

# ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO NO SOLO DEVIDO A MUDANÇA DO USO DA TERRA EM ÁREAS DE CULTIVO DE CAFÉ EM MINAS GERAIS

Carlos Clemente Cerri<sup>1</sup>, Cindy Silva Moreira<sup>2</sup>, Priscila Aparecida Alves<sup>3</sup>, Fernando Henrique Ribeiro Barrozo Toledo<sup>4</sup>, Bruno de Almeida Castigioni<sup>5</sup>, Gabriel Augusto de Andrade Rodrigues<sup>6</sup>, Domingos Guilherme Pellegrino Cerri<sup>7</sup>, Carlos Eduardo Pellegrino Cerri<sup>8</sup>, Aldir Alves Teixeira<sup>9</sup>, Cesar Augusto C. Candiano<sup>10</sup>, Marcio Roberto Reis<sup>11</sup>, Sérgio Cotrim D'Alessandro<sup>12</sup>, Luca Turello<sup>13</sup>

(Recebido: 28 de março de 2016; aceito: 11 de julho de 2016)

**RESUMO:** O tipo de uso da terra anterior ao plantio de café e o manejo de podas adotado no cafezal podem condicionar a dinâmica do carbono (C) e do nitrogênio (N) no solo. Desta forma, o objetivo neste trabalho foi quantificar os estoques de C e N do solo nas três principais regiões produtoras de café de Minas Gerais, avaliando diferentes sistemas de manejo e cultivo do café em comparação com pastos cultivados. Para o cálculo dos estoques foram coletadas amostras de solo para determinação dos teores de C e N, além da densidade em diferentes profundidades. As avaliações incluem manejo das áreas com e sem podas, e o tipo de uso da terra anterior ao cultivo do café. Os resultados indicam que o cultivo do café sobre áreas de pastagem, com adoção de boas práticas agrícolas como um manejo adequado de podas e bom controle do mato, propicia a manutenção dos estoques de carbono e nitrogênio do solo. Através deste fato pode-se mencionar que a cafeicultura reflete positivamente na saúde do solo.

**Termos para indexação:** Cafeicultura, mudanças do uso da terra, dinâmica da matéria orgânica do solo, nitrogênio.

## SOIL CARBON AND NITROGEN STOCKS DUE TO LAND USE CHANGE IN COFFEE AREAS AT MINAS GERAIS STATE

**ABSTRACT:** The type of previous land use to the coffee cultivation and the adopted management practices of coffee pruning may affect the dynamics of soil carbon (C) and nitrogen (N). Thus, the aim of this study was to quantify soil C and N stocks in the three main coffee production regions of Minas Gerais State, evaluating different management systems and coffee cultivation time compared to cultivated pastures. For the calculation of C and N stocks, soil samples were collected to determine the content of C and N, in addition to soil density at different depths. Evaluated situations included management of coffee areas with and without pruning, and the type of previous land use to the coffee crop currently in the areas (i.e. pasture or coffee). The results indicated that coffee cultivation under grazing areas along with the adoption of good agricultural practices such as proper management of pruning and good weed control led to the maintenance of soil C and N stocks over time. Through this fact, it is possible to state that coffee cultivation positively affects soil health.

**Index terms:** Coffee production, land use change, soil organic matter, nitrogen.

### 1 INTRODUÇÃO

Os estoques de carbono (C) e nitrogênio (N) do solo são frequentemente utilizados como indicadores da sustentabilidade de cultivos agrícolas. Alguns tipos de mudança do uso da terra (MUT) e práticas de manejo inadequadas podem favorecer a diminuição dos estoques de C e N do solo através da mineralização da matéria orgânica do solo (MOS), além de resultar em maior emissão de gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera (DON; SCHUMACHER; FREIBAUER, 2011;

FRANCO et al., 2015; SILVA et al., 2015; SOUZA; PREZOTTI; GUARÇONI, 2012). Mudanças no estoque de C devido à conversão vegetação nativa - pastagem - cultivo de café (Figura 1), prática tradicionalmente realizada em áreas de cultivo do Brasil, é possível compreender o funcionamento dessa dinâmica ao longo do tempo.

Nos ecossistemas nativos, tais como as florestas e cerrados, a matéria orgânica do solo (MOS) faz parte de um equilíbrio dos ciclos de C e N. O conteúdo de C e N encontra estável em solos sob vegetação natural (BORTOLON et al., 2009).

<sup>1</sup>Universidade de São Paulo - Centro de Energia Nuclear na Agricultura - Laboratório de Biogeoquímica Ambiental - CENA/USP Av. Centenário, 303 - Cx. P. 96 - 13.400-970 - Piracicaba - SP - cerri@cena.usp.br

<sup>2,3,4,5,6,7</sup>DeltaCO<sub>2</sub> - Sustentabilidade Ambiental - Rua Cezira Giovanoni Moretti, 600 - 13.414-020 - Piracicaba - SP cindy.silva.moreira@gmail.com, priscila@deltaco2.com.br, fernandohtoledo@gmail.com, bruno@deltaco2.com.br, gabriel.rodrigues@deltaco2.com.br, guilherme@deltaco2.com.br

<sup>8</sup>Universidade de São Paulo - Departamento de Ciência do Solo - ESALQ/USP - Av. Pádua Dias, 11 - Cx. P. 9 - 13.418-900 Piracicaba - SP - cepcerri@usp.br

<sup>9,10,11,12</sup>Experimental Agrícola do Brasil Ltda. - Rua Doutor Nicolau De Souza Queirós, 518 - 04105-001 - São Paulo - SP aldir.teixeira@illy.com, cesarcandiano@hotmail.com, topex@oi.com.br, sergiocdalessandro@gmail.com

<sup>13</sup>Illycaffè, Coffee Procurement Department - Trieste - Itália - luca.turello@illy.com

