



# XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo

Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas  
31 de julho à 05 de agosto - Center Convention - Uberlândia/Minas Gerais

## ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE CARBONO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE SOJA NA REGIÃO NORTE MATO-GROSSENSE

**Sandra Furlan Nogueira<sup>(1)</sup>, Célia Regina Grego<sup>(1)</sup>, Carlos Fernando Quartaroli<sup>(1)</sup>,  
Ricardo Guimarães Andrade<sup>(1)</sup>, Wilson Anderson Holler<sup>(2)</sup>, Daiana Morelli Vital<sup>(3)</sup>**

<sup>(1)</sup> Pesquisadores da Embrapa Monitoramento por Satélite - CNPM. Av. Soldado Passarinho, 303, Campinas, SP, CEP 13070-115. E-mail: [sandra@cnpm.embrapa.br](mailto:sandra@cnpm.embrapa.br); <sup>(2)</sup> Analista da Embrapa Monitoramento por Satélite - CNPM. Av. Soldado Passarinho, 303, Campinas, SP, CEP 13070-115; <sup>(3)</sup> Bacharel em Ciências Biológicas, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Rod. Dom Pedro I, km 136, Campinas, SP.

**Resumo** – O objetivo deste trabalho foi analisar dados sobre o cultivo da soja e realizar estimativas de estoque de carbono orgânico do solo (COS) sob tal cultura utilizando ferramentas de geoprocessamento. Para a estimativa do COS foram utilizados mapas digitais de solo, de biomas e das áreas produtoras em 1999 e 2007. As áreas produtoras foram divididas em unidades cartográficas segundo a combinação de solos, biomas e cultivo com soja. Os valores de COS foram estimados para cada unidade cartográfica pela aplicação de fatores publicados em literatura que correlacionavam o estoque de COS aos solos, biomas e cultivo com soja. Posteriormente, para cada município da região, obteve-se o estoque médio de COS por hectare nas áreas produtoras. Mapas coropléticos com os valores de COS por município foram elaborados. Nos municípios avaliados, em solos cultivados com soja, a variação média no estoque de COS, obtida através das estimativas realizadas, foi positiva, de 2,7% ou 1,3 Mg ha<sup>-1</sup>. Essa variação decorre da adoção crescente da prática do plantio direto, uma forma de manejo que favorece a estabilização da matéria orgânica no solo.

**Palavras-Chave:** solo; biomas; mapas digitais, geoprocessamento; plantio direto.

### INTRODUÇÃO

A região norte do Mato Grosso destaca-se pelo seu novo e complexo cenário de uso e cobertura das terras, caracterizado principalmente pela conversão da vegetação natural para agricultura e pela conversão entre sistemas de produção agropecuária. Essas conversões mostram-se bastante representativas para estudos que visem o melhor entendimento dos padrões físicos e temporais da expansão e intensificação agropecuária, assim como seus efeitos sobre as características físicas, químicas e biológicas dos solos.

Nos trópicos, a conversão de áreas com vegetação nativa para sistemas agrícolas normalmente resulta em perdas de COS. Essas perdas são consequência da combinação de altas temperaturas, umidade e manejos agrícolas como a queima da biomassa vegetal e o revolvimento do solo (Lal, 2004; Resck, 1997; Scholes & Breemen, 1997). Os conteúdos de COS estão diretamente relacionados com a textura do solo e há uma clara tendência de maiores conteúdos em solos

com elevados teores de argila, pela proteção física e química conferida (Christensen, 2000; Feller & Beare, 1997; Roscoe & Machado, 2002; Six et al., 2002, 2004). A estabilização do COS pela interação com minerais do solo, segundo Zech et al (1997), é mais desejada em solos tropicais do que em temperados, pelo fato das condições climáticas prevalentes em solos tropicais favorecerem a rápida decomposição dos componentes orgânicos.

