

CARBONO E DENSIDADE DO SOLO EM UMA CRONOSEQUÊNCIA DE CANAVIAIS CULTIVADO EM SISTEMA ORGÂNICO

LURDINEIDE DE ARAÚJO BARBOSA BORGES¹, IVAN GOMES DOS SANTOS², ROGÉRIO AUGUSTO BREMM SOARES³, PAULO MARÇAL FERNANDES⁴, BEATA EMÖKE MADARI⁵, MELLISSA ANANIAS SOLER DA SILVA⁵

¹Doutoranda do Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Solo e Água, Universidade Federal de Goiás, lurdiufg@yahoo.com.br; ²Técnico Agrícola, Coordenador de Pesquisa, Jalles Machado S/A. Goianésia –GO, ivan.gomes@jallesmachadosa.com.br; ³Engenheiro Agrônomo, Coordenador de Pesquisa, Jalles Machado S/A. Goianésia, GO, 4 Engenheiro Agrônomo, Dr. em Entomologia, professor da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, pmarcal@terra.com.br; ⁴Engenheira Agrônoma, Ph.D. em Ciência do Solo, pesquisadora da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, beata.madari@embrapa.br; mellissa.soler@embrapa.br

RESUMO: O Brasil é um dos principais fornecedores de produtos agrícolas primários. A expansão da produção se deve à exploração dos solos do Cerrado brasileiro. Atualmente o país é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. Nos últimos anos a expansão da cultura ocorreu principalmente na região centro-oeste, onde predomina o bioma Cerrado. O sistema de cultivo orgânico vem despontando como uma interessante alternativa como meio de promover a sustentabilidade da produção de cana-de-açúcar no bioma Cerrado, preservar o meio ambiente e reduzir a contaminação dos alimentos e em especial, dos trabalhadores rurais. O objetivo desse estudo foi avaliar o efeito do cultivo orgânico da cana-de-açúcar sobre a densidade do solo e os estoques de carbono. Amostras de terra de áreas cultivadas com cana-de-açúcar há 0, 2, e 10 anos na região de Goianésia-GO, foram analisadas quanto à densidade do solo (Ds) e o teor de carbono (C) com o objetivo de quantificar o estoque de C e as alterações devidas a mudança no cultivo da cana de convencional sem queima para orgânico. A densidade do solo diminuiu ao longo do uso do solo com o cultivo orgânico da cana-de-açúcar, enquanto o conteúdo de C aumentou ao longo do tempo. O efeito do cultivo orgânico sobre a Ds ocorreu até a camada de 30-40 cm. Na camada de 0-5 cm os valores reduziram na seguinte magnitude: 1,67 g cm⁻³, 1,26 g cm⁻³ e 1,22 g cm⁻³ para as áreas Org.0, Org.2 e Org.10, respectivamente e na camada 30-40 cm: 1,60 g cm⁻³, 1,33 g cm⁻³ e 1,32 g cm⁻³. Após 2 e 10 anos de cultivo orgânico da cana-de-açúcar o estoque de carbono aumentou com 12,594 e 31,258 Mg ha⁻¹ na camada superficial do solo 0-30 cm e com 20,768 e 51,147 Mg ha⁻¹ numa camada de 0-100 cm, em comparação com o cultivo convencional sem queima.