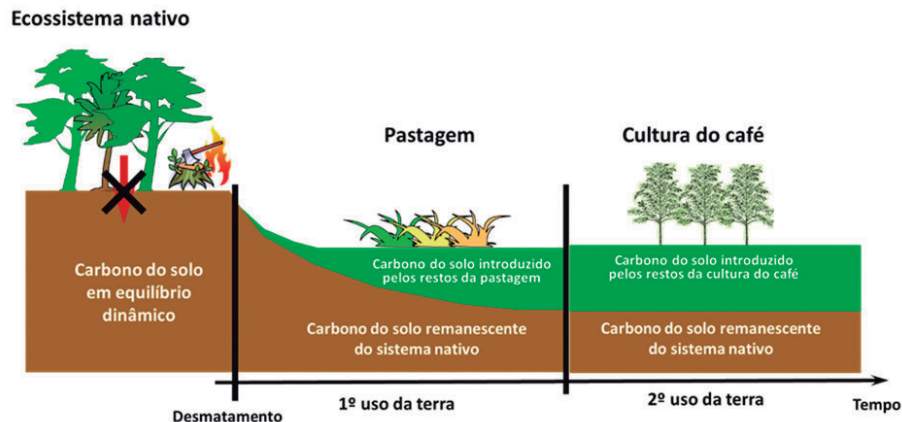


FIGURA 1 - Mudança no estoque de carbono devido à conversão vegetação nativa - pastagem - cultivo de café.

Isso ocorre por que as saídas de carbono do solo devido à mineralização da matéria orgânica são compensadas pela deposição de folhas que naturalmente ocorre na superfície do solo. A decomposição dessas folhas pelos microrganismos do solo produz substâncias orgânicas as quais são incorporadas no solo pela água da chuva. Isso faz com que o estoque de carbono do solo seja naturalmente restabelecido, processo esse denominado de equilíbrio dinâmico do carbono no solo.

Quando ecossistemas nativos são alterados por atividades antrópicas, o equilíbrio dinâmico é quebrado e geralmente as entradas de C são menores do que as saídas. Isso conduz à redução da quantidade e alteração da qualidade da MOS (CERRI; FEIGL; CERRI, 2008; FRANCO et al., 2015; OLIVEIRA; SCHELLEKENS; CERRI, 2016). Vários fatores são apontados como controladores das mudanças dos teores e qualidade da MOS. A textura do solo, a vegetação original, o tipo e manejo do solo, o clima e principalmente a qualidade e quantidade dos resíduos vegetais interferem nos teores de MOS (CARVALHO et al., 2009; COSTA et al., 2009; STOCKMANN et al., 2013).

No caso específico da conversão de um sistema nativo em pastagem, pode ocorrer inicialmente uma redução do estoque de carbono do solo. No entanto, a continuidade do cultivo das gramíneas faz com que esse estoque seja restabelecido em níveis próximos aos da vegetação nativa. Isso ocorre porque o sistema radicular das gramíneas, que se propaga em todo o volume da camada mais superficial do solo, é renovado continuamente. As raízes mortas, juntamente com

as folhas velhas que se depositam na superfície do solo, são prontamente decompostas por microrganismos fazendo com que o carbono do material vegetal seja incorporado ao solo.

Quando uma pastagem é convertida para agricultura, o que normalmente se verifica é uma redução do estoque de carbono do solo em função do tempo de uso da terra. Isso se dá, porque as entradas de carbono dos sistemas agrícolas são inferiores àquelas decorrentes da decomposição de raízes e folhas de gramíneas. Dependendo da cultura estabelecida após a pastagem, essa redução do estoque de carbono pode ser maior ou menor, em função da quantidade de resíduo vegetal aportada e do manejo agrícola.

Assim, o tipo de mudança e uso da terra em áreas de cultivo de café e o manejo adotado no cafezal (com e sem podas) podem condicionar a dinâmica do C e N no solo. O presente estudo teve como objetivo quantificar os estoques de C e N do solo nas três principais regiões produtoras de café de Minas Gerais, avaliando diferentes sistemas de manejo e tempo de cultivo do café em comparação com pastos cultivados.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### Descrição das áreas de estudo

O estudo foi realizado em fazendas produtoras de café localizadas nos municípios de Manhumirim, Presidente Olegário e São Tomás de Aquino (Figura 2). Os municípios selecionados estão localizados nas três principais regiões de produção de café de Minas Gerais (Matas de Minas, Cerrado e Sul de Minas, respectivamente).

Em cada região produtora foram selecionadas cinco situações incluindo o tipo de

manejo dos vários cultivares da cultura do café (com e sem poda) e o histórico do uso da terra (café plantado sobre pasto, café plantado sobre café e áreas atualmente com pasto) nas propriedades agrícolas, conforme descrito na Tabela 1.

As propriedades encontram-se sob influência do clima Tropical de Altitude (Cwa), de acordo com Köppen, caracterizados por invernos secos ou pouco chuvosos, e verões quentes e úmidos com chuvas de verão. A precipitação média anual está em torno de 1500 mm, a temperatura é amena (18°C – 26°C) com baixa amplitude térmica e altitudes acima de 500 m.

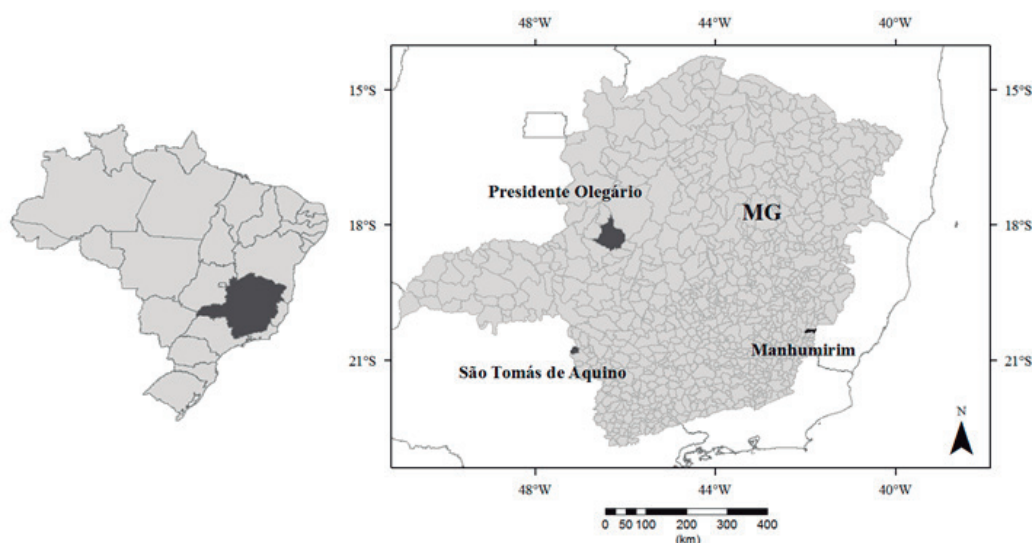
As três regiões consideradas neste estudo apresentam características distintas de manejo da cultura em função do relevo predominante em cada região. As áreas localizadas no cerrado mineiro, mais planas, caracterizam-se pelo manejo mecanizado da cultura do café. As áreas localizadas nas Matas de Minas, por outro lado, encontram-se sob influência de relevo mais acidentado. Nesse caso, o manejo da cultura é feito manualmente. Nas áreas do Sul de Minas, embora existam situações de cultivo em terreno acidentado, muitas propriedades utilizam máquinas agrícolas no manejo da cultura. No caso da fazenda avaliada no Sul de Minas, predomina o manejo mecanizado.