No plantio direto (PD), com a eliminação do revolvimento do solo, cessa a existência dos mecanismos de perda de carbono (C) mencionados anteriormente, ou seja, ocorre um aumento do tempo de residência do C no solo. A palha e os demais restos vegetais de culturas anteriores são mantidos na superfície do solo, garantindo cobertura e proteção do mesmo contra processos como a erosão. No momento do plantio, o preparo do solo restringe-se à abertura de um sulco onde são depositadas sementes e fertilizantes. A rotação de culturas (por exemplo, leguminosas e gramíneas) é utilizada nesse sistema com os objetivos principais de manter o solo coberto ao longo de todo ano e reduzir perdas de solo, diversificar e aumentar o número de safras e explorar sinergias entre diferentes culturas agrícolas (Miranda, 2007).

Das explicações anteriores conclui-se que o entendimento dos diferentes sistemas de produção agropecuária (diferentes combinações de culturas, sistemas de manejo e preparo do solo e tipos de solos), assim como a alteração desses tipos de usos da terra em uma determinada área e subseqüentes alterações dos estoques de carbono dos solos, representa uma importante etapa nas investigações sobre a sustentabilidade dos agroecossistemas (Mielniczuk et al., 2003). Por serem transformações que ocorrem em grandes áreas e de forma simultânea, os condicionantes dessas mudanças e os seus efeitos também atuam nessa escala.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) constituem uma importante ferramenta para monitorar grandes extensões geográficas, pela facilidade de armazenar, espacializar e analisar grandes quantidades de dados referentes aos recursos naturais e as atividades antrópicas; e avaliar ou simular as consequências dessas atividades sobre a superfície terrestre (Morton et al., 2006). Essa ferramenta foi usada neste trabalho que teve o objetivo de estimar o estoque de COS sob a cultura da soja e dos estoques médios de COS por município, feitas a

partir dos mapeamentos das áreas cultivadas segundo a forma de colheita praticada; além de informações de literatura sobre o comportamento dos estoques de COS em diferentes tipos de solo, biomas e manejos da soja.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de Estudo

A área de estudo compreende parte da mesorregião Norte Mato-Grossense, denominada neste trabalho como pólo de produção de soja (PS). São 15.206.055 ha em área contínua envolvendo o território de 26 municípios do Estado de Mato Grosso. Os municípios do PS estão sobre solos classificados como Latossolos Vermelho Amarelo (LVA), Latossolos Vermelho (LV) e Neossolos Quartzarênico (RQ) (Seplan, 2009). O clima da região é do tipo Aw (Köppen), tropical, com chuvas concentradas no verão (outubro a abril), e um período seco bem definido durante a estação de inverno (maio a setembro). A média anual da precipitação pluviométrica é 1900 mm por ano, e a média anual da temperatura ambiente é 26°C. A vegetação nativa original, ainda presente em algumas extensões, é composta por Savanas e transições entre Savana e Floresta Estacional Semidecidual.

### Obtenção dos dados

As estimativas de estoque de COS por hectare em áreas cultivadas com soja para cada município foram feitas a partir de mapas digitais vetoriais em formato *shapefile* e dados publicados na literatura científica referentes aos estoques e alterações no COS em áreas agrícolas. Todos os procedimentos foram executados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica, por meio do software ArcGIS 9.2. Os mapas, produzidos pelo Projeto de Desenvolvimento Agroambiental do Estado De Mato Grosso – PRODEAGRO (Seplan, 2009), eram compatíveis com a escala 1:250.000 e envolviam temas referentes à Pedologia, formações vegetais e uso e ocupação das terras no ano de 2006. Também foi utilizado o mapa com a divisão político-administrativa dos municípios brasileiros, produzido pelo IBGE e compatível com a escala 1:500.000 (IBGE, 2009). Todos os mapas foram reprojatados para o Sistema de Projeção Cônica Equivalente de Albers que possibilita maior exatidão no cálculo de áreas.

