

FERTILIDADE E COMPARTIMENTOS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO

Luciana Ventura Machado¹, Otacílio José Passos Rangel², Eduardo de Sá Mendonça³,
Ramires Ventura Machado⁴, Jéferson Luiz Ferrari⁵

(Recebido: 22 de novembro de 2012; aceito: 6 de março de 2014)

RESUMO: A matéria orgânica do solo é influenciada pelo manejo adotado, sendo por essa razão, considerada um indicador da qualidade do solo e sustentabilidade de agroecossistemas. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar as alterações na fertilidade e os diferentes compartimentos da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de manejo da lavoura cafeeira, em área de influência de Floresta Atlântica, no distrito de Boa Esperança, em Marechal Floriano, Espírito Santo. As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0–0,05 e 0,05–0,10 m. Os sistemas amostrados foram: FN (floresta nativa), CC (café consorciado com frutíferas) e CS (café a pleno sol). Foram realizadas análises físicas e químicas do solo e quantificados os teores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e carbono das diferentes frações: humina (C-HUM), ácidos húmicos (C-FAH) e ácidos fúlvicos (C-FAF). Foram calculados os valores das relações C-FAH/C-FAF e C-HUM/(C-FAF+C-FAH), dos estoques de COT e NT e a relação COT/NT do solo. A substituição da floresta nativa por cultivos de café alteraram a densidade e a fertilidade do solo. Os sistemas de café provocaram redução no teor e estoque de carbono e nitrogênio do solo. A floresta apresentou equilíbrio na cinética de decomposição dos resíduos orgânicos e na liberação de N e outros nutrientes (P e K⁺) via serrapilheira no solo. A implantação dos agroecossistemas provocou mudanças no comportamento das substâncias húmicas, sendo que o café consorciado apresentou menor ciclagem orgânica.

Termos para indexação: Café arábica, nutrientes, carbono orgânico, substâncias húmicas.

FERTILITY AND ORGANIC MATTER COMPARTMENTS IN SOIL UNDER DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS

ABSTRACT: The soil organic matter is influenced by management adopted, and for this reason, considered an indicator of soil quality and sustainability of agroecosystems. The objective of this study was to evaluate the changes in soil fertility and different organic matter compartments of an Oxisol under different management systems of a coffee plantation area under influence of the Atlantic Forest located in the district of Boa Esperança, Marechal Floriano in the state of Espírito Santo. Soil samples were collected at depths from 0-0,05 and 0,05-0,10m. The management systems samples were: NF (native forest), CC (intercropped coffee with fruits) and UC (unshaded coffee). Also, a physical and chemical analysis of the soil was done and quantified the contents of total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN); carbon in different fractions also was quantified: humin (C-HUM), humic acids (C-HAF) and fulvic acids (C-FAF). The values of C-HAF/C-FAF and C-HUM/(C-FAF+C-HAF), TOC stocks, TN stocks and the relation of TOC/TN in the soil were calculated. The replacement of native forest for cultivations of coffee changed the density and soil fertility. The coffee systems caused a reduction in content and stock of carbon and nitrogen in the soil. The forest showed equilibrium in the kinetics of decomposition of organic waste and release of N and other nutrients (P and K⁺) in the soil through litterfall. The deployment of agroecosystems caused changes in the behavior of humic substances, and intercropped coffee showed lowest organic cycling.

Index terms: Arabica coffee, nutrients, organic carbon, humic substances.

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura constitui-se em um dos principais agroecossistemas do Espírito Santo devido a sua importância social e econômica no Estado. A cadeia produtiva do café, em sua totalidade, gera aproximadamente 400 mil postos de trabalho diretos e indiretos, e responde por 43,26% do Produto Interno Bruto (PIB) capixaba. Mais de 75% da cafeicultura capixaba são de agricultores de base familiar (FERRÃO et al., 2008).

As mudanças no sistema de uso da terra,

como a substituição de sistemas naturais em áreas agrícolas com cultivo mais intensivo, o frequente uso de queimadas e o preparo intensivo do solo promove o rápido declínio da matéria orgânica do solo (MOS) (SILVA; MENDONÇA, 2007) e contribui significativamente para o aumento da concentração de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera (SOUZA; PREZOTTI; GUARÇONI, 2012), principalmente o dióxido de carbono (CO₂), o óxido nitroso (N₂O) e o metano (CH₄) (CERRI et al., 2007).

Em solos sob vegetação natural, o carbono

^{1,2,5} Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo /Ifes - Campus de Alegre - Cx. P. 47 - 29500-000 Alegre - ES - luvetmac@gmail.com, ojprangel@ifes.edu.br; ferrariluz@ifes.edu.br

^{3,4} Universidade Federal do Espírito Santo/UFES – Departamento de Produção Vegetal/DPV - Alto Universitário - Cx. P. 16 29500-000 - Alegre - ES - eduardo.mendonca@ufes.br, ramiresmachado@hotmail.com

orgânico encontra-se em equilíbrio dinâmico, com teores praticamente constantes ao longo do tempo (D'ANDRÉA et al., 2004). Com a implantação dos agroecossistemas ocorre alteração nas taxas de adição e perdas efetivas de MOS (NUNES et al., 2011) e, um novo equilíbrio é atingido de acordo com as características do sistema de manejo adotado e das condições edafoambientais da área (EBELING et al., 2008; FREITAS et al., 2000; LOSS et al., 2007).

