

# ESTOQUES DE CARBONO NO SOLO E EM PLANTAS DE CAFEIEIRO

## (*Coffea arabica* L.)

Adriano Bortolotti da Silva, José Ricardo Mantovani, André Luiz Moreira e Rafael Lellis Nogueira Reis

### RESUMO

Os objetivos do presente trabalho foram: quantificar a biomassa do cafeeiro, determinar teores e estoques de carbono no solo, e estimar o carbono sequestrado por uma lavoura cafeeira (*Coffea arabica* L.) de oito anos de idade. A quantificação da biomassa das plantas foi feita pelo método destrutivo sendo selecionadas 12 plantas-amostra. Foram coletadas amostras de solo na projeção da copa e na entrelinha de cultivo, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40cm. Também foram coletadas

amostras de solo em uma área de mata, adjacente ao experimento, sendo usada como referência. As plantas de cafeeiro sequestraram o correspondente a 33,77Mg CO<sub>2eq</sub>-ha<sup>-1</sup>. Os teores e os estoques de C-orgânico na entrelinha do cafeeiro foram semelhantes aos verificados na projeção da copa, e menores do que os da mata. O estoque de C-orgânico na camada de 0-10cm de solo é ~2,5 vezes maior do que o acumulado nas plantas de cafeeiro.

### CARBON STOCKS IN SOIL AND COFFEE PLANTS (*Coffea arabica* L.)

Adriano Bortolotti da Silva, José Ricardo Mantovani, André Luiz Moreira and Rafael Lellis Nogueira Reis

### SUMMARY

The objective of this study was to quantify coffee plant biomass, to determine the amounts and storage of organic carbon on soil and to evaluate the carbon sequestration of 8 years old coffee (*Coffea arabica* L.) plants. Plant biomass quantification was carried out using the direct destructive method by harvesting 12 coffee plants. Soil samples were collected between plant rows and coffee canopy projection, at three depths: 0-10, 10-20 and 20-40 cm. As reference, soil samples were also collected

in native forest area adjacent to the experiment. The amount of carbon found in coffee plants corresponds to 33.77Mg CO<sub>2eq</sub>-ha<sup>-1</sup>. Organic C stocks measured between coffee plant rows were equal than those shown in the coffee canopy projection and lower when compared with forest area. Organic C stocks in the layer of 0-10cm are ~2.5 times more than accumulated in coffee plants.

### Introdução

Atualmente, as emissões de carbono na atmosfera advindas da queima de combustíveis fósseis, mudanças no uso da terra e atividade industrial geram aumento na concentração de CO<sub>2</sub>, causando o chamado efeito estufa adicional ou antrópico, do qual uma das principais conseqüências é o

aumento médio da temperatura do planeta ou aquecimento global (Soares e Oliveira, 2002).

A redução dos gases do efeito estufa (GEEs) é uma das metas do Protocolo de Quioto, que estabeleceu mecanismos de flexibilização, entre eles, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) como forma de facilitar aos

países atingirem suas metas de emissões. O seqüestro de carbono por meio do crescimento de plantas é uma das linhas de pesquisas elegíveis pelo MDL, sendo uma alternativa de compensação das emissões pelos países ricos (Yu, 2002). A idéia é simples, ou seja, os países que por algum motivo não reduzirem suas emissões, devem pagar

por cortes nas emissões de outros lugares por meio do Certificado de Emissões Reduzidas (CERs), sendo este um canal do MDL para conceder créditos e promover o financiamento de projetos que visem à redução do GEEs nos países em desenvolvimento (Fronzizi, 2009).

Neste contexto, o plantio de espécies arbóreas pode ser útil

### PALAVRAS CHAVE / Acúmulo de Carbono / Café / Desenvolvimento Sustentável / Matéria Orgânica / Sequestro de Carbono /

Recebido: 21/05/2012. Modificado: 26/03/2013. Aceito: 08/04/2013.

**Adriano Bortolotti da Silva.** Doutor em Agronomia/Fitotecnia, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Brasil. Professor, Universidade José do Rosário Vellano (UNIFENAS), Brasil. Endereço: Faculdade de Agronomia, UNIFENAS. Rod.

MG. 179, Km 0, Caixa Postal 23, CEP 37130-000, Alfenas-MG, Brasil. e-mail: adriano.silva@unifenas.br

**José Ricardo Mantovani.** Doutor em Agronomia/Produção Vegetal, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil. Profes-

sor, UNIFENAS, Brasil. e-mail: mantovanijr@yahoo.com

**André Luiz Moreira.** Engenheiro Agrônomo, UNIFENAS, Brasil. Mestrando Profissional em Sistemas de Produção na Agropecuária, UNIFENAS, Brasil. Bolsista FA-

PEMIG. e-mail: dede\_alm@yahoo.com.br

**Rafael Lellis Nogueira Reis.** Graduando em Agronomia, UNIFENAS, Brasil. e-mail: rafaelnogueira@hotmail.com

## EXISTENCIAS DE CARBÓN EN EL SUELO Y EN PLANTAS DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.)

Adriano Bortolotti da Silva, José Ricardo Mantovani, André Luiz Moreira y Rafael Lellis Nogueira Reis

### RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue cuantificar la biomasa de los árboles de café, determinar tenores y existencias de carbón en el suelo, y estimar el carbón secuestrado por una cultivo de café (*Coffea arabica* L.). La cuantificación de la biomasa de las plantas fue hecha por el método destructivo siendo seleccionadas 12 plantas como muestra. Fueron recogidas muestras de suelo en la proyección de la copa y en la entrelínea del cultivo, a profundidades de 0-10, 10-20 y 20-40cm. También fueron recogidas muestras de suelo en un área sel-

vática adyacente al experimento que fue utilizada como referencia. Las plantas de café secuestraron lo correspondiente a  $33,77\text{Mg CO}_{2\text{eq}}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Los tenores y las existencias de C-orgánico en la entrelínea del árbol de café fueron semejantes a los encontrados en la proyección de la copa, y menores que los de la selva. Las existencias de C-orgánico en la capa de suelo de 0-10cm son ~2,5 veces mayores que lo acumulado en las plantas de café.

como atividade mitigadora de problemas climáticos, compensando as emissões dos GEEs. Além disso, as espécies arbóreas retiram o  $\text{CO}_2$ , por meio do metabolismo fotossintético, reduzindo o aquecimento global (Cotta *et al.*, 2008). Em um mercado extremamente competitivo agregar valor a culturas plantadas, com a emissão de CERs para serem negociados no 'mercado de créditos de carbono', contribui para a redução das emissões de  $\text{CO}_2$  (Paixão *et al.*, 2006), sendo também uma alternativa de renda aos produtores brasileiros.

As espécies lenhosas, como o cafeeiro, armazenam carbono na madeira e em outros tecidos até a morte e decomposição, fase em que o carbono da madeira poderá ser desprendido na forma de gás carbônico, monóxido de carbono, metano, ou poderá ficar estocado no solo como compostos orgânicos (Cotta *et al.*, 2008).

Além das plantas, o solo é um importante reservatório natural de carbono. Estima-se que a quantidade deste elemento armazenada nos solos do mundo seja ao redor de  $1,35 \text{Pg}$  ( $\text{Pg} = 10^9\text{Mg}$ ), o que representa mais de duas vezes o existente na vegetação ou na atmosfera (Lal *et al.*, 1998).

A quantidade de carbono que pode ser armazenada no solo é variável em função do clima, especialmente da temperatura e precipitação, de atributos do solo, de teores de argila, e de óxidos de Fe e Al (Amado *et al.*, 2008), e de prá-

ticas de manejo do solo (Bayer *et al.*, 2000). O revolvimento do solo, por meio de aração e gradagem, é a principal prática agrícola que estimula a ação microbiana sobre a matéria orgânica do solo e resíduos vegetais pelo aumento da aeração na camada de solo revolvida, proporcionando maior contato solo/resíduo vegetal, causando ruptura de agregados do solo, e expondo a matéria orgânica do solo que estava protegida no interior desses agregados, ao ataque de microrganismos (Bayer *et al.*, 2000). Desta forma, espera-se que a emissão de  $\text{CO}_2$  seja menor em solos sob sistema de manejo com ausência ou menor revolvimento do solo, como no cultivo do cafeeiro em produção, em relação a sistemas onde o solo é revolvido com frequência.

Segundo Vezzani e Mielniczuk (2009) práticas de manejo que favorecem a oxidação da matéria orgânica do solo pelos microrganismos e a consequente liberação de  $\text{CO}_2$  podem elevar ainda mais a quantidade de carbono na atmosfera. Contudo, o processo também pode ser inverso, ou seja, o solo pode contribuir para retirar  $\text{CO}_2$  da atmosfera e retardar seu retorno, quando práticas conservacionistas de manejo são utilizadas, o que propicia aumento no teor de matéria orgânica do solo.

O Brasil é o maior produtor de café do mundo (ICO, 2012), sendo esta uma das *commodities* agrícolas mais importantes do país. Diante disso, o pre-

sente estudo teve por objetivo verificar a distribuição de massa seca nos diversos componentes (raiz, tronco e folhas), determinar teores e estoques de carbono no solo, e estimar o carbono seqüestrado por uma lavoura cafeeira, de oito anos de idade.

### Material e Métodos

O trabalho foi realizado na Fazenda Experimental da Universidade José do Rosário Vellano (UNIFENAS), Alfenas, MG, Brasil ( $21^{\circ}27'25''\text{S}$ ,  $45^{\circ}56'39''\text{O}$  e altitude média de 848m). Em área experimental de cerca de 1,8ha, foram utilizadas plantas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv Catuaí, de quatro anos de idade, em espaçamento de  $3,50 \times 0,80\text{m}$ , em Latossolo Vermelho distrófico.

Foram selecionadas, aleatoriamente, 12 plantas como plantas-amostra para quantificação dos componentes da parte aérea (tronco, folhas e galhos) e do sistema radicular (raiz pivotante e raízes laterais).

Após o arranquio das plantas, essas tiveram seus ramos plagiotrópicos retirados e desfolhados, sendo ensacados em separado para pesagem. Em seguida foi retirada amostra representativa para determinação de massa seca, em estufa com circulação forçada de ar a  $65^{\circ}\text{C}$ .

A determinação do volume do ramo ortotrópico foi realizada a partir de cubagem rigorosa e pela aplicação sucessiva da expressão de Smalian

(Husch *et al.*, 1993), até um diâmetro-limite de 1cm.

