

Estoques de Carbono e Nitrogênio do solo cultivados por longo tempo com cana-de-açúcar

Marcos Siqueira Neto⁽²⁾; Gregori da E. Ferrão⁽³⁾; Francisco F. C. Mello⁽²⁾; João Braga Rocha⁽³⁾; Brigitte J. Feigl⁽⁴⁾; Carlos C. Cerri⁽⁵⁾

⁽²⁾ Pós-doutorando, Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), Piracicaba, SP; msiqueir@usp.br; ffc_mello@gmail.com; ⁽³⁾ Doutorando (CENA/USP); gregoriferrao@yahoo.com.br; ⁽⁴⁾ Professora doutora (CENA/USP); beduardo@cena.usp.br; ⁽⁵⁾ Professor titular (CENA/USP); cerri@cena.usp.br.

RESUMO: A mudança de uso da terra, além de alterar a paisagem, altera a biogeoquímica da matéria orgânica do solo nos biossistemas. A crescente demanda por bioenergia tem ocasionado a intensificação destas mudanças para o aumento da área de produção de cana-de-açúcar. O objetivo deste estudo foi avaliar as alterações nos estoques de carbono (C) e nitrogênio (N) do solo cultivado por longo período com cana-de-açúcar. As áreas de estudo situam-se na Usina Capuava S.A. no município de Piracicaba (SP). O clima é do tipo mesotérmico Cwa (Köppen-Geiger). O solo é um Latossolo Vermelho eutroférico de textura argilosa. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC). As situações avaliadas foram: uma área com cana-de-açúcar cultivada a 78 anos (Cana 78) e uma área cultivada a 40 anos (Cana 40), uma área de vegetação natural utilizada como referência (Mata). Os resultados mostraram que a conversão da Mata para o cultivo da cana-de-açúcar ocasionou a diminuição de cerca de 50% no estoque de C e N no solo após 78 anos de cultivo. A meia-vida da MOS calculada para o solo argiloso da região de Piracicaba cultivado com cana-de-açúcar foi estimada em 6,5 anos. O fator de emissão de C do solo, para a camada 30 cm, devido à mudança de uso do solo após 20 anos, conforme proposto pelo IPCC foi de 1,91 Mg C ano⁻¹.

Termos de indexação: mudança de uso da terra, fator de emissão de C.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o principal produtor mundial de cana-de-açúcar. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2013) a produção de cana-de-açúcar terá um aumento de 6,5% em relação a safra anterior, com uma área cultivada superior a 8,5 milhões de hectares. A produção estimada para a safra 2012/13 deve ser superior a 590 milhões de toneladas (Conab, 2013). Deste total, aproximadamente a metade é destinada para a produção dos 37 milhões de toneladas de açúcar, enquanto a outra metade destinada a produção dos 23,6 bilhões de litros de etanol. Isto sem considerar a importância da cana-de-açúcar na produção de 1,3 milhões de litros anuais de cachaça (Embrapa, 2013).

Atualmente, muito tem se discutido a respeito da expansão da área de cultivo dos canaviais tendo em vista a crescente demanda por bioenergia (Goldemberg et al., 2008). Inúmeros trabalhos buscam avaliar o impacto desta mudança, principalmente relacionados a segurança alimentar, alterações socioeconômicas, mudança na biodiversidade dos ecossistemas, deflorestamento e a emissão de gases causadores de efeito estufa (Cerri et al., 2010).

Contudo, os estudos tem se concentrado principalmente nos efeitos imediatos causados pela mudança de uso da terra, ou seja, as avaliações normalmente não ultrapassam áreas cultivadas por mais de 3 ciclos de reforma (aproximadamente 15 anos).

Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar as alterações nos estoques de C e N do solo cultivado por longo tempo com cana-de-açúcar. E com isto verificar as mudanças nos estoques de C e N do solo ocorridas após o período proposto no Guia para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa (IPCC, 2006).

MATERIAL E MÉTODOS

As áreas deste estudo situam-se na Usina Capuava S.A. no município de Piracicaba (SP). O clima é do tipo mesotérmico Cwa (Köppen-Geiger) com precipitação média anual de 1630 mm e temperatura média anual de 22,2 °C. A vegetação primitiva era formada por uma floresta latifoliada tropical. O solo é um Latossolo Vermelho eutroférico de textura argilosa, tendo na camada 0-30 cm um teor de argila entre 55 e 60%, silte entre 16 e 23% e areia entre 20 e 22%, conforme descrito por Cerri et al. (1991).