Sendo assim, estudos que visem caracterizar o comportamento e composição da MOS são fundamentais para o entendimento de sua natureza e elucidação dos fatores que governam sua estabilização, a fim de identificar e estabelecer práticas de manejo mais conservacionistas que contribuam com a sua preservação e promovam a sustentabilidade dos agroecossistemas.

Objetivou-se, neste trabalho, avaliar as alterações na fertilidade e na dinâmica dos compartimentos da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho-Amarelo, submetido a diferentes sistemas de manejo da lavoura cafeeira, em área de influência de Floresta Atlântica, no distrito de Boa Esperança, em Marechal Floriano, ES.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo localiza-se em uma propriedade rural particular situada na comunidade Boa Esperança, no município de Marechal Floriano, região serrana do estado do Espírito Santo. O clima da região, segundo classificação de Köppen é do tipo Cfb (SILVA, 2005), com temperatura média de 18°C (INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL - INCAPER, 2011) e precipitação pluviométrica variando de 1.200 a 1.700 mm (SILVA; SANTOS; SILVA, 2011). O solo estudado é um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd), com textura média (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2006).

2.2 Instalação do experimento e amostragem do solo

As áreas de estudo pertencem a uma propriedade agrícola, localizada em Marechal Floriano, Espírito Santo. O experimento foi realizado em setembro de 2011. No ano de 2008, após o corte e queima da vegetação natural foi implantada a lavoura de café arábica (*Coffea*

arabica L. cv. Catuaí Amarelo), em espaçamento 2x1 m. O terço médio da lavoura (2.000 m² de área cultivada) é separado em, aproximadamente, 3 metros ("ruas" entre os cafeeiros) do terço superior (6.000 m² de área cultivada) e do terço inferior (2.000 m² de área cultivada). No terço médio dessa lavoura, foram plantadas, em consórcio, espécies frutíferas na entrelinha do cafeeiro. As espécies frutíferas cultivadas com o cafeeiro compõem-se, aproximadamente, de 60 bananeiras (*Musa* sp.), cultivar Terra; 20 tangerineiras (*Citrus* sp.), cultivar Pokan e 20 laranjeiras (*Citrus* sp.), cultivar Bahia. As bananeiras e os citros foram plantados dispersos, sem espaçamento definido, nas entrelinhas do café. A aplicação de calcário foi realizada em fevereiro de 2011, aplicando-se 100 g planta⁻¹ sob a saia do café e, anualmente, no mês de outubro, a lavoura recebe adubação com NPK, na dose de 100 g planta⁻¹ sob a saia do café. O manejo de espécies espontâneas é realizado por meio de herbicidas de contato, com capina mecânica na linha, mantendo-se a cobertura morta oriunda da capina química na entrelinha da cultura.

Foram amostrados três sistemas de uso e manejo do solo para avaliações físico-químicas e fracionamento químico da matéria orgânica, a saber: 1) FN - uma área sob floresta nativa (20° 23' 16,03" S; 40° 47' 01,57" W e altitude de 759 m) em Bioma Mata Atlântica, numa distância aproximada de 230 m da lavoura cafeeira, com a mesma classe de solo e sem histórico de intervenção humana (área de referência); 2) CC - café consorciado com frutíferas (banana e citros) (20° 23' 16" S; 40° 46' 55,22" W e 754 m de altitude) e; 3) CS - café a pleno sol (sistema convencional em monocultivo) (20° 23' 13,32" S; 40° 46' "53,88" W e 771 m de altitude), ambos os sistemas cafeeiros com 4 anos de cultivo.

Em cada sistema foi instalada uma parcela de 10x8 m, com 2 metros de bordadura externa em cada lado da parcela, correspondendo a uma área útil total de 80 m², na qual foram delimitadas quatro subáreas equidistantes, para obtenção das amostras. Em cada ponto de coleta, em todos os sistemas de uso e manejo, foram abertas pequenas trincheiras para coleta das amostras simples do horizonte superficial (A) do solo nas profundidades de 0-0,05 e 0,05-0,10 m. Na área com floresta, as amostras simples foram obtidas por caminhamento em zigue-zague em sentido vertical dentro da área útil da parcela. Nas áreas com cafeeiro, as amostras foram coletadas nas entrelinhas de plantio da lavoura.