O ramo ortotrópico de cada planta-amostra, após cubagem rigorosa, foi seccionado para extração de amostras de madeira com casca de ~5,0cm de espessura, nos seguintes níveis: 0; 50; 100 e 150cm de altura. Estas amostras foram usadas para determinação da densidade básica da madeira (DMB) de cada planta-amostra (Soares e Oliveira, 2002).

A biomassa do tronco de cada planta-amostra foi obtida de acordo com a expressão (Finke Herrera, 1989)  $\text{PS} = \text{V} \times (\text{DMB})$ , em que PS: biomassa do fuste (kg), V: volume do tronco ( $\text{m}^3$ ), e DMB: densidade média básica do tronco ( $\text{kg m}^{-3}$ ).

A quantificação da biomassa das raízes foi realizada pelo método de abertura de trincheiras em todas as plantas-amostra. As trincheiras apresentavam a seguintes dimensões: 40cm entre plantas, 100cm entre linhas e 70cm de profundidade, sendo coletadas todas as raízes encontradas, as quais foram pesadas e posteriormente retiradas amostras para a determinação da massa seca.

A biomassa seca dos diferentes compartimentos da planta foi determinada por meio do método de proporcionalidade (Soares e Oliveira, 2002; Cotta *et al.*, 2008) com o emprego da fórmula  $\text{MSc} = (\text{MUC} \times \text{MUa}) = \text{Mua}$ , onde MSc: massa seca no campo, MUC: massa úmida no campo, MUa: massa úmida na amostra.

Por meio das médias obtidas de biomassa seca, obteve-se a biomassa total do cafeeiro. Em seguida, esse valor foi extrapolado para 1,00ha, considerando o espaçamento de 3,50×0,80m. A estimativa do estoque de carbono na biomassa foi realizada, considerando-se 50% da biomassa seca, valor esse sugerido por vários autores (Dewar e Cannel, 1992; Soares e Oliveira, 2002; Losi *et al.*, 2003).

Obtidos os valores do carbono na biomassa seca de cada compartimento, foi realizada a conversão do carbono em CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2eq</sub>) multiplicando-se o valor do carbono pela relação 44/12, ou seja, 1ton de carbono corresponde a 3,67ton de CO<sub>2eq</sub> (IPCC, 2006).

Na área experimental foram coletadas amostras de solo na projeção da copa e na entrelinha de cultivo nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40cm. Retirou-se três amostras compostas para cada variável estudada (local de coleta e profundidade), sendo que cada amostra composta foi proveniente da coleta ao acaso, e mistura de dez amostras simples. Para avaliação da densidade do solo coletaram-se três amostras indeformadas com auxílio de anel volumétrico de 50cm<sup>3</sup>, nos mesmos locais de coleta (projeção da copa e entrelinha de cultivo) e profundidades (0-10, 10-20 e 20-40cm) da amostragem de solo. Em uma área de mata nativa de ~1ha adjacente ao experimento e sem histórico de intervenção humana, foram coletadas amostras de solo, em área total, em zigue-zague, nas mesmas profundidades das obtidas na área de cultivo de cafeeiro, para serem utilizadas como referência.

Nas amostras compostas de solo foram feitas determinação de C-orgânico (CO) por meio da oxidação a CO<sub>2</sub> com dicromato de potássio em meio fortemente ácido, e titulação com sulfato ferroso amoniacal, conforme descrito em Cantarella *et al.* (2001), e análise granulométrica, realizada de acordo

TABELA I  
TEORES DE AREIA, SILTE E ARGILA NAS PROFUNDIDADES DE 0-10, 10-20 E 20-40cm NOS DIFERENTES LOCAIS DE COLETA DE AMOSTRAS, CAFEIEIRO PROJEÇÃO DA COPA (PC), CAFEIEIRO ENTRELINHAS DE CULTIVO (EL) E MATA NATIVA

Prof. cm	Cafeeiro (PC)			Cafeeiro (EL)			Mata					
	Areia		Silte	Areia		Silte	Areia		Silte	Argila		
	Grossa	Fina	Argila	Grossa	Fina	Grossa	Fina	Grossa	Fina			
	g·kg <sup>-1</sup>											
0-10	168	237	179	416	170	200	162	468	160	235	170	435
10-20	158	213	185	444	170	196	172	462	158	208	174	460
20-40	150	192	195	463	158	188	179	475	163	180	172	485

com o método do hidrômetro proposto por Bouyoucos e descrito em EMBRAPA (1997), após dispersão com NaOH 1mol·l<sup>-1</sup> e agitação rápida (6000rpm) da amostra, por 15min. Os resultados da análise granulométrica são apresentados na Tabela I.

Os estoques de C-orgânico, em cada profundidade de solo, foram calculados por dois métodos: camada equivalente de solo e massa equivalente de solo. O método da camada equivalente leva em consideração a espessura da camada e a densidade do solo. O método da massa equivalente utiliza como referência a massa de solo de um tratamento, que é tomada como base para o cálculo dos estoques de C-orgânico em todos os demais tratamentos (Ellert e Bettany, 1995). No presente estudo foram utilizadas como referência as massas de solo da área de mata nativa, pois representam a condição original do solo. Para ambos os métodos, empregou-se a fórmula apresentada em D'Andréa *et al.* (2004); Rangel *et al.* (2007); Luca *et al.* (2008): EstC (Mg·ha<sup>-1</sup>) = (CO×Ds×e)/10, sendo EstC: estoque de C-orgânico na camada de solo estudada, CO: teor de C-orgânico na profundidade avaliada (g·kg<sup>-1</sup>), Ds: densidade do solo da camada estudada (kg·dm<sup>-3</sup>), e e: espessura da camada de solo avaliada.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC) e dados obtidos nos diferentes compartimentos da planta foram submetidos a análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA II  
MASSA MÉDIA DA MATÉRIA ÚMIDA E DA MATÉRIA SECA NOS COMPARTIMENTOS DO CAFEIEIRO

