastoral grazing on flat to rolling country. Palmerston North: MW & Landcare Research, 2000. v.1, 84p.
- SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo de solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, p.249-254, 1985.
- SILVA, A. J. N.; RIBEIRO, M. R.; MERMUT, A. R.; BENKE, M. B. Influência do cultivo contínuo de cana-de-açúcar em Latossolos Amarelos coesos do Estado de Alagoas: propriedades micromorfológicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.22, p.15-525, 1998.
- SILVA, A. P. da; IMHOFF, S.; CORSI, M. Evaluation of soil compaction in an irrigated short-duration grazing system. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.70, n.1, p.83-90, 2003.
- TAMIA, A.; MOREAU, R.; FORTIER, M.; YORO, G. Influence du travail du sol sur l'évolution physique d'un sol forestier ferrallitique après défrichement motorisé: conséquence sur l'enracinement du maïs. **Etude et Gestion des Sols**, v.6, n.4, p 27-39, 1999.

TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C.; BALBINO, L. C.; NEVES, C. S. V. J. Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.23, p.93-399, 1999.

TOGNON, A. A. **Propriedades físico-hídricas do Latossolo Roxo da região de Guaiá-SP sob diferentes sistemas de cultivos**. 1991. 67f. Dissertação (Mestrado em solos) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.22, n.2, p.301-309, 1998.

USDA-ARS **Soil quality test kit guide**. Washington: Soil Quality Institute, 1998. 82p.