Com relação às podas do café, é importante destacar que uma vez realizada essa prática, uma parte do resíduo (material mais grosso) é retirada do campo para ser utilizada como lenha na secagem do café e outra parte (material mais particulado) é mantida no campo como cobertura morta vegetal.

Dentre os tipos de poda aplicados no cafezal, foi utilizado o esqueletamento e a recepa.

O esqueletamento consiste no corte lateral dos ramos plagiotrópicos ou ramos produtivos a uma distância de 20-40 cm do tronco principal. O esqueletamento deve ser feito associado a um corte superior, denominado decote. Esse corte é realizado a uma altura de 1,7 a 2,0 m, para quebrar a dominância apical e estimular a brotação lateral. O cafeeiro não apresenta produção de café no ano da poda, o que pode ser uma vantagem, pois não se gasta com colheita, e, no segundo ano após o corte, costuma apresentar altas produtividades que muitas vezes compensam o ano sem produção. Essa pode ser uma grande vantagem desse tipo de poda que a torna economicamente viável ao reduzir os custos de colheita (MATIELLO et al., 2005).

No caso da recepa, a mais drástica das podas, são retirados todos os brotos, incluindo o ramo ortotrópico ou tronco. A haste principal é cortada a uma altura que varia de 0,3 a 0,4 m (recepa baixa) a 0,5 - 0,8 m (recepa alta ou com pulmão). Essa prática possibilita uma renovação total da parte aérea da lavoura. É recomendada quando houve grande depauperação da lavoura, com perda de ramos laterais produtivos, perda de estrutura das plantas, forte geada ou alto grau de fechamento (MATIELLO et al., 2005). Além das podas, foram considerados os eventos de arranquio e replantio do cafezal nas áreas.



**FIGURA 2** - Localização dos municípios de São Tomás de Aquino, Manhumirim e Presidente Olegário, no Estado de Minas Gerais.

TABELA 1 - Descrição das áreas de estudo na região.

Região	Município	(cód.) Situação	Área (ha)	Sigla
Cerrado	Presidente Olegário	(1) Pasto	10,0	CE 1
		(2) Café (sem poda) sobre pasto	27,5	CE 2
		(3) Café (com poda) sobre pasto	18,3	CE 3
		(4) Café (sem poda) sobre café	3,5	CE 4
		(5) Café (com poda) sobre café	33,5	CE 5
Sul de Minas	São Tomas de Aquino	(1) Pasto	5,0	SM 1
		(2) Café (sem poda) sobre pasto	0,7	SM 2
		(3) Café (com poda) sobre pasto	14,2	SM 3
		(4) Café (sem poda) sobre café	18,6	SM 4
		(5) Café (com poda) sobre café	12,4	SM 5
Matas de Minas	Manhumirim	(1) Pasto	15,0	MM 1
		(2) Café (sem poda) sobre pasto	3,0	MM 2
		(3) Café (com poda) sobre pasto	1,5	MM 3
		(4) Café (sem poda) sobre café	1,5	MM 4
		(5) Café (com poda) sobre café	0,8	MM 5

Na Tabela 2 estão resumidas as informações a respeito do uso da terra nas áreas de estudo, bem como o histórico do manejo dos cafezais.

#### Amostragem de solo

Em cada situação avaliada foram coletadas amostras de solo em cinco pontos ou trincheiras, sendo uma trincheira central e quatro mini-trincheiras dispostas em um esquema quadrangular. As amostras foram coletadas na projeção da saia das plantas. Na trincheira central (georreferenciada) foram coletadas amostras de solo até 100 cm de profundidade (0-10, 10-20, 20-30, 40-50, 70-80 e 90-100 cm) enquanto que nas outras quatro mini-trincheiras a coleta foi efetuada até 30 cm de profundidade (0-10, 10-20 e 20-30 cm). Desta forma, em cada situação foram coletadas 18 amostras de solo para análise de carbono orgânico do solo (C) e nitrogênio total (N) e 18 amostras para determinação da densidade do solo, totalizando 36 amostras de solo. Considerando as 15 situações selecionadas, foram coletadas 540 amostras de solo (270 amostras de C e N; 270 amostras de densidade).

#### Análises físicas

Foram realizadas análises de granulometria nas amostras de trincheira central (camada de 0 a 30 cm) em cada uma das situações avaliadas.

Foram determinados os teores de argila, silte e areia pelo método da pipeta, tendo como princípio a Lei de Stokes sobre a sedimentação de partículas.

A densidade do solo foi determinada pelo método do cilindro volumétrico utilizando cilindros de aço inox (5,0 x 5,0 cm) com volume interno de aproximadamente 100 cm<sup>3</sup>. Após determinado o peso do solo úmido, as amostras de solo foram secas em estufa a 105°C e em seguida calculada a densidade do solo.