As áreas comparadas encontram-se sob o mesmo relevo, com uma distancia máxima de 250 m. Desta forma, o delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC). As áreas selecionadas para este estudo foram: uma área com cana-de-açúcar cultivada a 78 anos (Cana 78) e uma área cultivada a 40 anos (Cana 40), ambas proveniente diretamente da mudança de uso da terra de vegetação natural para o cultivo de cana-de-açúcar, que foi utilizada como referencia (Mata).



As áreas de cana passaram do corte manual com queima prévia do canavial para o corte mecanizado, com deposição da palhada no ano de 2010, ou seja, três ciclos sem queima, anteriores a amostragem do solo.

As amostragens de solo foram realizadas em maio de 2012. As amostras foram coletadas em três trincheiras de 100 cm, as quais foram coletadas em duas faces opostas e, mais seis mini-trincheiras de 30 cm. Em todos os pontos foram coletadas amostras indeformadas pelo método do anel volumétrico (99,4 cm³).

A densidade do solo, utilizada no cálculo dos estoques, foi determinada com base no peso seco das amostras e dividida pelo volume do cilindro utilizado na amostragem (Blake & Hartge, 1986). Para determinar os teores de C e N, as amostras foram moídas e passadas em peneiras de 100 mesh e, em seguida analisadas no equipamento LECO® CN-2000®. Os estoques de C e N das áreas foram calculados a partir dos teores de C ou N, dos valores da densidade do solo e da profundidade amostrada (Bernoux et al., 1998).

Para comparar situações com diferentes períodos de cultivo de cana-de-açúcar, e considerando que as áreas amostradas apresentaram valores significativamente diferentes na densidade do solo, optou-se pela correção do estoque pela massa amostrada na área com menor densidade do solo (Sisti et al., 2004).

Após a correção dos estoques foi possível determinar a variação anual do estoque de C no solo, que foi estimada com base nas alterações ao longo do tempo.

Para cada área amostrada foi aplicada a estatística clássica para avaliar a frequência e distribuição. As médias dos estoques de C e N para as camadas 0-30 cm e 0-100 cm foram comparadas pelo teste de Tukey ($p > 0.05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de C e N decresceram com o aumento da profundidade (Figura 1). Os maiores teores de C nas camadas superficiais foram encontrados na Mata, com uma diferença média de 75 e 25 % nas camadas 0-10 e 10-20 cm respectivamente, em relação as áreas cultivadas com cana. Contudo, na camada 20-30 cm os teores de C da Mata foram inferiores aos teores verificados nas áreas com cana. E, na a partir da camada 50-60 cm os teores não mais são diferenciados.

Os teores de N apresentaram comportamento semelhante aos teores de C com valores mais

elevados nas camadas superficiais e, a partir da camada 50-60 cm valores não mais dependentes da profundidade.

Esse comportamento é típico de situação sob vegetação nativa, pois o aporte de resíduos vegetais na superfície do solo promove a decomposição lenta e gradual, a qual garante a constante incorporação de material orgânico no solo (Sisti et al., 2004). Na Mata os teores de C e N são elevados na camada superficial, porém, não complexado às frações minerais do solo (intra-agregados), tornando-se dependente do aporte de resíduos para sua manutenção, uma vez que, por ação da atividade microbiana ocorra a constante decomposição desses resíduos e a mineralização da MOS.

Assim, considerando a substituição de área de vegetação nativa por cana-de-açúcar, seria justificável a redução nos teores de C e N nos solos, independentemente do tempo de implantação da cultura. Isso pode ter sido agravado por não haver a reposição dos resíduos vegetais (palhada) até o ano de 2010, enquanto o corte era feito manualmente com a queima do canavial.

Os teores de C e N verificados para as áreas de cana praticamente não modificam-se com o aumento da idade de implantação do sistema; dessa forma, o conteúdo de C ou N verificado pode ser considerado como ligados aos complexos organominerais da fração argila, protegido no interior dos agregados do solo.

Oliveira et al. (2008) verificaram que as camadas superficiais do solo são mais sensíveis às variações no C, devido à ação dos microrganismos na MOS. Assis et al. (2006) sustentam que os teores de C tendem a diminuir com o cultivo do solo quando comparado à vegetação nativa. Já Machado (2005) salienta que os teores de C superficiais tendem a diminuir, havendo pouca alteração em profundidades maiores.

Os estoques de C e N na Mata superam as demais situações com cana-de-açúcar independentemente da idade de implantação nas duas camadas do solo (Quadro 1). Entre as áreas cultivadas com cana-de-açúcar, os diferentes períodos de implantação da cultura (40 e 78 anos) não apresentaram diferença significativa nos estoques de C e N.