Compartimento da planta	Massa úmida (Mg·ha <sup>-1</sup> )	Umidade (%)	Massa seca (Mg·ha <sup>-1</sup> )
Folhas	12,00	64,81	4,22
Ramo ortotrópico	10,87	46,06	5,86
Ramos plagiotrópicos	9,47	53,82	4,37
Raízes	7,34	46,03	3,96
Total	39,67	-	18,42

Os teores e os estoques de C-orgânico no solo foram submetidos à análise de variância e comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Nas análises estatísticas foi empregada análise de variância em parcelas subdivididas, com os locais de coleta de amostras de solo (cafeeiro projeção da copa, cafeeiro entrelinhas de cultivo, e mata) como parcelas, e as profundidades (0-10; 10-20 e 20-40cm) como subparcelas.

## Resultados e Discussão

Analisando-se a massa da matéria úmida nos diferentes compartimentos, verificou-se que ~64,81% da massa das folhas é composta por água (Tabela II). Os demais compartimentos, ramos ortotrópicos, plagiotrópicos e raízes, variam de 46,03 a 53,82% de umidade (Tabela II). O acúmulo de matéria seca foi de 18,42Mg·ha<sup>-1</sup>. Dossa *et al.* (2008) trabalhando com café robusta (*Coffea canephora*) de 13 anos de idade, com 1333 plantas/ha, encontrou um acúmulo de matéria seca de 45Mg·ha<sup>-1</sup>. Essa diferença, provavelmente, está relacionada com a maior idade do café robusta em relação ao café arábica de quatro anos

usado no presente trabalho, sendo esse o motivo do maior acúmulo de massa seca por área do robusta.

Considerando 1,00ha de lavoura cafeeira, estimou-se um estoque de carbono arbóreo de 9,2Mg C·ha<sup>-1</sup>, sendo que a maior parte encontra-se distribuídos na parte aérea (78,48%) e o restante no sistema radicular (21,52%), sendo que o ramo ortotrópico apresentou maior acúmulo de carbono, seguido pelos ramos plagiotrópicos (Tabela III). Esses resultados são semelhantes aos observados por Oelbermann *et al.* (2005) e Dossa *et al.* (2008), que observaram maior estoque de carbono na parte aérea do cafeeiro.

A média de armazenamento de C no cafeeiro foi de 2,3Mg C·ha<sup>-1</sup>/ano e o presente resultado é semelhante àqueles obtidos em café plantado em sistema agroflorestal, ou seja, sombreado por outras espécies arbóreas, com estimativa de um potencial de sequestro de carbono no cafeeiro entre 2,1 e 3,4Mg C·ha<sup>-1</sup>/ano (De Jong *et al.*, 1997).

Cotta *et al.* (2008) verificaram o estoque de carbono de um cultivo consorciado de seringueira e cacaueteiro, 87 e 5,22Mg C·ha<sup>-1</sup>, respectivamente, o incremento médio anual

TABELA III  
ESTOQUE MÉDIO E PERCENTUAL DE CARBONO NOS  
COMPARTIMENTOS DO CAFEIEIRO

Compartmento da planta	Carbono (Mg·ha <sup>-1</sup> )	Distribuição do carbono (%)
Folhas	2,11 C <sup>(1)</sup>	22,92
Ramo ortotrópico	2,93 A	31,82
Ramos plagiotrópicos	2,19 B	23,73
Raízes	1,98 C	21,52
Total	9,21	100
	Teste F	-
Compartmentos da planta	251,19 **	-
CV (%)	4,35	-

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferiram significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, \*\*: significativo a 1% de probabilidade.

da seringueira foi de 2,55Mg C·ha<sup>-1</sup>/ano; do cacauzeiro, 0,87Mg C·ha<sup>-1</sup>/ano; e no eucalipto o incremento médio anual foi de 11,8Mg C·ha<sup>-1</sup>/ano (Paixão *et al.*, 2006). Esses valores demonstram a grande variabilidade de incremento de carbono de acordo com as diferentes espécies. Entretanto, como essas espécies, o café apresenta ciclo longo, podendo armazenar carbono por muitos anos e a exploração dessa cultura não implica necessariamente no corte da planta, o que evita possível retorno do carbono estocado para a atmosfera.

Foi estocado pelo café aos oito anos de idade 33,77Mg CO<sub>2eq</sub>·ha<sup>-1</sup>, o que corresponde a 33,77 CERs/ha, considerando as modalidades e procedimentos de projetos MDL (30 anos sem direito a renovação, ou 20 anos renovável por duas vezes). Pode-se inferir que a cultura do café é uma alternativa viável de projeto, em tempo de estocagem do carbono, pois a exploração econômica do café pode ser superior a 20 anos.

Os teores de C-orgânico do solo diminuíram com o aumento da profundidade, na entrelinha e na projeção da copa do café, e na área de mata (Tabela IV). Os maiores teores de C-orgânico na camada de 0-10cm em relação as demais camadas, deve-se possivelmente a maior deposição de materiais orgânicos na camada superficial do solo das áreas avaliadas.