#### Cálculo dos estoques de carbono e nitrogênio do solo

As amostras de solo destinadas à determinação dos teores de C e N totais foram moídas e peneiradas a 60 mesh, para posterior análise por combustão a seco em equipamento LECO CN-2000. Para verificar a normalidade e homogeneidade da variância dos dados de carbono e nitrogênio foi utilizado o software Assistat (versão 7.7 beta) (SILVA, 2016). Os estoques de C e N de cada camada do solo foram obtidos pela multiplicação dos teores de C e N (g kg<sup>-1</sup>) pela densidade do solo (g cm<sup>-3</sup>) e espessura da camada de solo (cm). Os estoques para 0-30 cm foram ajustados com base em um equivalente de massa (LEE et al., 2009), no qual a massa de solo nas pastagens manejadas é equiparada à massa de solo contida nos 30 cm superficiais do solo sob vegetação nativa ou de referência.

**TABELA 2** - Histórico do uso da terra e manejo das áreas de estudo.

Histórico	Situação				
	CE 1	CE 2	CE 3	CE 4	CE 5
Uso da terra anterior ao cultivo de café					
Ano do desmatamento	1953	1953	1953	1953	1953
Pasto (nº de anos)	62	53	39	40	24
Culturas anuais (nº de anos)	-	-	2	4	-
Período sobre cada manejo do Café (nº de anos)					
Café sem poda	-	8	-	10	-
Café com poda	-	-	21	-	23
Café sem poda sobre café	-	-	-	7	-
Café com poda sobre café	-	-	-	-	12
Período total com café	-	8	21	17	35
Eventos de poda, arranquio e replantio (Ano)					
Esqueletamento	-	-	-	-	1997/2011
Recepa	-	-	2009	-	-
Arranquio	-	-	-	2007	2003
Replantio	-	-	-	2008	2003
	SM 1	SM 2	SM 3	SM 4	SM 5
Uso da terra anterior ao cultivo de café					
Ano do desmatamento	1946	1940	1940	1950	1935
Pasto (nº de anos)	48	65	50	4	42
Culturas anuais (nº de anos)	20	-	0	2	1
Período sobre cada manejo do Café (nº de anos)					
Café sem poda	-	10	-	50	-
Café com poda	-	-	25	-	19
Café sem poda sobre café	-	-	-	9	-
Café com poda sobre café	-	-	-	-	18
Período total com café	-	10	25	59	37
Eventos de poda, arranquio e replantio (Ano)					
Esqueletamento	-	-	2003/2008/2014	-	2006/2012
Recepa	-	-	-	-	-
Arranquio	-	-	-	1994/2006	1996
Replantio	-	-	-	1995/2006	1997
	MM 1	MM 2	MM 3	MM 4	MM 5
Uso da terra anterior ao cultivo de café					
Ano do desmatamento	1960	1970	1975	1970	1975
Pasto (nº de anos)	55	39	5	5	-
Culturas anuais (nº de anos)	0	-	-	-	-
Período sobre cada manejo do Café (nº de anos)					
Café sem poda	-	6	-	32	-



Café com poda	-	-	35	-	30
Café sem poda sobre café	-	-	-	8	-
Café com poda sobre café	-	-	-	-	10
Período total com café	-	6	35	40	40
Eventos de poda, arranquio e replantio (Ano)					
Esqueletamento	-	-	-	-	2013
Recepa	-	-	2000/2010	-	1990
Arranquio	-	-	-	2006	2004
Replantio	-	-	-	2007	2005

No caso do estudo em questão, adotou-se o solo sob pastagem como referência para todas as situações avaliadas.

Ao avaliar a MUT foi possível verificar os estoques de C e N do solo ao longo do tempo. Foi adotada uma estratégia baseada em cronosequência. Assim foi feita avaliação de áreas distintas em mesmo tipo de uso da terra (pastagem), que ao longo do tempo sofreram mudanças no uso quanto ao manejo da cultura do café (com e sem podas). Desta forma, os estoques de C e N das áreas foram avaliados de acordo com duas cronosequências, conforme descrito na Tabela 3.

A estratégia adotada para a avaliação da MUT contemplou os primeiros 30 cm de profundidade do solo onde significativas proporções dos estoques de C e N são encontradas.

Com o intuito de avaliar o efeito das podas nos estoques de C e N, utilizou-se uma camada mais superficial de solo (0-10 cm) considerando-se que nesta camada os potenciais efeitos são salientados devido ao aporte que ocorre prioritariamente na superfície do solo. A utilização de uma camada de 30 cm, neste caso, dilui os potenciais efeitos que na prática efetivamente ocorrem nos primeiros cm do solo.

Os estoques de C e N calculados para a camada 0-100 cm também são apresentados com intuito de ilustrar a magnitude da quantidade desses elementos em profundidade nos cultivos de café. Essa abordagem é meramente qualitativa e, portanto, não será discutida em detalhes. Desta forma, serão apresentados a seguir os principais resultados observados as três regiões avaliadas.

A análise de variância (ANOVA) e o teste de comparação de médias de Tukey ( $p < 0,05$ ), aplicados aos estoques de C e N de cada camada do solo, também foram realizados pelo Assistat.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Análise granulométrica

A maior parte das amostras de solo foi enquadrada na classe textural Argilosa. Na região do Cerrado, as amostras de solo apresentaram maior conteúdo de argila do que nas demais, sendo classificada em sua maioria como Muito Argilosa.

#### Densidade do solo

Os resultados referentes à densidade dos solos das situações avaliadas podem ser visualizados na Figura 3. Essa informação é necessária para o cálculo dos estoques de C e N das situações, pela multiplicação dos teores de C e N ( $\text{g kg}^{-1}$ ) pela densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) e espessura da camada de solo (cm).

A partir dos dados apresentados é possível verificar que a densidade do solo nas pastagens (situação 1 de cada região) foi quase sempre superior à densidade das áreas cultivadas com café (dados absolutos) para as três profundidades avaliadas (0-10, 10-20 e 20-30 cm).

Ressalta-se ainda que o dinamismo das entradas de material orgânico (restos de poda do cafezal) no solo promoveu uma tênue redução da densidade do solo, o que provavelmente favorece a retenção da água da chuva pelo solo nesse sistema.