PALAVRAS-CHAVE: matéria orgânica, estoque de carbono, agroecologia

INTRODUÇÃO: O Brasil emerge mundialmente como principal fornecedor de produtos agrícolas primários. A expansão da produção se deve à exploração dos solos do Cerrado brasileiro (Rada, 2013). Atualmente, o país é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. A cultura se distribui nas diversas regiões, mas nos últimos anos, a expansão da cultura tem ocorrido principalmente na região centro-oeste (Conab, 2013), em solos onde prevalece o bioma Cerrado. Nessa região predominam os Latossolos, geralmente ácidos e com baixa fertilidade natural, mas por o terreno ser relativamente plano, favorece a mecanização agrícola e o cultivo em larga escala. O cultivo intensivo resulta em degradação desses solos. O intensivo uso da mecanização associado ao preparo do solo, tratamentos culturais e colheita da cana-de-açúcar, resulta em compactação do solo (Souza et al., 2005). As técnicas normalmente empregadas no sistema de cultivo convencional tem resultado em redução da matéria orgânica e dos estoques de carbono (Souza et al., 2012). Em razão dos problemas causados ao meio ambiente, a preocupação com a extinção dos recursos não renováveis, a contaminação dos alimentos e dos trabalhadores rurais, há uma demanda crescente no Brasil e no exterior, por sistemas de cultivo que se atente para a questão ecológica, econômica e social (Willer & Yussefi, 2007; Santos et al., 2012). De acordo com a lei nº. 10.831 de 23 de dezembro de 2003, o sistema de cultivo orgânico é todo aquele em que se adotam técnicas específicas, mediante a otimização do uso dos recursos naturais e socioeconômicos disponíveis e o respeito à integridade cultural das comunidades rurais, tendo por objetivos a sustentabilidade econômica e ecológica, a maximização dos benefícios sociais, a minimização da dependência de energia não renovável, empregando sempre que possível, métodos culturais, biológicos e mecânicos, em contraposição ao

uso de materiais sintéticos. O sistema de cultivo orgânico pode ser uma interessante alternativa como meio de promover a sustentabilidade da produção da cana-de-açúcar no bioma Cerrado, preservar o meio ambiente e reduzir a contaminação dos alimentos. O objetivo desse estudo foi avaliar o efeito do cultivo orgânico da cana-de-açúcar sobre a densidade do solo e os estoques de carbono em plantações comerciais.

MATERIAL E MÉTODOS: O estudo foi conduzido em um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar pertencentes à empresa Jalles Machado S/A., localizada em Goianésia-GO, a 15°10'S de latitude e 49°15'W de longitude e 640 m de altitude. Estudou-se a seguinte cronosequência de áreas cultivadas com cana-de-açúcar em sistema orgânico: Org.0 – área cultivada em sistema convencional, representando o início de cultivo orgânico; Org.2 – área cultivada há dois anos no sistema orgânico; Org.2Q – área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental; Org.10 – área cultivada no sistema orgânico há dez anos; Org.10SR – área cultivada há dez anos no sistema orgânico e sem reformar o canal durante todo esse período. A amostragem de solo foi realizada considerando um delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos (áreas) e cinco repetições. Foram coletadas amostras de solo em cinco trincheiras em cada área, avaliando as camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm. Para a quantificação dos teores de carbono total foram coletadas amostras de solo nas trincheiras e também num raio de 50 m no entorno. A análise do carbono orgânico total foi realizada por combustão via seca, em analisador elementar de CHN (Modelo PE 2400, Série II CHNS/O, PerkinElmer, Norwalk, (USA), da Embrapa Arroz e Feijão, utilizando-se aproximadamente 10 mg de material previamente macerado e peneirado, em peneira de 0,149 mm. A digestão do material foi feita em câmara de combustão fechada a 900 °C. Os estoques de carbono foram calculados usando os dados da densidade do solo apresentados na Tabela 1, para calcular a massa de solo equivalente para uma mesma profundidade de acordo com (Sisti et al., 2004) e os valores médios (três repetições) da densidade do solo de uma área de Cerrado nativo que foi utilizado como referência.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Houve efeito significativo dos sistemas de cultivo e também das

profundidades sobre a Ds e a interação sistemas de cultivo x profundidade foi significativa. De acordo com os dados observados na Tabela 1, a Ds diminuiu ao longo do uso do solo com cultivo orgânico da cana-de-açúcar. Em todas as camadas estudadas as áreas cultivadas em sistema orgânico há mais tempo apresentou Ds menor. A redução pode ter ocorrido em função do maior teor de matéria orgânica nas áreas cultivadas há mais tempo no sistema orgânico. Segundo (Usda-Nrcs, 1996) a matéria orgânica promove a agregação das partículas de solo, aumenta a porosidade e resulta em redução da densidade do solo.