Para cada sistema foram coletadas 4 amostras compostas, obtidas a partir de 5 subamostras (com ± 500 g de solo) em cada profundidade, totalizando 24 amostras de solo. Após a coleta, as amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos e conduzidas para o Laboratório de Física e Química do Solo do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES), onde foram secadas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar - TFSA. Para determinação da densidade do solo foram coletadas amostras indeformadas de solo nas mesmas profundidades, em cada um dos três sistemas, totalizando quatro amostras de cada profundidade, utilizando-se cilindros metálicos de Koppec de 4,98 cm de comprimento e 4,78 cm de diâmetro interno. As coletas de solo para este estudo foram realizadas ao acaso dentro de cada sistema, considerando 2 profundidades e 4 repetições.

2.3 Análises químicas e físicas do solo

A TFSA foi submetida à análise química (SILVA et al., 2009) e granulométrica, pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997). A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997). Os teores de COT e NT do solo foram determinados seguindo marcha analítica descrita em Mendonça e Matos (2005). Com os resultados, calculou-se a relação COT/NT do solo. Os estoques de COT e NT foram calculados nas profundidades de 0–0,05 e 0,05–0,10 m, a partir da expressão: EstCOT ou EstNT = (COT ou NT) \times Ds \times E/10, em que EstCOT e EstNT é o estoque de carbono orgânico total ou nitrogênio total em determinada profundidade (Mg ha^{-1}); COT é o teor de carbono orgânico total (g kg^{-1}); NT é o teor de nitrogênio total no solo (g kg^{-1}); Ds é a densidade do solo (g cm^{-3}), E é a espessura da camada considerada (cm).

A extração e quantificação dos teores de C orgânico das frações ácidos fúlvicos (C-FAF), ácidos húmicos (C-FAH) e humina (C-HUM) foi realizada conforme metodologia da solubilidade diferencial em meio alcalino e ácido, descrita em IHSS (SWIFT, 1996), adaptada por Benites, Madari e Machado (2003) e Mendonça e Matos (2005). Com os resultados foram calculadas as relações C-FAH/C-FAF e C-HUM/(C-FAF + C-FAH).

2.4 Análise estatística dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância, utilizando o aplicativo computacional SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2008), em que os graus de liberdade para tratamento (sistemas) foram decompostos em 2 contrastes ortogonais entre si, estudando cada profundidade isoladamente. Em C1 = (2F-CC-CS) (Quadro 1), o sistema floresta nativa (FN) foi avaliado comparativamente ao sistema café consorciado (CC) e ao sistema café a pleno sol (CS). O contraste C2 = (CC-CS) permitiu avaliar o sistema café consorciado em relação ao sistema café a pleno sol. A significância dos contrastes foi testada pelo teste F ($p < 0,05$ e $0,01$).

Posteriormente, efetuou-se a análise multivariada, para identificar sistemas com maior ou menor grau de similaridade dentro e entre as profundidades avaliadas, utilizou-se a análise de componente principal e em seguida a análise de agrupamento.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Composição granulométrica do solo

A composição granulométrica e a classe textural das amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo nas profundidades de 0-0,05 e 0,05-0,10 m, sob os sistemas FN (floresta nativa), CC (café consorciado) e CS (café a pleno sol), constam na Tabela 1.

QUADRO 1 - Contrastes ortogonais (C) utilizados na comparação entre os diferentes sistemas de manejo.

Profundidade	Sistema	C1	C2	C3	C4
1	FN	2	0	0	0
	CC	-1	1	0	0
	CS	-1	-1	0	0
2	FN	0	0	2	0
	CC	0	0	-1	1
	CS	0	0	-1	-1

Houve predomínio da fração areia em todos os sistemas avaliados. Os teores de argila variaram de 24,75 a 30,46 dag kg⁻¹, na profundidade de 0-0,05 m, e de 21,84 a 26,79 dag kg⁻¹, na profundidade de 0,05-0,10 m, o que inclui o solo na classe textural média. Os sistemas CS e CC apresentaram os menores teores de argila comparados a FN, sendo que no CC essa redução foi mais acentuada. Isso pode ser explicado pela localização do CC na posição meia encosta, caracterizando intenso processo de perdas de solo e, conseqüentemente, de nutrientes.

A textura é capaz de influenciar sobremaneira os teores de C orgânico e a dinâmica de nutrientes no complexo de troca catiônica (LOSS et al., 2007), visto que, solos com maiores teores da fração argila favorecem a interação entre a matéria orgânica e os minerais da fração argila, promovendo maior estabilidade do carbono orgânico no solo (FONTANA et al., 2010).

3.2 Caracterização química e densidade do solo

A elevada acidez associada à extrema pobreza em bases na área de referência (FN) evidenciaram tratar-se de um solo bastante intemperizado e com baixa fertilidade natural, ressaltando a importância da matéria orgânica na ciclagem de nutrientes nesta área.

O menor valor de pH (maior acidez) foi obtido no solo sob floresta, nas duas profundidades estudadas (Tabela 2, C1). Isso pode ser explicado pelo maior incremento no aporte de resíduos orgânicos no sistema FN, favorecendo maior

adição de C ao solo na forma de raízes, folhas e ácidos orgânicos. Segundo Ebeling et al. (2008), quanto maior o conteúdo de carbono, maior tenderá ser a acidez do solo.