Da intersecção dos *shapefiles* referentes aos mapas citados resultou um novo *shapefile*, com novas unidades cartográficas e seus respectivos registros. Ao registro de cada unidade cartográfica que apresentava “culturas anuais” como forma de uso das terras em 2006, foi acrescentado o valor estimado de carbono estocado no solo por hectare, de acordo com a classe de solo da unidade. Os valores foram obtidos em pesquisas realizadas por Mello (2007) e serão referenciados neste texto pelo símbolo *Corig*, que representam o estoque de carbono no solo por hectare em condição anterior a ocupação agrícola, quando os solos da unidade ainda estavam cobertos por vegetação nativa. Também foi acrescentado a cada registro os valores estimados de COS para as mesmas unidades cartográficas supondo que suas áreas estivessem

cultivadas por soja em plantio direto há quatro anos ou mais. Esses valores foram obtidos pela multiplicação do *Corig* por um fator *F* que assumiu o valor 1,08, quando a unidade cartográfica apresentava cerrado ou cerrado novo como forma de vegetação natural; ou 1,01, quando a unidade apresentava outras formas de vegetação (floresta ou transição). Os valores de *F* foram baseados em pesquisa de Maia (2009) que aponta aumento dos estoques de COS em sistemas de plantio direto em áreas de Cerrado, Cerradão e Floresta Amazônica, quando comparado aos estoques na condição de vegetação nativa.

Para cada município, foram calculadas as estimativas dos valores médios de estoque de COS por hectare em áreas com culturas anuais em 2006 supondo duas situações: (a) todas as áreas produtoras com vegetação nativa (Equação 1); (b) todas as áreas produtoras com soja em plantio convencional (Equação 2).

$$ECorig_j = \frac{\sum_{i=1}^n Corig_i * A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \dots\dots\dots(equação 1)$$

$$ECpd_j = \frac{\sum_{i=1}^n Corig_i * F_i * A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \dots\dots\dots(equação 2)$$

onde:

*ECpd<sub>j</sub>*=estoque médio de carbono no solo por hectare para as áreas do município *j* com culturas anuais em 2006 supondo a prática de plantio direto em todas as áreas;

*ECorig<sub>j</sub>*=estoque médio de carbono no solo por hectare para as áreas do município *j* com culturas anuais em 2006 quando elas ainda apresentavam vegetação nativa;

*A<sub>i</sub>* = área em hectares da unidade cartográfica *i* com culturas anuais em 2006 situadas dentro do município *j*;

*n* = número de unidades cartográficas do município *j* com culturas anuais;

*Corig<sub>i</sub>* = estoque de carbono no solo por hectare na unidade cartográfica *i* quando ocupada por vegetação nativa;

*F<sub>i</sub>*= fator de conversão aplicado ao *Corig* para estimar o estoque de COS em áreas onde culturas anuais em plantio direto substituíram a vegetação nativa.

A partir dos dados de *ECpd<sub>j</sub>*, *ECorig<sub>j</sub>* e das estimativas de área colhida com soja por município levantados pelo IBGE em 2003 (*Ac2003<sub>j</sub>*) e em 2007 (*Ac2007<sub>j</sub>*) foram calculados, para cada município, os valores estimados de estoque de COS por hectare em áreas com soja no ano de 2007 (*EC2007<sub>j</sub>*). Pelo fato do IBGE fornecer apenas os dados numéricos de área colhida por município, sem mapear as áreas produtoras, os cálculos foram realizados considerando que as áreas com soja levantadas pelo IBGE estavam distribuídas pelos diferentes tipos de solo e vegetação segundo a mesma proporção verificada no mapeamento executado pelo Seplan (2009) para culturas anuais em 2006. Considerou-se que a diferença entre as áreas colhidas em 2007 e 2003 de cada município representavam áreas de expansão recente da soja, onde antes existia vegetação nativa. Assim, o estoque de COS dessas áreas foi estimado a partir do valor médio de estoque de COS em condições de vegetação nativa