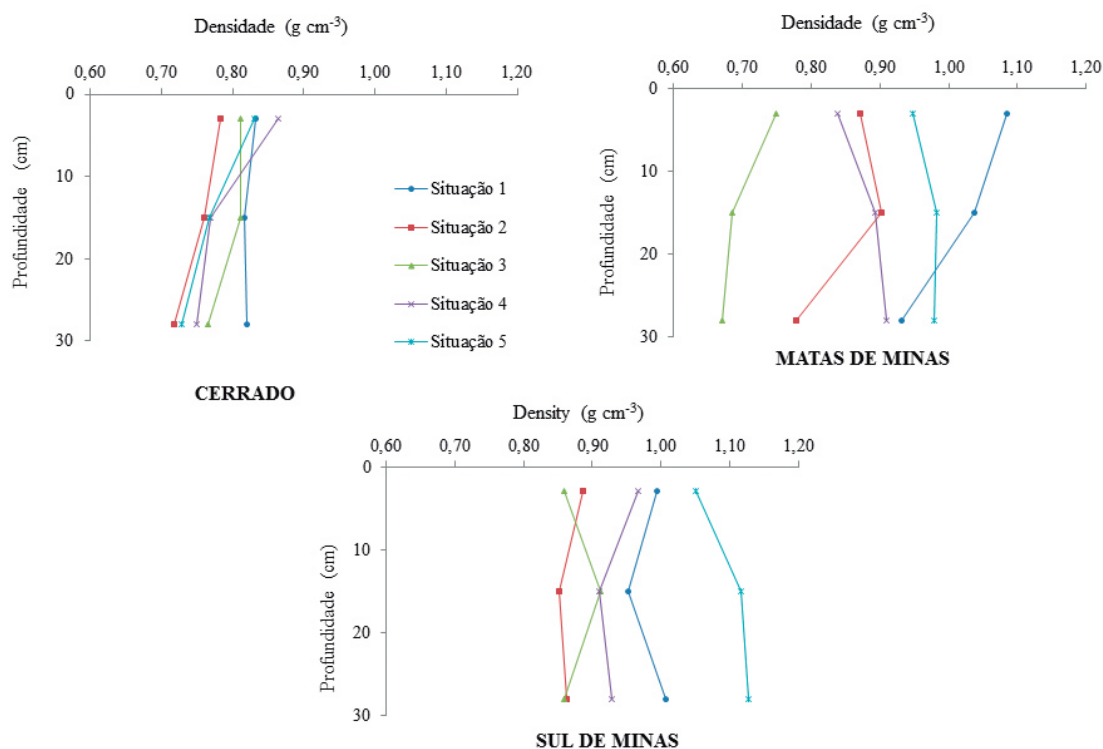
#### Estoques de C e N do solo

Nas Figuras 4 e 5 estão os estoques de C obtidos nas amostras de solo nas três regiões avaliadas, para cada cronosequência considerada, nas camadas 0-10, 0-30 e 0-100 cm de profundidade.

Os estoques de C das áreas de pastagem (situação 1), consideradas a referência para as áreas de cultivo de café, totalizaram 35,5; 39,5 e 27,3  $\text{Mg C ha}^{-1}$  na camada 0-10 cm de profundidade para as regiões do Cerrado, Matas de Minas e Sul de Minas, respectivamente.

**TABELA 3** - Informações sobre as cronossequências consideradas no estudo.

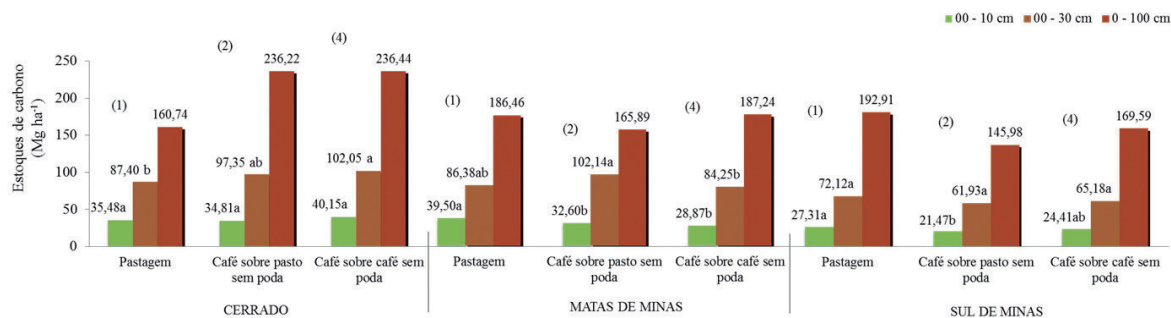
Cronossequência	Referência (cód. situação)	Primeira MUT (cód. situação)	Segunda MUT (cód. situação)
I	Pastagem (1)	Café sem poda sobre pasto (2)	Café sem poda sobre café (4)
II	Pastagem (1)	Café com poda sobre pasto (3)	Café com poda sobre café (5)

**FIGURA 3** - Densidade do solo das amostras coletadas em cada situação e região produtora.

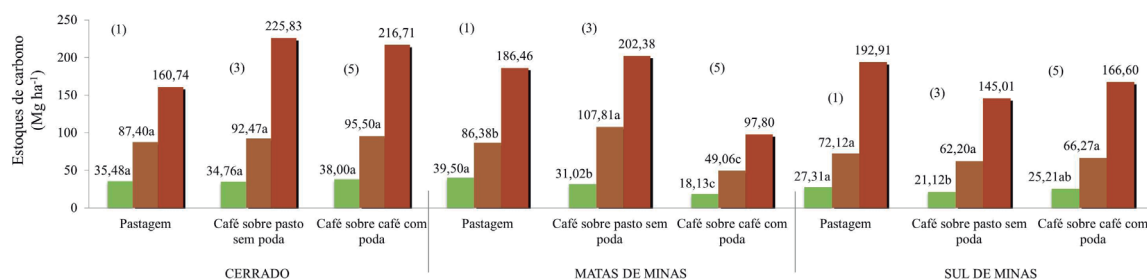
Para a camada 0-30 cm, os estoques foram 87,4, 86,4 e 72,1 Mg C ha<sup>-1</sup>. Considerando o perfil até 100 cm de profundidade, os estoques de C para as mesmas regiões supracitadas totalizaram 160,8, 186,5 e 192,9 Mg C ha<sup>-1</sup>. Em valores absolutos, pode-se afirmar que os resultados obtidos são superiores aos obtidos por outros autores. Andrea et al. (2004), avaliando um Latossolo Vermelho Distrófico de textura média, localizado no sul de Goiás, obtiveram para uma pastagem de *Brachiaria decumbes* Stapf, de 15 anos, o estoque de 69,86 Mg C ha<sup>-1</sup> na camada de 0-40 cm. Neves et al. (2004) relataram o estoque de C de aproximadamente 52 Mg C ha<sup>-1</sup> para a camada de 0-40 cm de uma pastagem convencional cultivada em Latossolo Distrófico típico (textura muito argilosa) no Noroeste mineiro.