A floresta, na profundidade de 0-0,05 m também apresentou acidez potencial mais elevada, comparada aos sistemas com café, conforme indicado em C1. Os baixos valores de pH também podem ser explicados pelos teores de alumínio trocável (Al³⁺), uma vez que, o Al³⁺ ao sofrer hidrólise libera H⁺ na solução do solo e contribui para o aumento da acidez (SOUSA et al., 2007). Os sistemas CC e CS receberam calagem, tendo esse fator influenciado o pH do solo dos sistemas com café.

O solo sob o sistema CS apresentou saturação de alumínio superior ao sistema CC, em ambas as profundidades (Tabela 2, C2). O teor de Mg²⁺ e a saturação por bases (V) encontrado no sistema CC foram superiores ao encontrado no sistema CS, em ambas as profundidades, como indicado em C2. Marin (2002), ao avaliar o sistema agroecológico com café, verificou saturação por bases superior em 11,03% ao sistema convencional.

Para os teores de P e K⁺, o sistema FN foi superior comparado aos sistemas CC e CS, em ambas as profundidades estudadas (Tabela 2, C1). Isso indica que parte do P ciclado na floresta esteja na forma de compostos orgânicos, assim, a planta absorveria diretamente da decomposição do substrato orgânico ou da fase orgânica sem dar chances ao substrato mineral do solo de fixar o P nesse equilíbrio (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007).

TABELA 1 - Granulometria e classe textural de um Latossolo Vermelho-Amarelo nas profundidades de 0-0,05 e 0,05-0,10 m sob os sistemas FN (floresta nativa), CC (café consorciado) e CS (café a pleno sol).

Sistema	----- Fração granulométrica-----			Classe Textural ¹
	Areia	Silte	Argila	
	----- dag kg ⁻¹ -----			
	Profundidade 0-0,05 m			
FN	62,44	7,08	30,46	Média
CC	66,72	8,52	24,75	Média
CS	64,88	9,44	25,66	Média
	Profundidade 0,05-0,10 m			
FN	68,60	5,20	26,18	Média
CC	69,88	8,26	21,84	Média
CS	62,25	10,93	26,79	Média

¹Triângulo textural (EMBRAPA, 2006).

TABELA 2 - Médias e contrastes médios da caracterização química e da densidade do solo (Ds) nas profundidades de 0-0,05 e 0,05-0,10 m de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob os sistemas FN (floresta nativa), CC (café consorciado) e CS (café a pleno sol).

Sistema	Ds g cm ⁻³	pH	Ca ²⁺ cmol _c dm ⁻³	Mg ²⁺ cmol _c dm ⁻³	Al ³⁺ mg dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K ⁺ mg dm ⁻³	H+Al	SB	T cmol _c dm ⁻³	t	m	V %
----- Profundidade 0-0,05 m -----													
FN	0,94	4,3	0,93	0,97	0,56	14,87	51,50	28,63	2,07	30,66	2,59	22,46	6,60
CC	1,13	5,1	1,03	1,16	0,30	5,92	30,50	17,45	2,29	19,72	2,57	12,17	11,49
CS	1,15	5,0	0,97	0,87	0,48	9,01	26,25	21,10	1,92	23,00	2,38	19,94	8,30
----- Profundidade 0,05-0,10 m -----													

FN	1,01	4,3	0,45	0,61	0,54	12,48	38,25	22,71	1,19	23,87	1,69	31,93	4,83
CC	1,17	4,9	0,52	0,75	0,39	5,41	26,00	18,50	1,36	19,83	1,72	24,18	6,78
CS	1,16	4,7	0,38	0,51	0,71	8,60	25,75	22,25	0,98	23,21	1,67	43,19	4,23
----- Contrastes -----													
----- Profundidade 0-0,05 m -----													
C ₁	-0,198**	-0,731**	-0,074	-0,043	0,175**	7,410**	23,125**	9,353**	-0,042	9,296**	0,118	6,405*	-3,297**
C ₂	-0,019	0,132	0,061	0,294*	-0,175**	-3,087*	4,250	-3,651	0,368	-3,285	0,191	-7,766*	3,192*
----- Profundidade 0,05-0,10 m -----													

C ₁	-0,157**	-0,529**	0,001	-0,023	-0,012	5,479**	12,375**	2,331	0,018	2,340	-0,003	-1,751	-0,673
C ₂	0,008	0,133	0,132	0,241*	-0,325**	-3,189*	0,250	-3,754	0,375	-3,380	0,049	-19,013**	2,549*

C₁ = (2FN-CC-CS); C₂ = (CC-CS); *, ** = significativo a 5% e 1%, respectivamente.

O teor de P, no sistema CS, foi superior ao teor encontrado no CC, em ambas as profundidades, conforme indica C2. Esse comportamento, possivelmente, está associado a maior concorrência e exportação de P, pelas culturas em consórcio (café, citros, banana), comparadas ao café em monocultivo.