(ECorig<sub>j</sub>), supondo que o tempo de cultivo da soja em plantio direto não foi suficiente para um aumento dos estoques de COS. Para o restante das áreas colhidas, supostamente ocupadas por soja em plantio direto desde o ano de 2003, considerou-se o estoque médio de COS calculado para áreas com culturas anuais em plantio direto (ECpd<sub>j</sub>). Portanto, o estoque de COS por hectare em áreas produtoras de soja em 2007 para um município j foi estimado por:

$$EC2007_j = \frac{ECorig_j * (Ac2007_j - Ac2003_j) + ECpd_j * (Ac2003_j)}{Ac2007_j}$$

.....(equação 3)

Quando a área colhida em 2007 era menor que a área colhida em 2003, o termo (AC2007<sub>j</sub> - AC2003<sub>j</sub>) foi considerado igual a zero.

A consolidação da prática do plantio direto no Estado de Mato Grosso ocorreu apenas nos anos 1990; portanto, pode-se considerar que em 1999 a soja do Estado era cultivada pelo sistema convencional ou por plantio direto recém-implantado e o estoque de COS por hectare das áreas produtoras era o mesmo do verificado em condições de vegetação nativa. Deste modo, a estimativa do valor médio de COS por hectare para as áreas produtoras em 2006 por município (ECorig<sub>j</sub>), calculada pela Equação 1, foi considerada como estimativa para os estoques de COS em 1999. Como não havia mapeamento das áreas produtoras em 1999, supôs-se que estas estivessem distribuídas pelos diferentes tipos de solo e vegetação segundo a mesma proporção verificada no mapeamento executado pelo Seplan (2009) para culturas anuais em 2006.

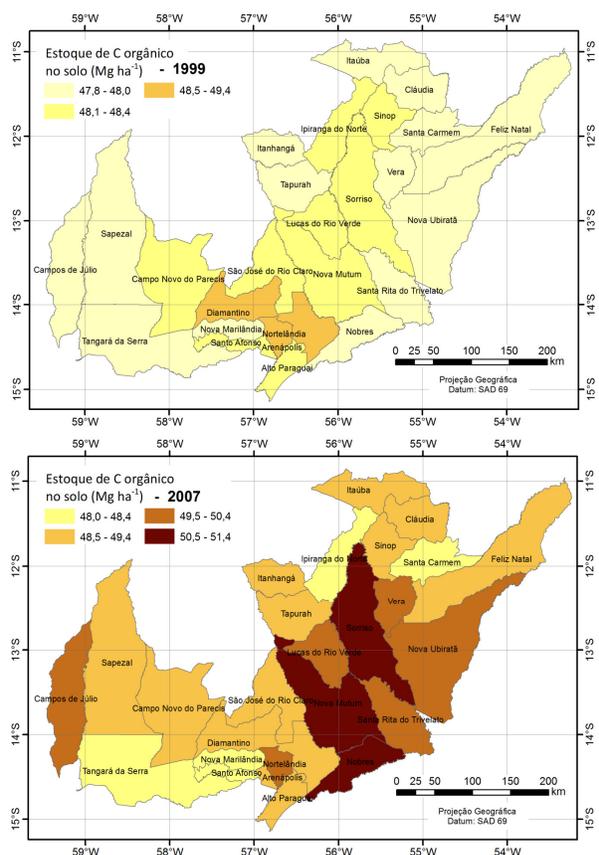
À representação cartográfica dos limites dos municípios localizados dentro da área de estudo foram associados os valores estimados de COS por hectare de soja colhida em 1999 e 2007. Esse processo, executado com ferramentas de SIG, resultou em um mapa coroplético.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema plantio direto é reconhecido como um sistema de cultivo nas regiões tropicais e sub-tropicais, que promove a alta produtividade das culturas, principalmente em anos mais secos, combinada com o menor impacto no meio ambiente pelo eficaz combate à erosão hídrica. Atualmente, busca-se identificar, ainda no contexto dos benefícios ambientais, a contribuição do sistema plantio direto na mitigação da mudança climática global por meio do acúmulo de carbono orgânico no solo.