Os resultados do presente estudo ressaltam o papel da argila na estruturação do solo e na proteção da matéria orgânica do solo contra a decomposição, em sistemas que apresentam ausência de revolvimento do solo, tendo em vista que o solo estudado apresenta textura muito argilosa.

Na cronossequência I, representada pela MUT (1) pastagem – (2) café sobre pasto sem poda – (4) café sobre café sem poda, observou-se uma variação dos estoques de C na camada 0-10 cm de 21,5 a 40,2 Mg C ha<sup>-1</sup>, para as três regiões avaliadas (Figura 4). No Cerrado, não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre essas situações, indicando que o cultivo de café não promoveu a perda de C com a MUT.



**FIGURA 4** - Estoques de C do solo nas camadas 0-10, 0-30 e 0-100 cm de profundidade nas situações (1), (2) e (4) para as três regiões avaliadas. Valores seguidos da mesma letra minúscula dentro de cada região e profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.



**FIGURA 5** - Estoques de C do solo nas camadas 0-10, 0-30 e 0-100 cm de profundidade nas situações (1), (3) e (5) para as três regiões avaliadas. Valores seguidos da mesma letra minúscula dentro de cada região e profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Essa manutenção da matéria orgânica do solo na camada mais superficial é um ponto bastante positivo em relação à dinâmica do C no sistema ao longo do tempo e também foi relatada por outros autores (RANGEL; SILVA; GUIMARÃES, 2007; SILVA et al., 2015). Para eles, aliado ao não revolvimento do solo, o cultivo de culturas perenes e o manejo orgânico são de grande importância na preservação da integridade da estrutura do solo e, conseqüentemente, na manutenção dos estoques de C e N. Na região Matas de Minas houve um decréscimo nos estoques de C com a MUT de pasto (39,5 Mg C ha<sup>-1</sup>) para cultivo de café (32,6 e 28,9 Mg C ha<sup>-1</sup> para as situações 2 e 3 respectivamente). Por outro lado, na região do Sul de Minas, após uma redução significativa do estoque de C da camada mais superficial na situação (2) (21,5 Mg C ha<sup>-1</sup>), o que se observou foi uma tendência de aumento do estoque de C com o tempo de cultivo de café na situação (4) (24,4 Mg C ha<sup>-1</sup>).

Na camada de 0-30 cm das situações apresentadas na cronossequência I, os estoques

de carbono variaram de 62 a 102,1 Mg C ha<sup>-1</sup>. No entanto, ao avaliar os estoques de C em cada região isoladamente, observou-se pouca variação com a MUT, indicando que o cultivo do café contribuiu para a manutenção dos estoques de C na camada do solo sob maior influência do manejo e da exploração radicular da cultura. Além disso, apenas a situação (2) apresenta pastagem como uso anterior ao cultivo do café. Nas demais situações, a conversão para o café ocorreu diretamente de uma área de vegetação natural ou capoeira suja por curto tempo. Deve-se ressaltar, no entanto, que na situação (4) do Cerrado houve um aumento de 15% do estoque de C em relação à pastagem (87,4 Mg C ha<sup>-1</sup>). Nesta mesma região, o estoque de C na camada até 100 cm do solo das situações (2) e (4) foram bastante elevados, atingindo 236,2 e 236,5 Mg C ha<sup>-1</sup> respectivamente.

A avaliação da camada mais superficial do solo na cronossequência 2, representada pela MUT (1) pastagem – (3) café sobre pasto com poda – (5) café sobre café com poda, indicou manutenção dos estoques de C na região do Cerrado e do Sul



de Minas, e perda de C com a MUT na região de Matas de Minas (Figura 5). Como nessa região houve uma diminuição nos estoques de C do solo independentemente do manejo (poda vs sem poda) utilizado (situações 4 e 5), tal redução é atribuída aos efeitos combinados do histórico de uso e ocorrência de arranquio recente em áreas de longo tempo de cultivo de café (aproximadamente quatro décadas).

Na camada de 0-30 cm de profundidade da cronosequência (Figura 5), não foram observadas diferenças estatísticas nos estoques de C com a MUT na região do Cerrado e no Sul de Minas. Nas Matas de Minas, observou-se primeiramente um aumento do estoque de C na MUT de pasto (86,4 Mg C ha<sup>-1</sup>) – café sobre pasto com poda (107,8 Mg C ha<sup>-1</sup>) e, uma redução do estoque para 49 Mg C ha<sup>-1</sup> com o tempo de cultivo de café (Situação 5). Esse primeiro aumento na situação (3) (25% em relação à área de referência) está relacionado ao longo tempo de cultivo de café (35 anos), com a entrada de material orgânico oriundo das podas e a não ocorrência de mobilização intensa do solo via arranquio.

Uma avaliação mais ampla das duas cronosequências consideradas (Figura 4 e Figura 5) permite dizer que, no geral, houve pouca diferença entre os estoques de C do manejo do cafezal com e sem poda. Essa ausência de diferenças pode ser atribuída à baixa frequência de podas realizadas nas áreas. Na situação (3) do Cerrado foi realizada apenas uma poda em 21 anos de cultivo. Já na situação (5) da mesma região, foram realizadas duas podas em um período de 35 anos. Adicionalmente, é preciso considerar que nesta área houve um arranquio do cafezal em 2003. É de se esperar que eventos de mobilização intensa do solo ocasionem reduções dos conteúdos de C já existentes no solo. Portanto, os estoques mensurados atualmente poderiam ser mais elevados caso o arranquio não tivesse ocorrido.