Inversamente, a relação C:N da MOS apresentou menor valor na área de Mata em relação as situações com cana-de-açúcar. Isto ocorreu provavelmente devido ao aporte de resíduos vegetais na Mata formado por um conjunto florístico variado com relação C:N variado, incluindo espécies arbóreas que favorecem a presença de fixadores de N. Por outro lado, na área cultivada com cana-de-

açúcar, o aporte de material foi constante com um único tipo de resíduo com elevada relação C:N.

A avaliação dos demais parâmetros por meio da estatística clássica mostraram que existe uma grande homogeneidade no conjunto dos dados para cada situação amostrada, ou seja, não foram verificadas variações nos atributos do solo que pudessem comprometer as análises comparativas (Quadro 1). Cabe salientar que isto se deve principalmente ao tempo de implantação dos sistemas com cana-de-açúcar.

Com os resultados para a camada 0-30 cm foi possível calcular a equação de regressão exponencial de decaimento da MOS para o cultivo da cana-de-açúcar em solos argilosos para a região de Piracicaba. A meia-vida da MOS foi estimada em 6,5 anos (camada 0-30 cm), ou seja, nesse intervalo de tempo, a entrada de resíduos e a mineralização da MOS promoveram o “turnover” de metade dos estoques de C. Com a equação exponencial de decaimento, estimou-se que no 55º ano após a conversão das áreas a perda de MOS passou a ser inferior a 0,1 % ano⁻¹, o que poderia ser considerado um período de estabilização nas perdas de MOS do solo, sendo que no 63º ano após a conversão foi verificada a redução no estoque de C no solo de 50%.

O método proposto no volume 4 do Guia para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa (IPCC, 2006) recomenda a utilização de 20 anos para estimar o fator de emissão de C, e para este período foi estimado em 1,91 Mg C ano⁻¹.

CONCLUSÕES

A conversão da Mata para o cultivo da cana-de-açúcar por longo período de tempo ocasionou a diminuição de cerca de 50% no estoque de C e N no solo.

A meia-vida da MOS calculada para o solo argiloso da região de Piracicaba cultivado com cana-de-açúcar foi estimado em 6,5 anos.

O fator de emissão de C do solo, para a camada 30 cm, devido à mudança de uso do solo após 20 anos, conforme proposto pelo IPCC foi de 1,91 Mg C ano⁻¹.

AGRADECIMENTOS

Aos proprietários e funcionários da Usina Capuava S.A. Aos mestrandos João Braga Rocha e Caio Zani e ao estagiário David Lourenço pelo auxílio nas amostragens.

REFERÊNCIAS

Assis, C.P.; Jucksch, I.; Mendonça, S. & Neves, J.C.L. Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 41: 1541-1550, 2006.

Bernoux, M.; Arrouays, D.; Cerri, C.C. & Bourennane, H. Modelling vertical distribution of carbon in Oxisols of the Western Brazilian Amazon (Rondônia). *Soil Sci.*, 163: 941-951, 1998.

Blake, G.R. & Hartge, K.H. Bulk density. In: Klute, A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. 2 ed. Madison: ASA, p. 363-375, 1986. (Agronomy Monograph, 9).

Cerri, C.C. et al. Greenhouse gas mitigation options in Brazil for land-use change, livestock and agriculture. *Scientia Agrícola*, v. 67, p. 102-116, 2010.

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. *Cah. Orston, ser. Pédol.*, vol XXVI, n.1, 37-50, 1991.

Conab (2013). Companhia Nacional de Abastecimento Acompanhamento de safra brasileira: Cana-de-açúcar, terceiro levantamento, dezembro/2012. Disponível em <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=>>>. Acesso em 13 mar. 2013.

Embrapa (2013). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. CNPTIA. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em 13 mar. 2013.

IPCC (2006). Intergovernmental Panel On Climate Change. The Physical Science Basis: Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2006.

Machado, P.L.A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. *Química Nova*, 28: 329-334, 2005.

Oliveira, J.T.; Santos, A.M.S.; Moreau, A.M.; Menezes, A.A. & Costa, O.V. Características físicas e carbono orgânico de solos sob diferentes tipos de uso da terra. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 32: 132-138, 2008.

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 Till.*, 76: 39-58, 2004.