Tabela 1. Densidade do solo (Ds) g cm⁻³ nas respectivas camadas de um Latossolo Vermelho de uma cronosequência de canaviais cultivado em sistema orgânico, em Goianésia – GO.

Camadas do solo (cm)	Tempo de cultivo orgânico					CV(%)
	Org.0	Org.2	Org.2Q	Org.10	Org.10 SR*	
0-5	1,67 aA	1,26 bBCD	1,26 bBC	1,22 bBC	1,31 bA	7,0
5-10	1,62 aA	1,36 bAB	1,34 bABC	1,19 bCD	1,35 bA	7,1
10-20	1,69 aA	1,41 bA	1,44 bA	1,41 bA	1,38 bA	5,5
20-30	1,64 aA	1,37 bAB	1,40 bAB	1,31 bAB	1,39 bA	7,8
30-40	1,60 aA	1,33 bABC	1,40 bAB	1,32 bAB	1,39 bA	5,6
40-60	1,41 aB	1,24 bCDE	1,28 abABC	1,18 bCD	1,45 aA	6,7
60-80	1,38 abB	1,16 cDE	1,24 bcBC	1,20 cCD	1,42 aA	5,6
80-100	1,33 abB	1,13 cE	1,21 bcC	1,10 cD	1,42 aA	6,1

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (p < 0,05). *Área há dez anos sob cultivo orgânico sem reformas do canal neste período.

A área Org.0 é uma área onde a cana foi cultivada no sistema de cultivo convencional e representa o início do sistema de cultivo orgânico. Em todas as profundidades estudadas os valores da Ds na área Org.0 foram significativamente maiores que nas áreas Org.2 e Org.10. Na área Org.0 os maiores valores para a Ds foram observados nas camadas mais superficiais, ou seja, nas camadas 0-5 até a camada 30-40 cm. Na área Org.2 a Ds não diferiu da Org.10 mostrando que dois anos de cultivo orgânico foi suficiente para reduzir a densidade do solo. O efeito do cultivo orgânico da cana sobre a Ds ocorreu até a camada de 30-40 cm. Foi observado que o cultivo orgânico reduziu a Ds a partir das camadas mais superficiais até a camada 30-40 cm. Fato que pode ser evidenciado ao constatar que na área Org.0 o maior valor foi observado nas camadas 5-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm, mostrando que houve uma redução de 24,5% no valor da Ds nos cinco primeiros centímetros do perfil do solo (camada 0-5 cm) e alcançou redução de 10 cm na área Org.10 com redução de 26,9% na camada 0-5 cm e 26,5% na camada de 5-10 cm. Com relação aos esto-

ques de carbono verificou-se que a área Org.0 foi a área que apresentou o menor estoque de carbono, considerando o estoque acumulado a partir da profundidade de 0-5 cm até a profundidade de 0-100 cm (Tabela 2). A área Org.2 apresentou valores de estoque de carbono intermediário entre as áreas Org.0 e Org.10. A área que é cultivada em sistema orgânico há mais tempo (Org.10) foi a que apresentou os maiores estoques de carbono, em todos os níveis de profundidades estudados, conforme se verifica na Tabela 2. Na camada de 0-100 cm houve aumento de 23,75% no estoque de carbono na área Org.2 quando comparado com a área Org.0. O aumento foi ainda maior, 58,51%, na área Org.10 em relação à área Org.0. Os dados mostram que há uma tendência de aumento no estoque de carbono conforme aumenta o tempo que as áreas são cultivadas no sistema orgânico. Com relação à área Org.10SR o estoque de carbono não diferiu daquela que tem o mesmo tempo de cultivo orgânico, mas que reforma o canavial regularmente (Org.10). Os dados mostram que o revolvimento do solo durante as reformas do canavial não provocou redução nos estoques de carbono. Segundo Boddey et al. (2012) o revolvimento do solo com arado, grade e subsolador estimulam a degradação da matéria orgânica do solo e a liberação do carbono no solo na forma de CO₂. Que isso não aconteceu nas áreas aqui estudadas se deve, provavelmente, ao fato de haver maior produção de biomassa e maior reciclagem da matéria orgânica na área Org.10, que pode ter compensado o efeito das perdas de carbono.