As principais fontes de C-orgânico e, conseqüentemente, de matéria orgânica em uma lavoura de café são: resíduos vegetais de plantas daninhas; folhas e ramos do café caídos naturalmente ou desprendidos durante a colheita; compostos orgânicos liberados pelas raízes, tais como exsudatos, mucilagens e células mortas; e decomposição de raízes e microorganismos mortos (Pavan *et al.*, 1997). Conforme citado em Rangel *et al.* (2008), em sistema de plantio adensado de café podem ser acumuladas até 14t·ha<sup>-1</sup>/ano de resíduos orgânicos que se originam da queda de folhas e de material resultante de podas.

Em cada profundidade avaliada constatou-se que os teores de C-orgânico na entrelinha e na projeção da copa do café não diferiram significativamente entre si, e foram menores do que os da área de mata (Tabela IV). O decréscimo no teor de C-orgânico na camada de 0-10cm, na entrelinha e na projeção da copa do café em relação a área de mata foi, respectivamente, 14 e 22%. Na camada de 10-20cm a diminuição no teor de C-orgânico dessas áreas em relação à mata foi, respectivamente, 21 e 28%.

De acordo com Mielniczuk *et al.* (2003) em áreas cultivadas de regiões tropicais ocorrem perdas elevadas da matéria orgânica do solo em períodos relativamente curtos (menos de 10 anos de cultivo).

TABELA IV  
TEORES DE C-ORGÂNICO NO SOLO (g·kg<sup>-1</sup>), EM FUNÇÃO DE DIFERENTES LOCAIS DE COLETA DE AMOSTRAS DE SOLO (MATA; CAFEIEIRO PROJEÇÃO DA COPA (PC); CAFEIEIRO ENTRELINHAS DE CULTIVO (EL)) E PROFUNDIDADES DE COLETA

Profundidade	Locais de coleta de amostras de solo			Média
	Mata	Café PC	Café EL	
cm	g·kg <sup>-1</sup>			
0-10	25,5 Aa <sup>(1)</sup>	19,8 Ba	21,9 Ba	22,4 a
10-20	20,2 Ab	14,6 Bb	16,0 Bb	16,9 b
20-40	15,3 Ac	12,2 Bc	11,4 Bc	12,9 c
Média	20,3 A	15,5 B	16,4 B	
Teste F				
Locais de coleta (L)			35,62 **	
Profundidade (P)			141,96 **	
Interação L × P			1,38 ns	
CV (%) para L			7,4	
CV (%) para P			6,9	

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha ou minúscula na coluna não diferiram significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, ns: não significativo, \*\*: significativo a 1% de probabilidade.

Nessas áreas, o decréscimo no teor de matéria orgânica do solo é de ~50%, em relação ao mesmo solo sob vegetação natural, especialmente em áreas de solos mais arenosos e em sistemas com baixo aporte de resíduos vegetais, onde as práticas de manejo do solo são menos conservacionistas. Ainda segundo esses autores, em solos de regiões tropicais as perdas de C-orgânico após a retirada da vegetação natural e cultivo dos solos são mais aceleradas do que em regiões temperadas. Nos trópicos, temperaturas mais elevadas, altos índices pluviométricos e maior atividade microbiana causam rápida decomposição dos materiais orgânicos incorporados ou presentes no solo.

Os teores de C-orgânico obtidos nos diferentes locais de coleta e profundidades foram classificados como 'médio', exceto o da área de mata na profundidade de 0-10cm, que foi considerado 'bom', de acordo com as classes de interpretação de teores e valores da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG) apresentadas em Alvarez *et al.* (1999). Na entrelinha de cultivo do café, os teores de C-orgânico no solo, nas profundidades de 0-10cm e de 10-20cm foram, respectivamente, 21,9

e 16g·kg<sup>-1</sup>, e na projeção na copa nessas mesmas camadas, os teores de C-orgânico foram 19,8 e 14,6g·kg<sup>-1</sup> (Tabela IV). As diferenças entre os teores de C-orgânico na entrelinha de cultivo e na projeção da copa não foram significativas, porém acredita-se que possivelmente os valores aumentarão nas entrelinhas ao longo do tempo devido a grande deposição de resíduos orgânicos de cultivo, e a prática da arruação, comum no cultivo do café, concentrando os resíduos vegetais da superfície do solo nas entrelinhas de cultivo, nas proximidades da colheita.

Rangel *et al.* (2008) em experimento conduzido em área de solo de textura média, ocupada há 11 anos por café, verificaram nas camadas superficiais de solo até 10cm de profundidade, maiores teores de C-orgânico nas entrelinhas de cultivo do que na projeção da copa do café. De acordo com esses autores, o maior aporte de plantas daninhas e de resíduos culturais na entrelinha do café em relação à projeção da copa, e o maior revolvimento da camada de 0-5cm de solo da projeção da copa, pelas capinas, explicam o obtenção desses resultados. Ainda segundo esses autores, o cultivo do solo com café