Com relação ao estoque médio de COS por hectare em áreas com soja, não há diferenças significativas entre os municípios da região (Figura 1). Quando comparadas as estimativas para o ano de 1999 e 2007, observa-se um pequeno incremento do estoque de COS. Pela metodologia utilizada nas estimativas do estoque de COS, a pequena variação observada entre os dois anos seria atribuída à implantação da prática do plantio direto, já que os outros fatores que influenciam no COS, classe de solo e tipo de vegetação, pouco variam nas áreas produtoras. Como se considerou que o plantio direto é a única forma de manejo da cultura na região e que essa prática contribui para aumentar o

COS apenas se implantada há quatro anos ou mais, os municípios com grandes áreas de implantação recente da soja apresentaram variações no COS ligeiramente menores que municípios com áreas cultivadas há mais tempo (antes de 2004). Entre os municípios com os maiores valores de estimativa de COS por hectare em 2007 e também com os maiores incrementos na estimativa de COS estão Nobres, Nova Mutum, Nova Ubiratã, Sorriso e Santa Rita do Trivelato.



**Figura 1.** Estoque médio de carbono orgânico no solo por hectare em áreas colhidas com soja nos anos de 1999 e 2007. Dados estimados por município.

Considerando as áreas colhidas com soja em toda a área de estudo e comparando os valores estimados para 1999 com os de 2007, o estoque de COS por hectare aumentou de 48,2 Mg ha<sup>-1</sup> para 49,5 Mg ha<sup>-1</sup>, um incremento de 1,3 Mg ha<sup>-1</sup> ou de apenas 2,7 % em relação ao valor estimado para 1999.

Quando se passa do plantio convencional para o plantio direto, vários autores apontaram um incremento do C que às vezes se iguala como o solo nativo, bem como uma melhoria na qualidade do solo (Zinn et al, 2005). Six et al. (2002) em uma revisão de literatura internacional constataram um acúmulo médio de COS de 0,33±0,11 Mg de C ha<sup>-1</sup> na conversão de PC para PD. A explicação é que no PD a decomposição da MOS é mais lenta e a sua conservação é favorecida pela estruturação do solo. A média das variações nos estoques de C na conversão de PC para PD de 44 trabalhos nacionais apresentados por

Bernoux et al. (2006) foi positiva, porém estatisticamente não difere de zero,  $0,48 \pm 0,51 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

O Brasil é um dos países signatários do Protocolo de Quioto que trata da redução de emissão de gases de efeito estufa (GEE – ex. dióxido de carbono, metano e óxido nitroso). Atualmente, embora a redução de emissões pelo Brasil não seja compulsória, sempre se discute a possibilidade do sistema plantio direto ser considerado como contribuinte eficaz para a mitigação das mudanças climáticas. O sistema plantio direto não é elegível para projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) para o período de 2008 a 2012 (Machado et al., 2003), mas há grandes possibilidades para após 2012. Por outro lado, o Brasil pode ser incluído, num futuro breve, no grupo dos países com obrigações de redução de emissões e os solos sob sistema plantio direto podem contribuir para o país cumprir as metas de reduções de emissões pelo acúmulo de carbono no solo.

### CONCLUSÕES

Pelas estimativas realizadas para os anos de 1999 e 2007, a variação do estoque médio de COS por hectare em solos cultivados com soja foi positiva, mas não apresentou diferenças significativas entre os municípios avaliados, localizados no Estado do Mato Grosso. O aumento nos estoques de COS decorre da prática do plantio direto, uma forma de manejo que favorece a estabilização da matéria orgânica no solo.