Nas Figuras 6 e 7 são apresentados os estoques de N do solo nas camadas 0-10 e 0-30 cm de profundidade para as regiões do estudo, considerando as mesmas cronosequências mencionadas para o carbono.

A análise da cronosequência I relacionada ao nitrogênio do solo na camada 0-10 cm (Figura 6) indicou redução nos estoques de N quando o café foi cultivado em áreas sobre pastagem no Cerrado e nas Matas de Minas. Por outro lado, na cronosequência II (Figura 7), o manejo das áreas com poda resultou na manutenção dos estoques de N do solo. Na camada de 0-30 cm do solo do Cerrado, nas áreas onde não foram realizadas as

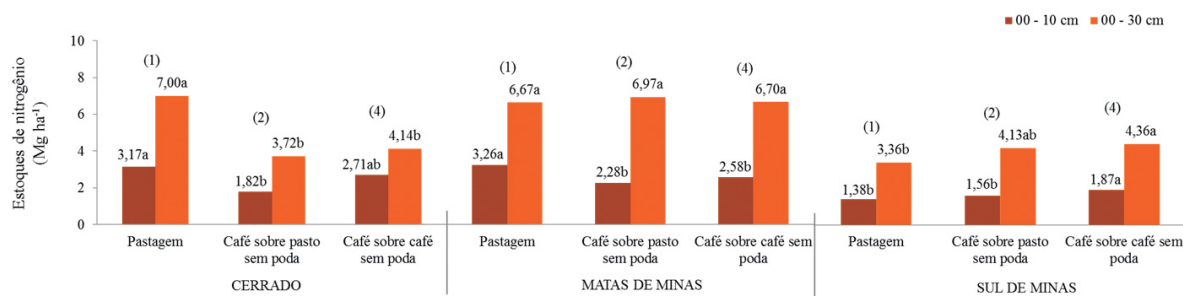
podas (situações 2 e 4), houve uma redução dos estoques de N com a MUT.

Na região do Sul de Minas, não se observou mudança nos estoques de N do solo devido as MUT avaliadas em ambas as cronosequências. Com relação à camada 0-10 cm do solo na situação (4) (Figura 4), o que se observou nas diferenças dos estoques de N não está associado à ocorrência de podas. Outro fator que provavelmente explica a ausência de diferença estatística entre os estoques de N das áreas mencionadas está relacionado ao tempo total de cultivo de café, entre seis e quatro décadas.

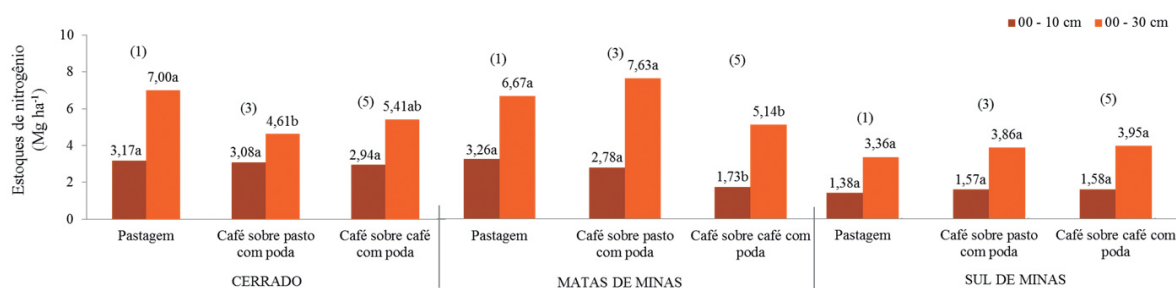
Já na região de Matas de Minas, as situações encontradas se mostraram peculiares em relação às demais regiões. Como já foi mencionado para o caso do C do solo, isso ocorreu provavelmente devido a combinação de alguns fatores, tais como: o relevo acidentado e o histórico da MUT. No caso da situação (2), único local onde o uso anterior do solo foi a pastagem, não houve redução dos estoques de N na camada 0-30 com a MUT. Já na cronosequência II, houve uma redução significativa do estoque de N com o tempo de cultivo de café (situação 5), fato que pode ser explicado pela combinação de dois efeitos principais. O primeiro refere-se à conversão direta de área sob vegetação nativa para o café, isto é, sem um período de ganhos de N oriundos do sistema sob pastagem. O segundo aspecto está relacionado à ocorrência do arranquio do cafezal em 2004, o que ocasiona uma mobilização intensa do solo e conseqüente redução dos conteúdos de N, combinados às entradas apenas recentes (2013) de material altamente lignificado (recalcitrante sob o ponto de vista de decomposição) possivelmente não transformado suficientemente para ser computado aos estoques de N do solo mensurados recentemente.

A manutenção dos estoques de carbono do solo observadas neste levantamento se deve, provavelmente, às características do manejo conservacionista adotado nas três áreas avaliadas. Tal sistema envolve entradas devido à decomposição das raízes e parte aérea da vegetação que se estabelece entre as linhas de cultivo do café (Figura 8A).

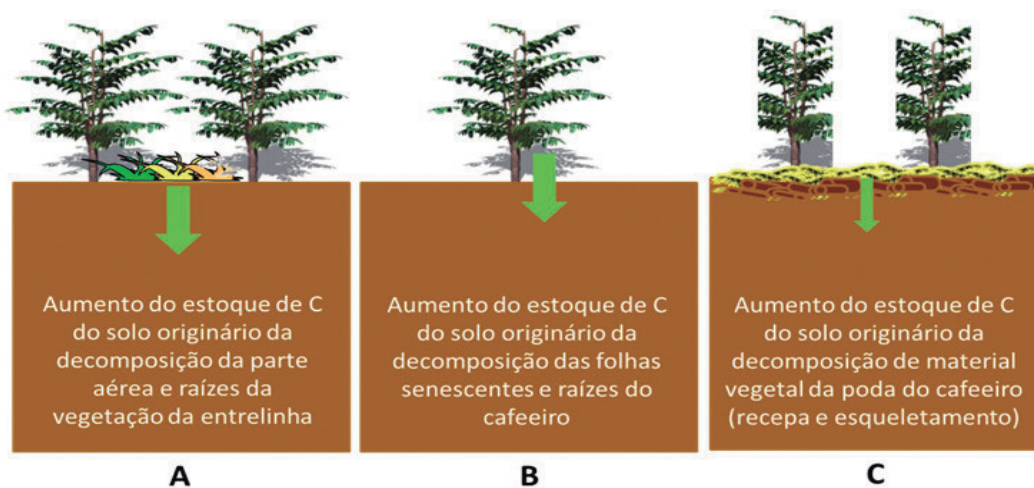
Os tratos culturais relacionados ao manejo dessa vegetação promovem a decomposição desse material e o resultado é que parte desse carbono orgânico é incorporada ao solo. Diferentemente dos sistemas de pastejo, onde parte da vegetação é removida pelo gado, aqui todo material vegetal retorna ao solo.