TABELA V  
ESTOQUES DE C-ORGÂNICO NO SOLO (Mg·ha<sup>-1</sup>),  
CALCULADO PELO MÉTODO DA CAMADA  
EQUIVALENTE DE SOLO, EM FUNÇÃO DE DIFERENTES  
LOCAIS DE COLETA DE AMOSTRAS DE SOLO  
(MATA; CAFEIEIRO PROJEÇÃO DA COPA (PC);  
CAFEIEIRO ENTRELINHAS DE CULTIVO (EL))  
E PROFUNDIDADES DE COLETA

Profundidade cm	Locais de coleta de amostras de solo				Média
	Mata	cafeieiro	PC	cafeieiro EL	
	Mg·ha <sup>-1</sup>				
0-10	27,6 Ab <sup>(1)</sup>	25,9 Ab	29,4 Ab	27,6 b	
10-20	24,0 Ac	20,3 Ac	21,8 Ac	22,0 c	
20-40	30,9 Aa	32,2 Aa	33,1 Aa	32,0 a	
Média	27,5 A	26,1 A	28,1 A		
Teste F					
	Locais de coleta (L)	1,24 ns			
	Profundidade (P)	32,89 **			
	Interação L x P	1,01 ns			
	CV (%) para L	9,8			
	CV (%) para P	9,6			

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha ou minúscula na coluna, não diferiram significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, ns: não significativo, \*\*: significativo a 1% de probabilidade.

promoveu decréscimo nos teores de C-orgânico do solo até a profundidade de 20cm em relação a uma área de mata nativa. As reduções médias detectadas pelos autores, nos teores de C-orgânico na profundidade de 0-5cm na entrelinha de cultivo e na projeção da copa do cafeeiro, em relação à área de mata foram de 18 e 40%, respectivamente.

Não houve diferença nos estoques de C-orgânico do solo entre os locais avaliados (mata, cafeeiro projeção da copa, cafeeiro entrelinhas de cultivo) quando o cálculo foi realizado pelo método da camada equivalente (Tabela V). Ao se utilizar o método da massa equivalente de solo observou-se, em cada profundidade avaliada, que os estoques de C-orgânico na entrelinha e na projeção da copa do cafeeiro não diferiram significativamente entre si e foram menores do que os da área de mata (Tabela VI). Segundo De Bona *et al.* (2006) o método de cálculo de estoques de C-orgânico no solo teoricamente mais correto é o da massa equivalente de solo.

Os estoques de C-orgânico do solo foram maiores na camada de 0-10cm do que na camada de 10-20cm de pro-

fundidade, tanto na área de mata como na do cafeeiro (projeção da copa e entrelinhas de cultivo), para os dois métodos empregados de cálculo de estoques de C-orgânico do solo (Tabelas V e VI).

Os estoques de C-orgânico do solo calculados pelo método da massa equivalente, nas camadas de 0-10cm, de 10-20cm e o acumulado na camada arável do solo (0-20cm) na área de cafeeiro foram, respectivamente, 23,7; 18,9 e 42,6Mg·ha<sup>-1</sup> nas entrelinhas de cultivo, e 21,4; 17,2 e 38,6Mg·ha<sup>-1</sup> na projeção da copa. Na área de mata, os estoques de C-orgânico do solo para essas profundidades foram 27,6; 24,0 e 51,6Mg·ha<sup>-1</sup> (Tabela VI). Portanto, o decréscimo nos estoques de C-orgânico do solo com o cultivo do cafeeiro, em quatro anos, foram em média 18; 28 e 25%, respectivamente, nas camadas de 0-10, 10-20 e 0-20cm, em relação a essas mesmas profundidades na área de mata.

Rangel *et al.* (2007), em área de solo de textura média ocupada por cafeeiro há 11 anos, verificaram na camada superficial do solo (0-10cm), que os estoques de C-orgânico nas entrelinhas de cultivo

TABELA VI  
ESTOQUES DE C-ORGÂNICO NO SOLO (Mg·ha<sup>-1</sup>),  
CALCULADO PELO MÉTODO DA MASSA EQUIVALENTE  
DE SOLO, EM FUNÇÃO DE DIFERENTES LOCAIS DE  
COLETA DE AMOSTRAS DE SOLO (MATA; CAFEIEIRO  
PROJEÇÃO DA COPA (PC); CAFEIEIRO ENTRELINHAS  
DE CULTIVO (EL)) E PROFUNDIDADES DE COLETA

Profundidade cm	Locais de coleta de amostras de solo			Média
	Mata	cafeieiro PC	cafeieiro EL	
	Mg·ha <sup>-1</sup>			
0-10	27,6 Aa	21,4 Ba	23,7 Ba	24,2 a
10-20	24,0 Ab	17,2 Bb	18,9 Bb	20,0 b
20-40	30,9 Aa	25,9 Ba	24,6 Ba	27,1 a
Média	27,5 A	21,5 B	22,4 B	
Teste F				
	Locais de coleta (L)	16,04**		
	Profundidade (P)	18,50**		
	Interação L x P	0,47 <sup>ns</sup>		
	CV (%) para L	10,2		
	CV (%) para P	10,0		

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha ou minúscula na coluna, não diferiram significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, ns: não significativo, \*\*: significativo a 1% de probabilidade.

foram iguais ou maiores aos verificados na projeção da copa, em diferentes espaçamentos de plantio avaliados. De acordo com os autores, os estoques de C-orgânico do solo variaram nas entrelinhas de cultivo do cafeeiro, em função dos tratamentos, entre 21,3 e 31,7Mg·ha<sup>-1</sup> na camada de 0-10 cm; de 20,9 a 30,4Mg·ha<sup>-1</sup> na profundidade de 10 a 20cm, e de 35,4 a 47,8Mg·ha<sup>-1</sup> na profundidade de 20-40cm. Ainda segundo os autores, o cultivo do cafeeiro por 11 anos provocou redução média de 45% nos estoques de C-orgânico do solo, da camada de 0-10cm na projeção da copa do cafeeiro, em relação à área de mata. Nas entrelinhas de cultivo os autores obtiveram estoques de C-orgânico menores, iguais ou maiores aos obtidos na mata, em função dos tratamentos avaliados.