Este estudo mostra o grande potencial do uso de geotecnologias no monitoramento espaço-temporal de variáveis ambientais, principalmente àquelas com importância em ciclos e processos globais. É importante salientar, contudo, que existe uma matriz grande de possibilidades de efeitos sobre o estoque de COS, em virtude da grande heterogeneidade de tipos de solos, das variações existentes dentro de cada tipo de solo e dos diferentes usos do solo e seus históricos. Assim, a estimativa de estoques de carbono com a utilização de plataformas de informações espacializadas em escalas mais precisas é a alternativa mais adequada com o objetivo de se obter cálculos mais próximos da realidade. Compilações de informações e estudos precisam ser aprofundados.

### REFERÊNCIAS

BERNOUX, M.; CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P.; NETO, M.S.; METAY, A.; PERRIN, A.S.; SCOPEL, E.; RAZAFIMBELO, T.; BLAVET, D.; PICCOLO, M.D.; PAVEI, M. & MILNE, E. Cropping systems, carbon sequestration and erosion in Brazil, a review. *Agron Sustain. Dev.*, 26,(1):1-8, 2006.

CHRISTENSEN, B.T. Organic matter in soil - structure, function and turnover. Tjele, Denmark: Danish Institute of Agricultural Sciences, 2000. 95 p. (Report, 30).

FELLER, C.; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*, 79: 69-116,

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapas Interativos. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas/malhas\_digitais/>.

Acesso em 6 fev. 2009.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Sci.*, 304:1623-1627, 2004.

MACHADO, P.L.O. DE A.; CAMPOS, A.C. & SANTOS, F.S. Métodos de Preparo de Amostras e de Determinação de Carbono em Solos Tropicais. Circular Técnica Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2003. 9 p.

MAIA, S.M.F. Estimativa das emissões de dióxido de carbono do solo devido às mudanças no uso da terra em Rondônia e Mato Grosso. 161 f. 2009. Tese – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MELLO, F.F.C. Estimativas dos estoques de carbono dos solos dos estados de Rondônia e Mato Grosso anteriores às intervenções antrópicas. 88 f. 2007. Dissertação – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F. & DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, L.R.G.; LIMA, J.M. de; LOPES, A.S. & ALVAREZ, V.V.H. (Coord.). Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: SBCS, 2003, p.210-248.

MIRANDA, E.J. Efeito temporal da cultura da soja nos atributos físico-químicos do solo do Estado do Mato Grosso. 86 f. 2007. Dissertação - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MORTON, D.C.; DEFRIES, R.S.; SHIMABUKURO, Y.E.; ANDERSON, L.O.; ARAI, E.; ESPIRITO-SANTO, F. DEL, B.; FREITAS, R. & MORISSETTE, J. Cropland expansions changes dynamics in the southern Brazilian Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103:14637-14641, 2006.

RESCK, D.V.S. O plantio direto como alternativa de sistema de manejo e conservação do solo e da água na região dos cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Rio de Janeiro: SBCS, 1997. 21 p.

ROSCOE, R. & MACHADO, P.L.O.A. Fracionamento físico do solo em estudos de matéria orgânica. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2002. 86 p.

SCHOLLES, R.J. & BREEMEN, N. The effects of global change on tropical ecosystems. *Geoderma*, 79:9-24, 1997.

SEPLAN- Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação do Estado do Mato Grosso. Mapas temáticos digitais (Âmbito do Zoneamento Sócio Econômico Ecológico do Estado / ZEE-MT). Disponível em: <www.zsee.seplan.mt.gov.br>. Acesso em 6 fev. 2009.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYSE, S. & DENEFF, K.A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Tillage Res.*, 79:7-31, 2004.

SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S. M.; SA, J.C.D. & ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - Effects of no-tillage. *Agronomie*, 22(7-8):755-775, 2002.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMAN, J.; MIANO, T.M.; MILTNER, A; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. *Geoderma*, 79:117-161, 1997.

ZINN, Y.L.; LAL, R. & RESCK, D.V.S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. *Soil Tillage Res.*, 84(1):28-40, 2005.