Os teores de P e K⁺ decresceram em profundidade em todos os sistemas avaliados. Isso pode ser devido ao maior aporte de matéria orgânica ocorrer em superfície, à ausência de revolvimento do solo e à baixa mobilidade do fósforo, promovendo maior disponibilidade desses nutrientes em superfície (FALLEIRO et al., 2003).

Na profundidade 0-0,05 m, o valor de T obtido no sistema FN (30,66 cmol_c dm⁻³) foi superior aos valores encontrados nas áreas cultivadas com café consorciado e a pleno sol (19,72 e 23,00 cmol_c dm⁻³, respectivamente) (Tabela 2, C1). Esse comportamento destaca a importância da matéria orgânica como fração de maior contribuição na capacidade de troca de cátions dos Latossolos. A saturação por bases nos cultivos de café foi superior à encontrada no solo sob floresta, na profundidade de 0-0,05 m, indicado em C1. Isso pode ser explicado pelo efeito da calagem e adubação no solo, sob os cultivos de café.

O sistema FN apresentou menor densidade, em ambas as profundidades (Tabela 2, C1). Isso ocorreu em razão da adição de carbono por maior diversidade de material vegetal. Os sistemas CC e CS conferiram aumento na densidade do solo, possivelmente em função do manejo adotado tendo como referencial a floresta natural. Esses resultados corroboram com os resultados obtidos por demais autores (ROSA et al., 2003; SILVA et al., 2011).

3.3 Carbono orgânico total, nitrogênio total e relação COT/NT do solo

Os teores de COT e NT e o estoque de COT encontrados na floresta, na profundidade de 0-0,05 m, foram superiores aos sistemas cafeeiros (Tabela 3, C1).

Segundo Mafra et al. (2008), a deposição de material orgânico proveniente, principalmente, da serrapilheira é responsável pelo acúmulo de carbono na superfície do solo à medida que vai sendo humificada. Igualmente, nota-se que a exposição do solo à ação do clima aumentou a susceptibilidade da oxidação do carbono do solo submetido aos cultivos de café. Em razão disso,

após a derrubada da floresta, os sistemas CC e CS apresentaram redução dos teores e estoques de COT devido à redução da quantidade de resíduos orgânicos aportados sobre o solo e pelo aumento da atividade da microbiota do solo, promovido por melhores condições do meio (FONTANA et al., 2011).

O resultado de teor de COT encontrado no sistema FN (61,09 g kg⁻¹) foi superior ao obtido por Mafra et al. (2008), que avaliaram o COT e atributos químicos do solo em áreas florestais e verificaram teor de carbono igual a 56 g kg⁻¹, na profundidade de 0-0,05 m, no sistema mata nativa, em relação aos sistemas : campo nativo, floresta de pinus com 12 anos de idade, floresta de pinus com 20 anos de idade e reflorestamento de araucária com 18 anos de idade.

É importante ressaltar que, apesar da grande quantidade de material orgânico aportado no solo sob o café consorciado (em quatro anos de cultivo se pode colher três ou mais cachos e retornar três pseudocaules. Se: 60 plantas x 3 pseudocaules x (±) 80 kg por pseudocaul = 14,4 toneladas em 2000 m² ou 72 t/ha de massa verde e mais ou menos 7,2 t/ha de matéria seca), o teor de COT não atingiu o nível encontrado no sistema FN na profundidade 0-0,05 m (Tabela 3, C1), e também, não apresentou diferença significativa comparado ao sistema CS, em ambas as profundidades avaliadas (Tabela 3, C2). Isso indica que os restos culturais do café consorciado não estão retornando ao sistema, em razão da retirada dos pseudocaules, por ocasião da colheita dos cachos.

A floresta nativa apresentou teor e estoque de NT superior aos sistemas de café na profundidade de 0,05-0,10 m (Tabela 3, C1). Segundo Braghirolli et al. (2012), a maior quantidade de espécies vegetais fixadoras de N atmosférico e a maior simbiose entre plantas, bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos presentes na floresta, permitem maior incorporação de C e N no solo e, conseqüentemente, maior eficiência na absorção de nutrientes pelas plantas. Em contrapartida, o revolvimento do solo e as extrações e perdas de nutrientes inerentes dos agroecossistemas conduzem ao declínio do estoque de N orgânico ao longo do tempo, que por sua vez conduzem ao declínio de carbono orgânico até que novo equilíbrio seja atingido (NUNES et al., 2011; WEBER; MIELNICZUK, 2009).

Os sistemas cultivados com café apresentaram relação COT/NT superior à floresta nativa na profundidade de 0,05-0,10 m (Tabela 3, C1).

TABELA 3 - Médias e contrastes médios dos teores e estoques de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e relação carbono orgânico total e nitrogênio total (COT/NT) nas profundidades de 0–0,05 e 0,05–0,10 m de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob os sistemas FN (floresta nativa), CC (café consorciado) e CS (café a pleno sol).