Segundo Rangel *et al.* (2007) o elevado aporte de resíduos culturais, a reduzida perda de solo por erosão e a ausência ou menor revolvimento do solo em lavouras cafeeiras podem contribuir para aumentar ou preservar os estoques de C-orgânico do solo.

De Bona *et al.* (2006), em Argissolo de textura média

ocupado há sete anos pela sucessão aveia preta e ervilhaca no inverno e milho no verão, relataram estoques de C-orgânico no solo da camada de 0-20cm de cerca de 32Mg·ha<sup>-1</sup>, quando foi empregado no período o sistema plantio direto, e cerca de 31Mg·ha<sup>-1</sup>, quando foi utilizado plantio convencional.

Luca *et al.* (2008) obtiveram, em área de Latossolo de textura muito argilosa ocupado por cana de açúcar, onde a colheita era mecanizada sem queima do canavial, estoques de C-orgânico no solo nas camadas de 0-10 e de 0-20cm de 28,0 e 54,2Mg·ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Na área onde foi realizada colheita manual com queima do canavial, os estoques de C-orgânico no solo nas camadas de 0-10cm e 10-20cm foram de 24,3 e 47,9Mg·ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Com isso, os autores constataram que a supressão da queima resultou em aumentos nos estoques de C-orgânico do solo da camada de 0-20cm de 6,3Mg·ha<sup>-1</sup>.

Rozane *et al.* (2010), em solo de textura média, não constataram diferenças entre os estoques de C-orgânico do solo em áreas de mata nativa, pastagem e milho. Os valores

obtidos pelos autores na camada de 0-10cm de profundidade foram, respectivamente, 15,4; 15,4 e 13,7Mg·ha<sup>-1</sup>.

Comparando os estoques de C-orgânico no solo da área ocupada por cafeeiro (Tabela VI) e nas plantas (Tabela III) verificou-se que os valores obtidos nas camadas de 0-10cm e o acumulado na camada de 0-20cm foram, respectivamente, cerca de 2,5 e 4,5 vezes maiores do que o encontrado nas plantas de cafeeiro.

O cafeeiro sequestra carbono da atmosfera contribuindo para mitigação do efeito estufa. Além de atender a principal premissa dos projetos de MDL, a de reduzir o CO<sub>2</sub> da atmosfera, a cultura do café pode atender outras exigências de projetos MDL como contribuir para o desenvolvimento sustentável, por apresentar manejo de solo conservacionista e gerar emprego e renda no país de origem do projeto.

A possibilidade de agregar os CERs à cultura do cafeeiro pode ser atrativa aos produtores de café, os quais podem trabalhar os projetos de forma isolada ou em cooperativas agrícolas, podendo gerar vantagens econômicas e ambientais para o Brasil. Vale ressaltar, que a produção de café é uma atividade tradicional e o país apresenta ideais condições edafoclimáticas para a cultura, bem como o domínio da tecnologia, o que pode superar uma das maiores dificuldades de registro de projetos MDL, as incertezas quanto à durabilidade e reversibilidade dessa atividade.

## Conclusões

As plantas de cafeeiro com quatro anos de idade sequestram o correspondente a 33,77Mg CO<sub>2eq</sub>·ha<sup>-1</sup>.

Os teores e os estoques de C-orgânico na entrelinha do cafeeiro são semelhantes aos verificados na projeção da copa.

Os teores e estoques de C-orgânico do solo da área de cafeeiro são menores quando em comparação com a área de mata.

Os estoques de C-orgânico na camada de 0-10cm de solo é cerca de 2,5 vezes maior do que o obtido nas plantas de cafeeiro.

