

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica

*Lucilia Maria Parron
Junior Ruiz Garcia
Edilson Batista de Oliveira
George Gardner Brown
Rachel Bardy Prado
Editores Técnicos*

Embrapa
Brasília, DF
2015

Estoques de carbono no solo como indicador de serviços ambientais

Lucilia Maria Parron, Marcos Fernando Glück Rachwal, Claudia Maria Branco de Freitas Maia

Resumo: Os solos são um recurso multi-funcional que oferecem uma variedade de serviços ambientais que podem ser classificados nas categorias de suporte, provisão e regulação. As variações dos estoques de carbono no solo estão associadas às práticas de manejo, as quais têm grande implicação na manutenção da qualidade do solo e na estabilidade do clima, e, portanto, estão diretamente relacionadas à prestação de serviços ambientais. Neste capítulo são discutidas as relações entre carbono no solo, uso e manejo da terra e serviços ambientais, a importância da padronização dos métodos para sua quantificação e a utilização do estoque de carbono orgânico no solo como indicador de serviços ambientais.

Palavras-chave: serviços ambientais, carbono orgânico do solo, amostragem e análise do solo, uso e manejo da terra, avaliação ecossistêmica do milênio.

Soil carbon stocks as indicators of soil ecosystem services

Abstract: Soils are a multi-functional resource that provide a range of ecosystem goods and services that can be classified into the categories supporting, provisioning and regulation services. Land use and management practices may lead to variations in carbon stocks and affect the quality of ecosystem services. To increase of soil carbon stocks and plant biomass can be highly beneficial to soil quality and to mitigate climate change impacts. In this chapter we describe and discuss the relationship between soil carbon, land use and management practices and ecosystem services, the importance of standardization of methods for carbon measuring and the use of soil carbon stocks as an indicator of soil quality and its role in ecosystem services evaluation.

Keywords: supporting services, provisioning services, soil organic carbon soil, soil carbon storage, land use and management practices, Millennium Ecosystem Assessment.

1. Introdução

Numerosos serviços ambientais essenciais para o bem-estar humano podem ser fornecidos pelo solo. Esses serviços podem ser classificados como de provisão (ex. produção de alimentos), suporte (ex. ciclagem de nutrientes), e regulação (ex. sequestro de carbono, perda de solos por erosão) (ver Capítulo 1). O solo é uma interface litosfera-atmosfera de quatro dimensões (comprimento, largura, profundidade e tempo), funcionando como um meio para o crescimento das plantas e como moderador de processos ecológicos essenciais para o funcionamento de ambientes aquáticos e terrestres. A variedade de

serviços dos ecossistemas fornecidos pelo solo depende da predominância de determinada dimensão.

O aumento dos estoques de carbono no solo é comumente associado à redução dos efeitos negativos das mudanças climáticas, mas a presença de carbono no solo e na biomassa vegetal é também benéfica para outras funções ecossistêmicas e serviços ambientais^W. Quando comparada às práticas de agricultura intensiva convencional, técnicas conservacionistas podem levar à redução das emissões de gases de efeito estufa (GEEs) e, simultaneamente, diminuir o consumo de combustíveis durante o processo de produção,

aumentar os estoques de carbono orgânico (CO) no solo e manter os serviços ambientais (STAVI; LAL, 2013). Por exemplo, a ciclagem de nutrientes, que promove o armazenamento de carbono e retenção de nutrientes, processos fundamentais para a manutenção da fertilidade do solo na agricultura é um serviço de suporte.

O carbono orgânico (CO) do solo, componente da matéria orgânica do solo (MOS), é o principal recurso para as atividades da comunidade microbiana do solo, que promove sua decomposição e liberação de nutrientes para as plantas e para a produção de biomassa microbiana (SCHOLES et al., 2009; ZHANG et al., 2007).