Sistemas	COT	NT	COT	NT	Relação COT/NT
	----- g kg ⁻¹ -----		----- Mg ha ⁻¹ -----		
----- Profundidade 0-0,05 m -----					
FN	61,09	2,84	28,46	1,33	21
CC	32,87	1,64	18,56	0,93	21
CS	37,01	2,24	21,38	1,27	19
----- Profundidade 0,05-0,10 m -----					
FN	38,36	3,82	19,23	1,78	11
CC	32,22	2,03	18,88	1,19	16
CS	34,86	2,25	20,42	1,27	17
----- Profundidade 0-0,05 m -----					
Contrastes					
C ₁	26,152**	0,901*	8,491**	0,233	1,598
C ₂	-4,140	-0,598	-2,816	-0,337	1,764
----- Profundidade 0,05-0,10 m -----					
C ₁	4,820	1,682**	-0,417	0,542**	-5,224*
C ₂	-2,644	-0,222	-1,540	-0,081	-0,528

C₁ = (2FN-CC-CS); C₂ = (CC-CS); *, ** = significativo a 5% e 1%, respectivamente.

Isso indica que na floresta ocorre ciclagem mais intensa da MOS, com predomínio do processo de mineralização e aumento na liberação de N no solo, ou seja, verifica-se equilíbrio na cinética de decomposição dos resíduos orgânicos e na liberação de N e outros nutrientes, via serapilheira, no solo. Para Freitas et al. (2000), valores elevados da relação COT/NT é característica de solos tropicais, podendo esses valores ser atribuídos à alta acidez do solo, que limita a decomposição da matéria orgânica com elevada relação COT/NT.

3.4 Fracionamento químico da matéria orgânica do solo

Os teores de C-FAF, C-FAH e C-HUM foram significativamente superiores no sistema FN comparado aos sistemas cafeeiros na profundidade de 0-0,05 m (Tabela 4, C1). Ademais, o sistema FN apresentou teores de C-FAH e C-HUM superiores aos sistemas com café, na profundidade de 0,05-0,10 m (C1). Esse fato, possivelmente, está relacionado com a maior deposição de material vegetal (folhas frutos, raízes e exsudados de raízes) encontrada no solo sob floresta.

A maior proporção de carbono, nas diferentes substâncias húmicas em todos os sistemas avaliados, esteve associada à fração humina. A fração humina é considerada a fração com maior reserva de C nos solos (EBELING et al., 2011). Ainda, de acordo com Fontana et al. (2010), a humina indica presença de matéria orgânica recalcitrante e fortemente estabilizada com a parte mineral do solo, enquanto os ácidos fúlvicos correspondem à matéria orgânica proveniente de formas lábeis, como exsudados, que são mais facilmente humificadas.

O café a pleno sol apresentou teores de C-FAF e C-FAH superiores ao sistema consorciado, em ambas as profundidades avaliadas (Tabela 4, C2). Esse comportamento, possivelmente, está associado à posição íngreme do sistema CC, que sugere maior exposição à ação da água da chuva, intensificando a perda de nutrientes por transporte superficial, bem como a redução da matéria orgânica depositada sobre o solo.

A relação C-FAH/C-FAF indica a mobilidade do carbono no solo (LOSS et al., 2004). Não houve diferença entre os sistemas para essa variável nas profundidades estudadas.

TABELA 4 - Médias e contrastes médios dos teores de carbono nas frações húmicas e relações C-FAH/C-FAF e C-HUM/(C-FAF+C-FAH) nas profundidades de 0-0,05 e 0,05-0,10 m de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob os sistemas FN (floresta nativa), CC (café consorciado) e CS (café a pleno sol).

Sistema	C-FAF	C-FAH	C-HUM	C-FAH/C-FAF	C-HUM/ (C-FAF+C-FAH)
----- g Kg ⁻¹ -----					
----- Profundidade 0-0,05 m -----					
FN	6,84	8,99	36,62	1,35	2,32
CC	3,76	4,52	21,06	1,21	2,59
CS	6,30	6,83	18,88	1,08	1,44
----- Profundidade 0,05-0,10 m -----					
FN	5,51	7,42	22,71	1,42	1,75
CC	4,37	4,80	19,18	1,14	2,16
CS	6,13	7,03	17,04	1,14	1,31
----- Profundidade 0-0,05 m -----					
Contrastes					
C1	1,803**	3,320**	16,650**	0,201	0,304
C2	-2,538**	-2,311**	2,186	0,132	1,150**
----- Profundidade 0,05-0,10 m -----					
C1	0,262	1,507**	4,605*	0,280	0,011
C2	-1,760**	-2,231**	2,140	-0,003	0,853**

C-FAF: carbono da fração ácidos fúlvicos, C-FAH: carbono da fração ácidos húmicos, C-HUM: carbono da fração húmica. C1 = (2FN-CC-CS); C2 = (CC-CS); *, ** = significativo a 5% e 1%, respectivamente.

Todos os sistemas, nas duas profundidades, apresentaram uma relação C-FAH/C-FAF superior a 1, revelando maior teor de C-FAH. Relações maiores que 1,0 podem ser explicadas por condições de solo e clima, em que os processos de polimerização e condensação são favoráveis ao aumento da relação (EBELING et al., 2011).