Tabela 2. Estoque de carbono em um Latossolo Vermelho de uma cronosequência de canavial cultivado em sistema orgânico, em Goianésia – GO.

Profundidade (cm)	Tempo de cultivo orgânico					CV(%)
	Org.0	Org.2	Org.2Q	Org.10	Org.10 SR*	
	Estoque de carbono Total no solo (Mg ha ⁻¹)					
0-5	6,599 c	8,441 bc	7,366 c	13,508 a	11,538 ab	20,4
0-10	13,024 c	16,633 bc	13,979 c	25,400 a	21,952 ab	18,1
0-20	26,694 c	35,352 bc	29,156 c	50,463 a	43,789 ab	16,8
0-30	39,341 c	51,953 bc	42,803 c	70,559 a	60,240 ab	14,5
0-40	50,942 c	65,502 bc	53,945 c	86,549 a	73,447 ab	13,2
0-60	67,384 c	84,375 bc	69,438 c	107,536 a	91,259 ab	12,1
0-80	78,963 c	97,195 bc	80,173 c	124,002 a	104,790 ab	12,0
0-100	87,409 c	108,172 bc	88,993 c	138,556 a	117,196 ab	12,9

Estoques de Carbono Total no solo (Mg ha⁻¹) nas respectivas camadas de solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (p < 0,05). Valores representam média de cinco repetições. Org.0 - área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; Org.2 - área cultivada há dois anos no sistema orgânico; Org.2Q - área cultivada há dois anos no sistema orgânico, onde ocorreu uma queima acidental; Org.10 - área cultivada há dez anos no sistema orgânico; Org.10 SR - área cultivada no sistema orgânico há dez anos onde há 12 anos não ocorre reforma do canavial.

A diferença nos valores dos estoques de carbono entre as áreas cultivadas com a cana aumentou conforme aumentou a profundidade. Se considerar o estoque de C acumulado até a profundidade de 30 cm a diferença entre a área Org.0 e as áreas Org.2 e Org.10 são de 12,612 e 31,258 Mg C ha⁻¹, respectivamente. A diferença é maior quando considera o estoque de C acumulado até 100 cm de profundidade, sendo 20,763 e 51,147 Mg C ha⁻¹ para as áreas Org.2 e Org.10, respectivamente. A adição de vinhaça na área orgânica poderia ser um dos fatores responsáveis pelo aumento dos estoques de C nessa área. Canellas et al. (2007), entretanto, verificaram que a adição de vinhaça durante 35 anos ao canavial não estimulou significativamente aumento da matéria orgânica armazenada. Os autores sugerem que o material orgânico adicionado ao solo evolui muito rápido. Sendo decomposto pela biota do solo, e perdido para a atmosfera na forma de CO₂. A queima acidental que ocorreu na área Org.2Q também não alterou o estoque de carbono no solo, conforme se verifica na Tabela 2, onde os valores obtidos na área Org.2 não diferiram significativamente daqueles observados na área com queima (Org.2Q). Rossia et al. (2013) estudando as alterações químicas de uma cronosequência de canaviais com queima prévia da palhada concluíram que os estoques de carbono na profundidade de 0-10 cm foi menor nas áreas sujeitas à queima por um e cinco anos. Contudo, nas camadas mais profundas, até 60 cm, os maiores estoques de C foram encontrados na área sujeita à queima por apenas um ano.