A redução do CO no solo ocorre tanto por sua mineralização química como pelo consumo de C do solo e liberação na forma de CO₂ (LUO; ZHOU, 2006). O CO confere estabilidade à estrutura do solo e aumenta a sua capacidade de retenção de água (RAWLS et al., 2003). Organossolos sob campo hidrófilo, p.ex., são capazes de armazenar 8,6 milhões L ha⁻¹ de água (RACHWAL, 2013). Além disso, contribuem para outros serviços ambientais de suporte, provisão e regulação (ver Capítulo 1). Em função dessas conexões, os estoques de carbono orgânico, as concentrações de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e fósforo (P), e a atividade microbiana podem ser usados como indicadores de serviços ambientais do solo (DALE; POLASKY, 2007).

O objetivo do capítulo é discutir as relações entre carbono no solo, uso e manejo da terra e serviços ambientais, apresentar a importância da padronização dos métodos para sua quantificação e avaliar o estoque de carbono orgânico no solo como indicador de prestação de serviços ambientais.

2. Práticas de manejo e serviços ambientais

Na agricultura convencional, cujas práticas de manejo envolvem rotação anual de culturas e aplicação de fertilizantes inorgânicos com N e P, e de pesticidas sintéticos, frequentemente ocorre redução das concentrações de CO e NT, assim como, redução na quantidade e diversidade da biomassa microbiana. Mudanças nas práticas de manejo, como cultivo mínimo, redução da pressão de pastejo, agricultura orgânica e supressão do desmatamento, podem reduzir perdas por respiração heterotrófica, preservando os estoques de CO no solo e na biomassa vegetal (VERBRUGGEN et al., 2012). Como consequência, mantêm serviços ambientais de suporte (PIMENTEL et al., 2005).

No processo de identificação de práticas de manejo que favorecem múltiplos serviços ambientais, é importante

considerar os *trade-offs*, isto é, pode ocorrer correlação negativa no desempenho dos atributos de determinada prática de manejo, o que implica em prejuízo de um atributo em relação a outro (RAUDSEPP-HEARNE et al., 2010). Isso permite entender como diferentes usos e sistemas de manejo da terra podem manter e aumentar os estoques de carbono e outros serviços ambientais (BENNETT et al., 2009). Na escala de paisagem, verifica-se forte *trade-off* entre serviços de suporte (ex. sequestro de carbono e ciclagem de nutrientes) e de provisão que demandam redução de CO no solo (ex. produção de alimentos e fibras) (JANZEN, 2006; RAUDSEPP-HEARNE et al., 2010). Portanto, para manter o provimento de serviços ambientais em alta, é necessário identificar os *trade-offs*, p.ex., identificar como é possível aumentar o CO sem reduzir as taxas de decomposição, para que a ciclagem de nutrientes não seja afetada (POWLSON et al., 2011a).

3. Padronização da avaliação de estoques de carbono no solo

A padronização dos métodos de avaliação de estoques de carbono é requisito essencial para compará-los entre os diferentes usos da terra. Para isso, deve-se considerar a metodologia analítica para CO, densidade aparente, representatividade da escala dos dados e amostragem. Algumas etapas que podem comprometer os resultados e que merecem muita atenção são discutidas adiante: métodos usados para análises de carbono, padronização de procedimentos nas avaliações, estimativa de CO do sistema, COT versus carbono inorgânico total (CIT), padronização na escala dos dados e estimativa do histórico dos teores e alterações do C (profundidade, sítios de referência, densidade do solo, relação de causa-efeito entre uso do solo e estoques de C).

3.1. Técnicas analíticas para estimar o carbono orgânico do solo

A concentração de CO do solo pode ser estimada utilizando-se vários métodos, que se diferenciam na abordagem e na maneira de expressar os resultados. De modo geral, os métodos para a medição do CO podem ser divididos em combustão a seco, oxidação úmida e espectroscópicos associado à análise multivariada (MAIA et al., 2013), mas nenhum deles informa quanto à estabilidade do carbono medido, com exceção de métodos espectroscópicos (infravermelho médio) que podem determinar tanto a concentração de carbono orgânico do solo (COS) quanto discriminar frações desse carbono (estabilidade).