## REFERÊNCIAS

- Álvarez V, Novais RF, Barros NF, Cantarutti RB, Lopes AS (1999) Interpretação dos resultados das análises de solos. Em Ribeiro AC, Guimarães PTG, Álvarez VVH (Eds.) *Recomendações para o Uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação*. Universidade Federal de Viçosa. Brasil. pp. 25-32.
- Amado TJC, Rice CW, Fabrizzi K, Nicoloso S (2008) O solo agrícola e o mercado internacional de carbono. Em Santos GA, Silva LS, Canellas LP, Camargo FAO (Eds.) *Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas Tropicais e Subtropicais*. 2ª ed. rev. Metrópole. Porto Alegre, Brasil. pp. 625-636.
- Bayer C, Mielniczuk J, Martin Neto L (2000) Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO<sub>2</sub>. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 24: 599-607.
- Cantarella H, Quaggio JA, Raij B van (2001) Determinação da matéria orgânica. Em Raij B van, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JA (Eds.) *Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais*. Instituto Agronômico. Campinas, Brasil. pp. 173-180.
- Cotta MK, Jacovine LAG, Paiva HN, Soares CPB, Virgens Filho AC, Valverde SR (2008) Quantificação de biomassa e geração de certificado de emissões reduzidas no consórcio seringueira-cacau. *Árvore* 32: 969-978.
- D'Andréa AF, Silva MLN, Cui N, Guilherme LRG (2004) Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesq. Agropec. Bras.* 39: 179-186.
- De Bona FD, Bayer C, Bergamaschi H, Dieckow J (2006) Carbono orgânico no solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 30: 911-920.
- De Jong HJ, Soto-Pinto L, Montoya-Gómez G, Nelson K, Taylor J, Tipper R (1997) Forestry and agroforestry land-use systems for carbon mitigation: an analysis in Chiapas, Mexico. Em Adger WN, Pattenella D, Whitby M (Eds) *Climate Change and European Land-Use Policies*. CABI. Wallingford, UK. pp. 269-284.
- Dewar RC, Cannel MGR (1992) Carbon sequestration in the trees, products and soils of forest plantation: an analysis using UK examples. *Tree Physiol.* 11: 49-71.
- Dossa EL, Fernández ECM, Reid WS, Ezui K (2008) Above- and belowground biomass, nutrient and carbon stocks contrasting an open-grow and shaded coffee plantation. *Agrofor. Syst.* 72: 103-115.
- Ellert BH, Bettany JR (1995) Calculation of organic matter and nutrients stored in soil under contrasting management regimes. *Can. Jour. Soil Sci.* 75: 529-538.
- EMBRAPA (1997) *Manual de Métodos de Análise de Solo*. 2ª ed. rev. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro, Brasil. 212 pp.
- Finke Herreira MC (1989) *Densidade Básica e Equações de Peso de Madeira Seca de Povoamentos de Eucalipto de Acordo com a Idade, Espécie e Método de Regeneração*. Tese. Universidade Federal de Viçosa. Brasil 113 pp.
- Fronzizi IMRL (2009) *O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: Guia de Orientação - 2009*. Imperial Novo Milênio. Rio de Janeiro, Brasil. 111 pp. www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes\_pt/Institucional/Publicacoes/Consulta\_Expressa/Tipo/Livro/200906\_1.html (Cons. 03/2013).
- Huch B, Miller CI, Beers TW (1993) *Forest Mensuration*. 3ª ed. Krieger. Malabar, FL, EEUU. 402 pp.
- ICO (2012) *World Coffee Production*. International Coffee Organization. www.ico.org (Cons. 01/2012).
- IPCC (2006) *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Agriculture, Forestry and other Land Use*. Vol. 4. International Panel on Climate Changes. Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES). Japan.
- Lal R, Kimble J, Follett RF, Stewart BA (1998) *Soil Processes and the Carbon Cycle*. CRC. Boca Raton, FL, EEUU. 609 pp.
- Losi CJ, Siccamo TG, Condit R, Morales JE (2003) Analysis of alternative methods for estimating carbon stock in young tropical plantations. *Forest Ecol. Manag.* 184: 355-368.
- Luca EF de, Feller C, Cerri CC, Barthès B, Chaplot V, Campos DC Manechini C (2008) Avaliação de atributos físicos e estoque de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 32: 789-800.
- Mielniczuk J, Bayer C, Vezzani FM, Lovato T, Fernandes FF, Debarba L (2003) Manejo de solo e culturas e suas relações com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. Em Curi N, Marques JJ, Guilherme LRG, Lima JM, Lopes AS, Alvarez VVH (Eds.) *Tópicos em Ciência do Solo*. Vol. 3. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, Brasil. pp. 209-248.
- Oelbermann M, Voroney PP, Kass DCL, Schlongoit AM (2005) Above- and below-ground carbon inputs in 19-, 10-, 10- and 4-year-old Costa Rican Alley Cropping systems. *Agric. Ecosyst. Env.* 105: 163-167.
- Paixão FA, Soares CPB, Jacovine LAG, Silva ML, Leite HL, Silva GF (2006) Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de alternativas de manejo de plantio de eucalipto. *Árvore* 30: 411-420.
- Pavan MA, Chaves JCD, Siqueira R, Androcioli Filho A (1997) Cultura do cafeeiro: o sistema de plantio adensado e a melhoria da fertilidade do solo. *Inf. Agro.* 80: 1-7.
- Rangel OJP, Silva CA, Guimarães PTG (2007) Estoque e fração da matéria orgânica de latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 31: 1341-1353.
- Rangel OJP, Silva CA, Guimarães PTG, Melo LCA, Oliveira Júnior AC (2008) Carbono orgânico e nitrogênio total do solo e suas relações com os espaçamentos de plantio de cafeeiro. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 32: 2051-2059.
- Rozane DE, Centurion JF, Romualdo LM, Taniguchi CAK, Trabuco M, Alves AU (2010) Estoques de carbono e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho distrófico, sob diferentes manejos. *Biosci. J.* 26: 24-32.
- Soares CPB, Oliveira MLR (2002) Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de árvores de eucalipto em Viçosa, MG. *Árvore* 26: 533-539.
- Vezzani FM, Mielniczuk J (2009) Uma visão sobre qualidade do solo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 33: 743-755.
- Yu CM (2002) Caracterização e tipologia de projetos de sequestro de carbono no Brasil. Em Sanqueta CR (Ed.) *As Florestas e o Carbono*. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Brasil. pp. 59-87.