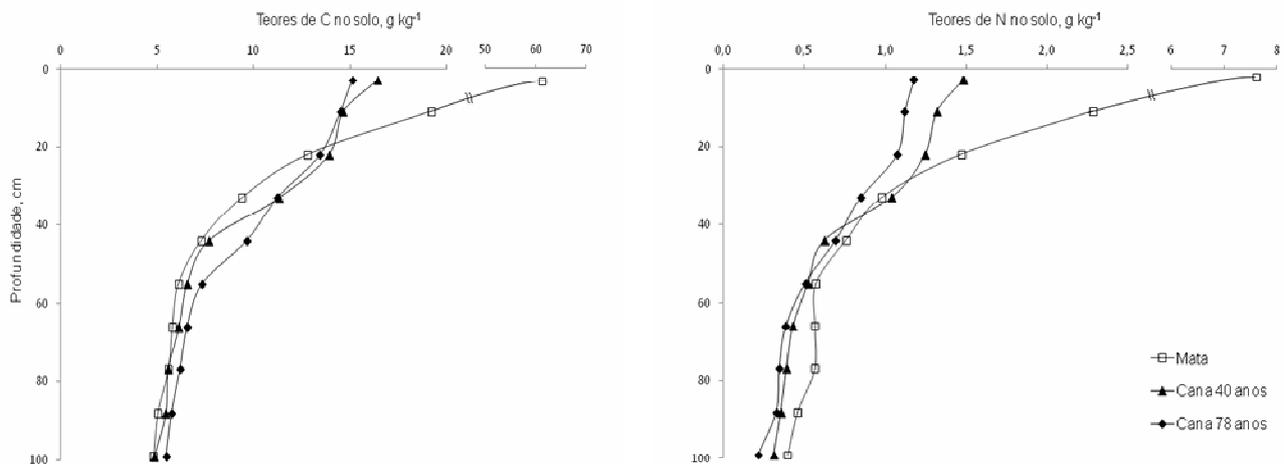


Figura 1. Representação dos teores de C e N (g kg^{-1}) no perfil do solo até 100 cm obtidos nas áreas de mata e cultivadas com cana-de-açúcar (40 e 78 anos) na Fazenda Capuava no município de Piracicaba, SP.

Tabela 1. Estatística clássica aplicada aos estoques de C e N (Mg ha^{-1}) obtidos nas áreas de mata e cultivadas com cana-de-açúcar (40 e 78 anos) na Fazenda Capuava no município de Piracicaba, SP.

Áreas ¹		Média [†]	Med. ²	Mín. ³	Máx. ⁴	D.P. ⁵	C.V.(%) ⁶	Ass. ⁷	Curt. ⁸
Camada 0-30 cm									
Mata	C (Mg ha^{-1})	88,0a	86,8	66,9	120,5	16,3	18,5	0,7	-0,1
	N (Mg ha^{-1})	10,7a	10,1	8,1	14,7	2,1	19,7	0,6	-0,4
	C:N	8,3b	8,2	8,0	8,6	0,2	2,6	0,3	-1,0
Cana 40	C (Mg ha^{-1})	45,5b	44,6	37,7	53,0	5,3	11,7	0,1	-1,1
	N (Mg ha^{-1})	4,1b	3,9	3,3	5,3	0,6	15,8	1,2	0,8
	C:N	11,2a	11,3	9,9	12,9	0,9	8,2	0,3	-0,3
Cana 78	C (Mg ha^{-1})	43,5b	44,0	38,9	46,0	2,5	5,8	-0,9	-0,3
	N (Mg ha^{-1})	3,4b	3,4	3,0	3,9	0,3	9,2	0,1	-1,2
	C:N	12,9a	13,0	11,5	13,8	0,7	5,4	-0,6	-0,2
Camada 0 - 100 cm									
Mata	C (Mg ha^{-1})	124,1a	127,3	111,5	135,2	9,6	7,7	-0,6	-1,6
	N (Mg ha^{-1})	14,0a	13,7	12,6	15,9	1,3	9,2	0,6	-1,5
	C:N	8,9b	8,8	8,5	9,3	0,4	4,0	0,4	-1,9
Cana 40	C (Mg ha^{-1})	98,9b	98,9	83,6	114,3	12,6	12,7	0,0	-1,7
	N (Mg ha^{-1})	8,7b	7,7	6,9	11,4	2,0	23,3	0,9	-1,8
	C:N	11,7ab	12,1	10,1	12,9	1,3	11,1	-0,6	-1,9
Cana 78	C (Mg ha^{-1})	102,5b	98,8	92,3	116,2	10,8	10,5	0,7	-1,9
	N (Mg ha^{-1})	7,4b	7,0	6,6	8,5	0,8	11,4	0,9	-1,9
	C:N	13,9a	13,7	13,3	14,8	0,6	4,7	0,7	-1,9

¹Áreas: Cana 40 - cana-de-açúcar cultivada a 40 anos; Cana 78 - cana-de-açúcar cultivada a 78 anos.

²Med. = mediana; ³Min. = valor mínimo; ⁴Max. = valor máximo; ⁵D.P. = desvio padrão; ⁶C.V.= coeficiente de variação; ⁷Ass. = Assimetria; ⁸Curt. = Curtose. † = Valores da média comparadas pelo teste Tukey (p > 0.05).