O método de combustão usa um analisador automático para oxidar o CO em altas temperaturas. A matéria orgânica é queimada e convertida a dióxido de carbono, que é carregado cromatograficamente e medido em detectores apropriados. Este método, além de ser mais rápido, é mais preciso e acurado que a oxidação úmida, pois determina tanto o C em formas facilmente oxidáveis como o presente em estruturas dificilmente oxidáveis. Contudo, para solos com baixa concentração de C, é necessário maior número de replicatas (MAIA et al., 2013). Para solos ricos em carbonatos, para evitar a superestimativa do carbono orgânico, o indicado é analisar o carbono inorgânico e subtrair o valor obtido do COT.

O método por oxidação úmida Walkley-Black (WALKLEY; BLACK, 1934) é o mais comum para determinação do carbono do solo. No entanto, como ele só oxida a fração da MOS facilmente decomponível, o método subestima os teores de CO, e a recuperação do C pode variar de 56% a 100%, dependendo do tipo de solo (SKJEMSTAD; TAYLOR, 1999). Várias modificações deste método são propostas, como o aquecimento da amostra, o que parece levar a resultados mais precisos (HEANES, 1984). Para comparar os resultados obtidos de carbono no solo pelos métodos de combustão e pelo Walkley-Black é necessário o uso de um fator de correção para solos brasileiros (GATTO et al., 2009).

Mais recentemente, técnicas quimiométricas aplicadas às medidas espectroscópicas vêm sendo introduzidas para estimar o CO do solo (MAIA et al., 2013). Estes métodos baseiam-se em modelos de calibração desenvolvidos sobre dados analíticos de um grande número de amostras, oriundos de procedimentos químicos (combustão seca é a mais usual) ou de medidas espectroscópicas. Estes últimos incluem principalmente técnicas espectroscópicas vibracionais, tais como do infravermelho médio ou próximo (MIR e NIR) que, neste caso, podem discriminar comprimentos de onda específicos e, portanto, diferentes frações da MOS. Estes métodos medem a reflectância do solo, preservando a composição original das amostras de solo intactos (MADARI et al., 2005; ZIMMERMAN et al., 2007). Os métodos analíticos baseados na perda de massa por ignição ou digestão úmida apresentam falhas, enquanto os procedimentos de combustão secos, usados atualmente, têm precisão analítica de aproximadamente 2 a 3% (WATSON et al., 2000).

3.2. Densidade aparente do solo

O peso por unidade de volume é uma importante propriedade física do solo, que influencia a produtividade

e a qualidade ambiental. É uma propriedade dinâmica, com variações temporais que são mais pronunciadas na superfície do que em subsuperfície.

A porcentagem de carbono presente em um volume conhecido de solo, multiplicada pela densidade é convertida em massa e representa a quantidade de C estocada no solo. Segundo Stolbovoy et al. (2005), os cilindros metálicos para coleta de amostras indeformadas de solos, para o cálculo da densidade, devem ter um volume mínimo de 100 cm³. Os mesmos autores sugerem diferentes profundidades de coleta de amostras para determinação da densidade do solo, em função do tipo de uso do mesmo. Para culturas anuais, amostras em cilindros volumétricos devem ser coletados na camada de 10 a 20 cm, nos solos sob vegetação florestal nas profundidades de 0 a 10 e de 10 a 20 cm e nas pastagens, nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm.

A densidade do solo varia com o tempo e com o uso da terra. Deve-se esperar que um solo mantido com vegetação original ou secundária apresente densidade inferior a um solo que foi manejado com práticas intensivas de cultivo. Em solos cultivados, a densidade da camada arada pode diminuir, mas abaixo dela ('pé de arado ou de grade') a densidade aumenta (ARAÚJO et al., 2004; JESUS, 2006; KUNZ, 2009). As amostras indeformadas para determinação da densidade do solo devem ser coletadas por meio de cilindros metálicos com volume conhecido, nas mesmas trincheiras e profundidades utilizadas para coleta de amostras para determinar a concentração de carbono. A estimativa da densidade aparente do solo é ajustada conforme as mudanças na massa do solo em determinados intervalos de profundidade. O método da massa equivalente, conforme cálculo proposto por Sisti et al. (2004), impede que o estoque de carbono seja maior em solos que sofreram redução nos teores de C mas que simultaneamente tiveram aumento na densidade.