CONCLUSÕES: O efeito do cultivo orgânico sobre a Ds ocorreu até a camada de 30-40 cm. Na camada de 0-5 cm os valores reduziram na seguinte magnitude: 1,67 g cm⁻³, 1,26 g cm⁻³ e 1,22 g cm⁻³ para as áreas Org.0, Org.2 e Org.10, respectivamente. Na camada 30-40 cm a Ds foi 1,60 g cm⁻³, 1,33 g cm⁻³ e 1,32 g cm⁻³, para os mesmos tratamentos. Após 2 e 10 anos de cultivo orgânico da cana-de-açúcar o estoque de carbono aumentou com 12,594 e 31,258 Mg ha⁻¹ na camada superficial do solo (0-30 cm) e com 20,768 e 51,147 Mg ha⁻¹ até a camada de 0-100 cm, respectivamente.

AGRADECIMENTOS: Ao CNPq, pela bolsa de doutorado concedida ao primeiro autor. À Empresa Jalles Machado pelo financiamento do projeto, disponibilização das áreas e assistência técnica na coleta das amostras de solo. À Em-

brapa Arroz e Feijão pelo apoio na nas análises laboratoriais e orientação do trabalho.

REFERÊNCIAS

- BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; MATIN-NETO, L.; MADARI, B. E.; MILORI, D. M. B. P.; MACHADO, P. L. O. D. A. Estoques de carbono nos solos do Brasil - Quantidade e Mecanismos de acúmulo e preservação. In: LIMA, M. A.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; MACHADO, P. L. O. D. A.; URQUIAGA, S. (Ed.). **Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira**. 1ª ed., 2012. p. 347.
- CANELLAS, L. P.; BALDOTTO, M. A.; BUSATO, J. G.; MARCIANO, C. R.; MENEZES, S. C.; SILVA, N. M. D.; RUMJANEK, V. M.; VELLOSO, A. C. X.; SIMÕES, M. L.; MARTIN-NETO, L. ESTOQUE E QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA DE UM SOLO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR POR LONGO TEMPO. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 331-340, 2007.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar**, Primeiro levantamento - Abr. 2013, p. 19, 2013.
- RADA, N. Assessing Brazil's Cerrado agricultural miracle. **Food Policy**, v. 38, p. 146-155, 2013.
- ROSSIA, C. Q.; PEREIRAB, M. G.; LOSSC, A.; GAZOLLAD, P. R.; PERINE, A.; ANJOS, L. H. C. Changes in soil C and N distribution assessed by natural ¹³C and ¹⁵N abundance in a chronosequence of sugarcane crops managed with pre-harvest burning in a Cerrado area of Goiás, Brazil. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 170, p. 36-44, 2013.
- SANTOS, J. O.; SANTOS, R. M. S.; BORGES, M. G. B.; FERREIRA, R. T. F. V.; SALGADO, A. B.; SEGUNDO, O. A. S. A Evolução da Agricultura Orgânica. **REVISTA BRASILEIRA DE GESTÃO AMBIENTAL**, Pombal - PB, v. 6, n. 1, p. 35-41, 2012.
- SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, n. 1, p. 39-58, 2004.
- SOUZA, R. A.; TELLES, T. S.; MACHADO, W.; HUNGRIA, M.; TAVARES-FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F. Effects of sugarcane harvesting with burning on the chemical and microbiological properties of the soil. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amesterdam, v. 155, p. 1-6, 2012.
- SOUZA, Z. M. D.; PRADO, R. D. M.; PAIXÃO, A. C. S.; CESARIN, L. G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 3, p. 271-278, 2005.
- USDA-NRCS. Soil Quality Resource Concerns: Compaction. **Soil Quality Institute**, 1996. Disponível em: <http://soils.usda.gov/sqi/publications/files/sq_nin_1.pdf>. Acesso em: 01 abril 2013.
- WILLER, H.; YUSSEFI, M. **The world of organic agriculture: statistics and emerging trends**. Bonn: International Federation of Organic Agriculture Movements. 2007. Disponível em: <Erro! A referência de hiperlink não é válida.>. Acesso em: 21 mai 2013.