A relação C-HUM/(C-FAF+C-FAH) indica a estabilidade estrutural da MOS (ARAÚJO et al., 2011). A floresta nativa não apresentou diferença significativa em relação aos cultivos de café nas profundidades estudadas (Tabela 4, C1). Isso indica que as baixas temperaturas da região e acidez do solo, possivelmente, estariam inibindo a atividade dos microrganismos e favorecendo menor taxa de decomposição do material vegetal aportado sobre o solo.

As fortes restrições de fertilidade nos solos também explicam o acúmulo de matéria orgânica pouco transformada (MIRANDA; CANELLAS; NASCIMENTO, 2007).

O CC apresentou relação C-HUM/(C-FAF+C-FAH) superior ao CS, em ambas as profundidades.

Isso pode ser atribuído ao menor aporte orgânico em razão da remoção, por lavagem da chuva, de matéria orgânica mais lábil e redução intensa da MOS no sistema CC, onde os compostos lábeis são removidos. Isso indica que, no solo sob o cultivo de café consorciado há menor ciclagem orgânica, e conseqüentemente de nutrientes.

4. Análise multivariada de agrupamento

Em relação aos sistemas nas profundidades estudadas (0-0,05 e 0,05-0,10 m) observa-se que o grupo formado por CC (0-0,05 e 0,05-0,10 m) e CS em 0-0,05 m apresenta semelhança entre os sistemas igual e superior a 23% (Figura 1). Enquanto que o sistema FN na profundidade de 0-0,05 m apresentou diferença de 36% em relação aos demais.

A dissimilaridade do sistema CC na profundidade de 0-0,05 m com a FN nessa mesma profundidade e a similaridade do CC com o CS na profundidade de 0-0,05 m permite inferir que o consórcio de café com citros e banana não proporcionou melhoria na fertilidade do solo, tampouco promoveu adição de carbono no solo frente às variações edafoclimáticas na área de estudo.

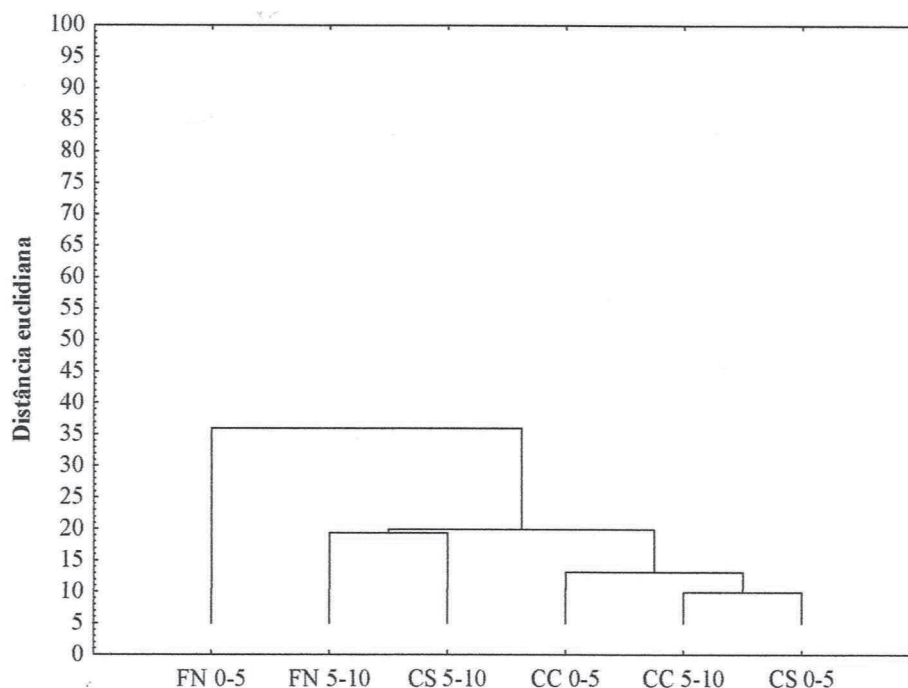


FIGURA 1 - Dendrograma apresentando as distâncias de ligação entre os sistemas nas profundidades de 0-0,05 m e 0,05-0,10 m. FN = floresta nativa; CC = café consorciado; CS = café a pleno sol.

Suporta essa hipótese o fato das características químicas do solo (pH, Ca^{2+} , K^+ , SB, T) sob o CC ser semelhante ao CS na profundidade de 0-0,05 m (Tabela 2, C2), assim como o teor e estoque de COT e o teor de C nas frações húmicas do solo sob o CC não ter atingido os teores encontrados no FN na profundidade 0-0,05 m (Tabela 3 e 4, C1, respectivamente). A manutenção do solo totalmente coberto por serapilheira na floresta nativa e a maior biomassa acumulada proveniente dessa camada promoveu acúmulo de carbono e maior disponibilidade de nutrientes (P e K^+), em relação aos sistemas cafeeiros. Desta forma, observa-se que sistemas de manejo capazes de manter e, ou até mesmo incrementar o carbono orgânico no solo podem contribuir para a manutenção da capacidade produtiva dos solos e redução das perdas de gás carbônico para a atmosfera (LOSS et al., 2009).