3.3. Amostragem e representatividade dos dados

As amostragens de solo para avaliações de estoque de C são pontuais, utilizando perfis de solo. Stolbovoy et al. (2005) enfatizam que os perfis permitem analisar a morfologia do solo e a retirada de amostras indeformadas para determinação da densidade. A definição da dimensão da escala de dados deve considerar o quanto dados pontuais, no tempo e espaço, podem ser extrapolados para

áreas maiores, seja na escala pontual, regional, nacional ou global. A modelagem matemática permite a ampliação da escala dos dados, permitindo a sua visualização no formato de figuras e mapas. É importante ter a noção de que universo a amostragem do solo representa e do erro a que está sujeita a aplicação e ampliação da escala dos dados.

Um dos grandes desafios na pesquisa é fazer uma amostragem que capture a variação natural no carbono do solo no espaço e no tempo. Se não é feita corretamente, os resultados obtidos das análises não representarão a realidade. Podem ser feitas amostragens em curtos períodos de tempo, numa mesma área, como no início e no fim de uma cultura anual, bem como em cronosequência, onde as coletas ocorrem no mesmo momento, mas em áreas com diferentes tempos de uso. Antes de partir para a coleta do solo, de acordo com a finalidade da amostragem, vários procedimentos devem ser definidos e padronizados, isto é, deve-se estabelecer o protocolo de amostragem (HIGA et al., 2014).

Os períodos de amostragem podem ocorrer no início ou no final da estação de crescimento e também após uma prática específica de manejo como adubação nitrogenada, desbaste ou drenagem. Para reduzir variações temporais, especialmente nas camadas superficiais do solo, a amostragem deve ser feita em períodos com baixa atividade biológica, como no inverno ou durante as estações secas (STOLBOVOY et al., 2005).

A amostragem deve ser realizada em solos e sistemas de manejo representativos. É indicado comparar solos situados em regiões próximas, com propriedades físicas e posição topográfica semelhantes, e selecionar solos sob vegetação natural, sem intervenção antrópica, como referência. É importante, ainda, considerar o tempo necessário para que o estoque de C orgânico do solo sofra alterações após a mudança de uso ou de manejo. Para áreas de lavouras anuais este tempo padrão é de 20 anos. As modificações nos estoques de C normalmente ocorrem de forma não linear. A taxa de mudança é maior durante os primeiros anos e diminui progressivamente com o tempo. Em contraste, quando o manejo promove aumento no estoque de C, a taxa de acumulação tende a seguir uma curva sigmoide, com variação lenta no início seguida de aumento, voltando a diminuir novamente com o tempo (EGGLESTON et al., 2006). A reamostragem deve ser feita a cada três, cinco ou dez anos, pois intervalos mais curtos podem não detectar diferenças significativas, devido a

pequenas variações anuais nos estoques de C em relação à grande quantidade total de C no solo (SMITH, 2004; WATSON et al., 2000).

A coleta deve ser feita em duas trincheiras de 1 m de largura por 1,2 m de profundidade ou em minitrincheiras de 0,40 m x 0,40 m. Recomenda-se que sejam coletadas quatro amostras por profundidade (duas em cada trincheira), para determinação da concentração de carbono. A amostragem deve ser realizada em camadas definidas de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm (HIGA et al., 2014). A pequena espessura das camadas tem a vantagem de evitar a diluição da concentração do carbono que ocorre quando se coletam amostras em camadas mais espessas. Com o objetivo de evitar contaminação das amostras, a coleta deve ser feita das camadas mais profundas para as mais superficiais. Em solos minerais, os estoques de carbono orgânico devem ser calculados a uma profundidade padrão de 30 cm (EGGLESTON et al., 2006).

Para definir o número ideal de amostras, pode-se efetuar coletas preliminares, determinar a variância e o desvio padrão e determinar o número suficiente para atingir um erro aceitável. Stolbovoy et al. (2005) consideram a variabilidade espacial do carbono para estipular o número mínimo suficiente de amostras de solo, para manter baixo o custo da amostragem.