**FIGURA 6** - Estoques de N do solo nas camadas 0-10 e 0-30 cm de profundidade nas situações (1), (2) e (4) para as três regiões avaliadas. Valores seguidos da mesma letra minúscula dentro de cada região e profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.



**FIGURA 7** - Estoques de N do solo nas camadas 0-10 e 0-30 cm de profundidade nas situações (1), (3) e (5) para as três regiões avaliadas. Valores seguidos da mesma letra minúscula dentro de cada região e profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.



**FIGURA 8** - Fontes de entrada de carbono no solo na cultura do café. Carbono do solo derivado da vegetação da entrelinha (8A); Carbono do solo derivado das folhas e raízes mortas (8B) e Carbono do solo derivado da decomposição de material vegetal depositado no solo e proveniente da poda (8C).

Outra fonte de entrada de carbono no solo é seguramente pela decomposição das folhas senescentes do café que se depositam na superfície do solo e das suas raízes mortas (Figura 8B). Esse material é facilmente decomposto pelos organismos do solo e parte do carbono nele contido também é incorporado no terreno.

Associado a essas duas fontes de entrada, está o carbono originário da decomposição de material vegetal da poda do cafezal, que embora não seja um evento muito frequente, também pode ter contribuído para a incorporação do carbono orgânico do solo (Figura 8C).

Finalmente é importante ressaltar que, além da contribuição para a manutenção do estoque de carbono do solo, a decomposição dos restos vegetais da poda reconhecidamente traz benefícios à qualidade do solo. Dentre os inúmeros aspectos positivos, podem ser destacados: manutenção de uma população estável de organismos no solo e potencial aumento da sua biodiversidade, manutenção da umidade, aumento da rugosidade do solo e conseqüente redução da susceptibilidade do solo à erosão, redução da amplitude térmica, aumento do potencial de infiltração de água no solo, aporte de nutrientes via decomposição do material orgânico depositado e, conseqüentemente, melhora nos índices de fertilidade do solo e produtividade do café.

#### 4 CONCLUSÕES

O cultivo do café sobre áreas de pastagem com adoção de boas práticas agrícolas como um manejo adequado de podas e bom controle do mato propiciou a manutenção dos estoques de carbono e nitrogênio do solo ao longo do tempo.

As três fontes de entrada de carbono associadas ao cultivo de café (raízes e parte aérea de gramíneas presentes na entrelinha do cultivo, folhas e ramos do cafezal e troncos oriundos da poda) nas três maiores regiões produtoras de Minas Gerais contribuíram para a manutenção do estoque de carbono nas áreas de café em relação à pastagem original.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos proprietários das fazendas de café participantes pelo apoio na realização do presente trabalho e ao Dr. Mauricio Cherubin pela revisão do texto.

#### 6 REFERÊNCIAS

ANDREA, A. F. d' et al. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo

submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 179-86, fev. 2004.

BORTOLON, E. S. O. et al. Simulação da dinâmica do carbono e nitrogênio em um Argissolo do Rio Grande do Sul usando modelo Century. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1635-1646, 2009.

CARVALHO, J. L. N. et al. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 103, p. 342-349, 2009.

CERRI, C. E. P.; FEIGL, B.; CERRI, C. C. Dinâmica da matéria orgânica do solo na Amazônia. In: SANTOS, G. de A. et al. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. rev. e atual. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 325-358.

COSTA, O. V. et al. Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de Tabuleiro Costeiro no sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1137-1145, 2009.

DON, A.; SCHUMACHER, J.; FREIBAUER, A. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks: a meta-analysis. **Global Change Biology**, Malden, v. 17, n. 4, p. 1658-1670, 2011.

FRANCO, A. L. C. et al. Soil carbon, nitrogen and phosphorus changes under sugarcane expansion in Brazil. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 515/516, p. 30-38, 2015.

LEE, J. et al. Determining soil carbon stock changes: simple bulk density corrections fail. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 134, n. 3/4, p. 251-256, 2009.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações**. Varginha: Fundação Procafé, 2005. 434 p.

NEVES, C. M. N. das et al. Estoque de carbono em sistemas agrossilvopastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo convencional na região noroeste do estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 5, p. 1038-1046, set./out. 2004.

OLIVEIRA, D. M. S.; SCHELLEKENS, J.; CERRI, C. E. P. Molecular characterization of soil organic matter from native vegetation-pasture-sugarcane transitions in Brazil. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 548/549, p. 450-462, 2016.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARAES, P. T. G. Estoque e frações da matéria orgânica de Latossolo cultivado com café em diferentes espaçamentos e plantios. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1341-1353, 2007.

SILVA, F. A. S. **Sistema de Assistência Estatística - ASSISTAT**. Versão 7.7 beta. Campina Grande: Ed. UFPB, 2016. Disponível em: <<http://www.assistat.com/>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

SILVA, V. M. da et al. Estoques de carbono e nitrogênio e densidade do solo em sistemas de adubação orgânica

de café Conilon. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 5, p. 1436-1444, 2015.

SOUZA, J. L.; PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI, M. A. Potencial de sequestro de carbono em solos agrícolas sob manejo orgânico para redução da emissão de gases de efeito estufa. **Idesia**, Arica, v. 30, n. 1, p. 7-15, 2012.

STOCKMANN, U. et al. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 164, p. 80-99, 2013.