4 CONCLUSÕES

A substituição da floresta por cultivos de café alteraram a densidade e a fertilidade do solo.

Os sistemas de café provocaram redução no teor e estoque de carbono e nitrogênio do solo.

A floresta apresentou equilíbrio na cinética de decomposição dos resíduos orgânicos e na

liberação de N e outros nutrientes (P e K^+), via serapilheira no solo.

A implantação dos agroecossistemas provocou mudanças no comportamento das substâncias húmicas, sendo que o café consorciado apresentou menor ciclagem orgânica.

5 REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, E. A. et al. Impacto da conversão floresta - pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. *Acta Amazônica*, Manaus, v. 41, n. 1, p. 103-114, mar. 2011.
- BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 7 p. (Comunicado Técnico, 16).
- BRAGHIROLI, F. L. et al. Fungos micorrízicos arbusculares na recuperação de florestas ciliares e fixação de carbono no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 733-744, maio/jun. 2012.
- CERRI, C. E. P. et al. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 64, n. 1, p. 83-99, jan./fev. 2007.

- D'ANDRÉA, A. F. 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. 179-186, fev. 2004.
- EBELING, A. G. et al. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 429-439, 2008.
- _____. Substâncias húmicas e relação com atributos edáficos. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p. 157-165, 2011.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- _____. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.
- FALLEIRO, R. M. et al. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1097-1104, dez. 2003.
- FERRÃO, R. G. et al. Estado da arte da cafeicultura no Espírito Santo. In: TOMAZ, M. A. et al. (Ed.). **Seminário para a sustentabilidade da cafeicultura**. Alegre: CCAUFES, 2008. p. 27-48.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises estatísticas e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 36-41, 2008.
- FONTANA, A. et al. Avaliação dos compartimentos da matéria orgânica em área de Mata Atlântica. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 3, p. 545-550, jul./set. 2011.
- _____. Caracterização de substâncias húmicas da camada superficial do solo sob diferentes coberturas vegetais. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 22, n. 1, p. 49-56, jan./mar. 2010.
- FREITAS, P. L. et al. Nível e natureza do estoque orgânico de latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 157-170, jan. 2000.
- INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. **Marechal Floriano: planejamento e programação de ações 2011**. Vitória: SEAG/PROATER, 2011. 23 p. Disponível em: <http://www.incaper.es.gov.br/proater/municipios/Centro_cerrano/Marechal_Floriano.pdf>. Acesso em: 8 maio 2012.
- LOSS, A. et al. Atributos químicos e físicos de solos de tabuleiros sob diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 19, n. 2, p. 150-162, abr./jun. 2007.
- _____. Caracterização da matéria orgânica sob diferentes sistemas de manejo agrícola e cobertura vegetal em solos de tabuleiro, no estado do Rio de Janeiro. **Agronomia**, Seropédica, v. 38, n. 2, p. 47-50, 2004.
- _____. Frações orgânicas do solo em áreas sob manejo agroecológico em Capivari, Duque de Caxias, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 4, n. 3, p. 245- 251, jul./set. 2009.
- MAFRA, A. L. et al. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 217-224, mar./abr. 2008.
- MARIN, A. M. P. **Impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo**. 2002. 83 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.
- MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa, MG: UFV, 2005. 107 p.
- MIRANDA, C. C.; CANELLAS, L. P.; NASCIMENTO, M. T. Caracterização da matéria orgânica do solo em fragmentos de mata atlântica e em plantios abandonados de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 905-916, set./out. 2007.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-550.
- NUNES, R. S. et al. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo de cerrado com a sucessão soja-milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1407-1419, jul./ago. 2011.
- ROSA, M. E. C. et al. Formas de carbono em latossolo vermelho eutroférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 911-923, 2003.
- SILVA, D. C. et al. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa. **Revista de Estudos Ambientais**, Blumenau, v. 13, n. 1, p. 77-86 jan./jun. 2011.

- SILVA, E. D. **Estudo climático e morfológico dos municípios da região serrana do estado do Espírito Santo**. 2005. 87 f. Monografia (Graduação em Geografia) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.
- SILVA, E. D.; SANTOS, A. R. S.; SILVA, K. G. Estudo morfológico e climático dos municípios da região serrana do estado do Espírito Santo. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 12, n. 39, p. 94-103, set. 2011.
- SILVA, F. C. et al. Métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo. In: SILVA, F. C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2009. p. 105-190.
- SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.
- SOUSA, D. M. G. et al. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.
- SOUZA, J. L. de; 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, jan./abr. 2012.
- SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. L. et al. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: Soil Science Society American, 1996. p. 1018-1020. (Soil Science Society American Book Series, 5).
- WEBER, M. A.; MIELNICZUK, J. Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 429-437, mar./abr. 2009.