4. Estoques de carbono no solo: valores obtidos

Os estoques de carbono são, por convenção, expressos em massa por área, como $Mg\ C\ ha^{-1}$. São determinados pelo balanço entre entradas, via produção primária, e saídas, principalmente, pela perda de gases para a atmosfera devido à decomposição de MOS e foto-oxidação abiótica da serapilheira. A Tabela 1 mostra um exemplo de cálculo. Os estoques são obtidos pela multiplicação da concentração do dado analítico de COT, expresso em massa por unidade de massa (em $g\ C\ 100\ g^{-1}$), pela densidade aparente da camada do solo, expressa em massa por volume ($g\ cm^{-3}$ ou $Mg\ m^{-3}$), e pela espessura da camada (cm). No caso do laboratório emitir o resultado em $g\ C\ kg^{-1}$ solo, deve-se transformar em %, dividindo-se o valor por dez. A densidade da camada é fundamental na comparação dos estoques entre diferentes tipos de solo, ao longo do tempo, ou sob diversos usos. Solos com a mesma concentração de carbono, mas com diferentes densidades aparentes, têm estoques de carbono diferentes.

Tabela 1. Estoque de C até a profundidade de 100 cm em um Latossolo Vermelho sob Floresta Ombrófila Mista em Ponta Grossa/, PR.

Profundidade das camadas (cm)	Espessura da camada (cm)	Densidade aparente (g cm ⁻³)	CO (g C 100 g ⁻¹)	Estoque de C (Mg ha ⁻¹)
0-5	5	0,86	3,24	13,93
5-10	5	0,88	2,94	12,94
10-20	10	0,77	2,50	19,25
20-30	10	0,94	2,15	20,21
30-40	10	1,16	1,92	22,27
40-60	20	0,93	1,29	23,99
60-80	20	0,93	0,89	16,55
80-100	20	1,04	0,83	17,26
	Total	-	-	146,40

Quando se busca comparar dados disponíveis na literatura, depara-se com alguns problemas. Há resultados de C determinados por via úmida e outros por via seca. Além disso, os teores e a densidade não são calculados para todos os horizontes ou camadas. No entanto, existem programas que permitem a estimativa do teor do horizonte intermediário entre 0 a 20 cm e 60 a 80 cm, por exemplo, quando se fornece o conteúdo de ambos. Outra maneira é estimar os dados necessários, por meio de funções de pedotransferência, as quais permitem obter a densidade, alimentando o programa com valores conhecidos de textura, C, pH, argila. Pode-se ainda estimar a densidade média do perfil ou por tipo de solo, uma vez que a densidade é uma das propriedades que não varia muito.

O uso da geoestatística e a aplicação de modelagem permitem o aprimoramento das estimativas de estoques de C, uma vez que consideram simultaneamente a

variabilidade vertical, horizontal e temporal nos conteúdos de carbono no solo (FRANCHINI et al., 2011; GREGO et al., 2011). A utilização do cálculo de estoques de CO no solo em programas de pagamentos por serviços ambientais é reconhecida (LAL, 2004), e os modelos desenvolvidos são baseados em mudanças na MOS determinadas em perfis do solo ao longo do tempo (POWLSON et al., 2011b).

5. Estoques de carbono e uso da terra

Os estoques de carbono no solo variam em função do tipo de solo, profundidade, clima, bioma e, principalmente, uso e manejo da terra. Poucos estudos consideram os estoques a 1 m de profundidade (AMEZQUITA et al., 2005). Muitos autores avaliam os estoques somente na superfície do solo, até 30-40 cm (Tabela 2), considerando que as variações em função das profundidades do preparo do solo e influência de raízes ocorrem principalmente até essa profundidade.

Tabela 2. Estoque de C do solo em função do tipo de uso da terra.

Uso da terra	Idade (anos)	Localização	Tipo de solo	Profundidade (cm)	Estoque de C (Mg ha ⁻¹)	Referência
Sistema silvipastoril: Acacia mangium + Arachis pintoi	10-16	Pocora, costa do Atlântico, Costa Rica	Cambissolos	100	183	Amezquita et al. (2005)
Sistema silvipastoril: Brachiaria brizantha + Cordia alliodora+ Guazuma ulmifolia	10-16	Esparza, costa do Pacífico, Costa Rica	Cambissolos	100	132	Amezquita et al. (2005)
Sistema silvipastoril: Eucalyptus spp. + Brachiaria spp.		Bioma Cerrado, Minas Gerais, Brasil	Latossolos	100	353	Tonucci et al. (2011)
Sistema agroflorestal (AFS) baseado em cacau (Theobroma cacao L.)		Bioma Mata Atlântica, Bahia, Brasil	Latossolos	100	302	Gama-Rodrigues et al. (2010)
Sistema agroflorestal (AFS) baseado em cacau (Theobroma cacao L.)	30	Bioma Mata Atlântica, Bahia, Brasil	Latossolos	50	94	Barreto et al. (2011)
Sistema agroflorestal (AFS) baseado em Gliricidia sepium (Jack.) Kunth. ex Walp	15	Indonésia	Cambissolos	100	160	Smiley e Kroschel (2008)
Floresta nativa (Elaeis guineensis Jacq.)	--	Bahia, Brasil	Latossolos	30	54	Frazão et al. (2014)
Plantio de óleo de palma (Elaeis guineensis Jacq.)	34	Bahia, Brasil	Latossolos	30	67	Frazão et al. (2014)
Campos naturais pastejados	--	Bioma Pampa, Rio Grande do Sul, Brasil	Neossolos, Argissolos, Planossolos e Latossolos	40	103 - 140	Pillar et al. (2012)
Floresta nativa	--	Pocora, costa do Atlântico, Costa Rica	Cambissolos	100	219	Amezquita et al. (2005)
Campo hidrófilo altomontano natural	--	Bioma Mata Atlântica	Organossolos	100	581	Rachwal (2013)

Conforme já mencionado, a profundidade mínima proposta pelo IPCC é de 30 cm (EGGLESTON et al., 2006). Contudo, estudos recentes vêm demonstrando que, apesar do baixo teor de C, a maioria dos horizontes subsuperficiais contribui em mais da metade do estoque total em C no perfil do solo e, portanto, precisam ser considerados no balanço global do C (HARPER; TIBBETT, 2013; RUMPEL, 2014). Portanto, as variações nos procedimentos adotados limitam as comparações entre usos da terra, embora essa limitação não impeça a comparação dos resultados obtidos. Contudo, pelos motivos expostos, a padronização de protocolos de coleta e análise é fundamental.

6. Considerações finais

Indicadores de avaliação de serviços ambientais devem ser robustos, transparentes, baratos e com grande acurácia. A capacidade do solo de estocar carbono orgânico é bastante considerada no contexto de mudanças climáticas, constituindo-se em um importante indicador de serviços ambientais, o que permite comparações em função do clima, tipo de solo, bioma, uso e manejo da terra. Contudo, a padronização dos métodos de coleta e análise química do solo é fundamental para garantir a confiabilidade dos resultados gerados e permitir comparações entre sistemas. Somente assim, as estimativas de estoques de carbono orgânico no solo poderão ser utilizadas, de modo seguro, nos programas de pagamentos por serviços ambientais.

Agradecimentos

Agradecemos as seguintes fontes pelo suporte e financiamento: Termo de Cooperação Técnica Embrapa-lapar no. 21500.10/0008-2 e projeto Embrapa-MP2 no. 02.11.01.031.00.01.

Referências

AMEZQUITA, M. C.; IBRAHIM, M.; LLANDERAL, T.; BUURMAN, P.; AMEZQUITA, E. Carbon sequestration in pastures, silvopastoral systems and forests in four regions of the Latin American tropics. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 21, p. 31-49, 2005.

ARAÚJO, E. A.; LANI, J. L.; AMARAL, E. F.; GUERRA, A. Uso da terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelo distrófico na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, p. 307-315, 2004.

BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; FONTES, A. G.; POLIDORO, J. C.; MOÇO, M. K. S.; MACHADO, R. C. R.; BALIGAR, V. C. Distribution of oxidizable organic C fractions in soils under cacao agroforestry systems in Southern Bahia – Brazil. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 81, p. 213-220, 2011.

BENNETT, E. M.; PETERSON, G. D.; GORDON, L. J. Understanding relationships among multiple ecosystem services. **Ecology Letters**, Oxford, v. 12, p. 1394-1404, 2009.

DALE, V. H.; POLASKY, S. Measures of the effects of agricultural practices on ecosystem services. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 64, p. 286-296, 2007.

EGGLESTON, S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Ed.). **IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**: volume 4: agriculture, forestry, and other land use. Japan: IGES, Japan. 2006.

FRANCHINI, J. C.; WRUCK, F. J.; DEBIASI, H.; OLIVEIRA, F. A. Variabilidade espacial e temporal de carbono e fósforo em sistemas de integração lavoura-pecuária em Mato Grosso. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. V.; RESENDE, A.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 173-177.

FRAZÃO, L. A.; PAUSTIAN, K.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Soil carbon stocks under oil palm plantations in Bahia State, Brazil. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 62, p. 1-7, 2014.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; NAIR P. K. R.; NAIR V. D.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; BALIGAR, V.; MACHADO, R. C. R. Carbon storage in soil size fractions under two cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. **Environmental Management**, New York, v. 45, p. 274-283, 2010.

GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; SÁ MENDONÇA, E.; VILLANI, E. M. A. Comparação de métodos de determinação do carbono orgânico em solos cultivados com Eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, p. 735-740, 2009.

- GREGO, C. R.; OLIVEIRA, A.; NOGUEIRA, S. F.; RODRIGUES, C. A. G.; BRANCALÃO, S. R.; FURTADO, A. L. S. Estoque de carbono no solo e produtividade da cana-de-açúcar analisados quanto a variabilidade espacial. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. V.; RESENDE, A.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 240-244.
- HARPER, R. J.; TIBBETT, M. The hidden organic carbon in deep mineral soils. **Plant and Soil**, The Hague, v. 368, p. 641-648, 2013.
- HEANES, D. L. Determination of total organic-C in soils by an improved chromic acid digestion and spectrophotometric procedure. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 15, p. 1191-1213, 1984.
- HIGA, R. C. V.; CARDOSO, D. J.; ANDRADE, G.; ZANATTA, J. A.; ROSSI, L. M. B.; PULROLNIK, K.; NICODEMO, M. L.; GARRASTAZU, M. C.; VASCONCELOS, S.; SALIS, S. M. de. **Protocolo de medição e estimativa de biomassa e carbono florestal**. Embrapa Florestas: Colombo, 2014. 68 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 266).
- JANZEN, H. H. The soil carbon dilemma: shall we hoard it or use it? **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 38, p. 419-424, 2006.
- JESUS, C. P. **Atributos físicos do solo e produtividade da soja após um ano de integração lavoura pecuária em área sob plantio direto**. 2006. 44 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.
- KUNZ, M. **Comportamento físico de um Latossolo sob integração lavoura-pecuária**. 2009. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.
- LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, Amsterdam, v. 123, p. 1-22, 2004.
- LUO, Y.; ZHOU, X. **Soil respiration and the environment**. Amsterdam: Elsevier, 2006. 323 p.
- MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A.; TORRES, E.; ANDRADE, A. G.; VALENCIA, L. I. O. No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Rhodic Ferralsol from Southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 80, p. 185-200, 2005.
- MAIA, C. M. B. F.; NOVOTNY, E. H.; RITTL, T. F. Soil organic matter: chemical and physical characteristics and analytical methods: a review. **Current Organic Chemistry**, Hilversum, v. 17, n. 24, p. 2985-2990, 2013.
- PILLAR, V. D.; TORNQUIST, C. G.; BAYER, C. The southern Brazilian grassland biome: soil carbon stocks, fluxes of greenhouse gases and some options for mitigation. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 72, n. 3, suppl., p. 673-681, 2012.
- PIMENTEL, D.; HEPPELRY, P.; HANSON, J.; DOUDS, D.; SEIDEL, R. Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems. **BioScience**, Washington, DC, v. 55, p. 573-582, 2005.
- POWLSON, D. S.; WHITMORE, A. P.; GOULDING, K. W. T. Soil carbon sequestration to mitigate climate change: A critical re-examination to identify the true and the false. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 62, p. 42-55, 2011a.
- POWLSON, D. S.; GREGORY, P. J.; WHALLEY, W. R.; QUINTON, J. N.; HOPKINS, D. W.; WHITMORE, A. P.; HIRSCH, P. R.; GOULDING, K. W. T. Soil management in relation to sustainable agriculture and ecosystem services. **Food Policy**, London, v. 36, n. 1, p. 72-87, 2011b.
- RACHWAL, M. F. G. **Gases de efeito estufa em Organossolo natural e drenado - Paraná**. 2013. 155 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- RAUDSEPP-HEARNE, C.; PETERSON, G. D.; BENNETT, E. M. Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, DC, v. 107, p. 5242-5247, 2010.
- RAWLS, W. J.; PACHEPSKY, Y. A.; RITCHIE, J. C.; SOBECKI, T. M.; BLOODWORT, H. Effect of soil carbon on soil water retention. **Geoderma**, Amsterdam, v. 116, n. 61-76, 2003.

- RUMPEL, C. Opportunities and threats of deep soil organic matter storage. **Carbon Management**, London, v. 5, n. 2, p. 115-117, 2014.
- SCHOLES, R. J.; MONTEIRO, P. M. S.; SABINE, C. L.; CANADELL, J. G. Systematic long-term observations of the global carbon cycle **Trends in Ecology & Evolution**, Amsterdam, v. 24, n. 8, p. 427-430, 2009.
- 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, p. 39-58, 2004.
- SKJEMSTAD, J. O.; TAYLOR, J. A. Does the Walkley-Black method determine soil charcoal? **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 30, p. 2299-2310, 1999.
- SMILEY, G. L.; KROSCHER, J. Temporal change in carbon stocks of cocoa-giricidia agroforests in Central Sulawesi, Indonesia. **Agroforest Systems**, v. 73, p. 219-231, 2008.
- SMITH, P. How long before a change in soil organic carbon can be detected? **Global Change Biology**, Oxford, v. 10, p. 1878-1883, 2004.
- STAVI, I.; LAL, R. Agriculture and greenhouse gases, a common tragedy. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, Les Ulis, v. 33, n. 2, p. 275-289, 2013.
- STOLBOVOY, V.; MONTANARELLA, L.; FILIPPI, N.; SELVARADJOU, S.; PANAGOS, P.; GALLEGOS, J. **Soil sampling protocol to certify the changes of organic matter carbon stock in mineral soils of European Union**. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2005. 12 p.
- TONUCCI, R. G.; NAIR, P. K. R.; NAIR, V. D.; GARCIA, R.; BERNARDINO, F. S. Soil carbon storage in silvopasture and related land use systems in the Brazilian Cerrado. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 40, p. 833-841, 2011.
- VERBRUGGEN, E.; KIERS, E. T.; BAKELAAR, N. C.; RÖLING, W. F. M.; VAN DER HEIJDEN, M. G. A. Provision of contrasting ecosystem services by soil communities from different agricultural fields. **Plant and Soil**, The Hague, v. 350, p. 43-55, 2012.
- WALKLEY, A.; BLACK, A. An examination of the Degjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Baltimore, v. 37, p. 29-38, 1934.
- WATSON, R. T.; NOBLE, I. R.; BOLIN, B.; RAVINDRANATH, N. H.; VERARDO, D. J.; DOKKEN, D. J. (Ed). **Land use, land-use change, and forestry: a special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2000.
- ZHANG, S. L.; SIMELTON, E.; LOVDAHL, L.; GRIP, H.; CHEN, D. L. Simulated long-term effects of different soil management regimes on the water balance in the Loess Plateau, China. **Field Crop Research**, v. 100, p. 311-319, 2007.
- ZIMMERMANN, M.; LEIFELD, J.; FUHRER, J. Quantifying soil organic carbon fractions by infrared spectroscopy. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 39, p. 224-231, 2007.