



FRANCIANE DINIZ COGO

**CARBONO ORGÂNICO EM LATOSSOLO SOB
LAVOURA CAFEIEIRA E OUTROS USOS DA
TERRA NO SUL DE MG**

LAVRAS - MG

2012

FRANCIANE DINIZ COGO

**CARBONO ORGÂNICO EM LATOSSOLO SOB LAVOURA CAFEIEIRA
E OUTROS USOS DA TERRA NO SUL DE MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de Concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Yuri Lopes Zinn

LAVRAS - MG

2012

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Cogo, Franciane Diniz.

Carbono orgânico em Latossolo sob lavoura cafeeira e outros
usos da terra no sul de MG / Franciane Diniz Cogo. – Lavras :
UFLA, 2012.

85 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Yuri Lopes Zinn.

Bibliografia.

1. Manejo do solo. 2. Matéria orgânica. 3. *Coffea arabica* L. 4.
Macadâmia. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.41

FRANCIANE DINIZ COGO

**CARBONO ORGÂNICO EM LATOSSOLO SOB LAVOURA CAFEIEIRA
E OUTROS USOS DA TERRA NO SUL DE MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de Concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 17 de julho de 2012.

Dr. Geraldo César de Oliveira UFLA

Dr. Rodrigo Luz da Cunha EPAMIG

Dr. Yuri Lopes Zinn
Orientador

LAVRAS - MG

2012

Aos meus pais, Ilma de Souza Diniz Cogo e Homero Cogo, pelos ensinamentos e infinita bondade.

Às minhas irmãs Flávia e Fernanda, pelo carinho e apoio constante.

DEDICO!

À minha amiga e professora , Katia Alves Campos, e professor Sérgio Luiz Santana de Almeida pelo amor, compreensão e companheirismo.

À minha amiga Natana, pelo grande incentivo durante esta jornada.

OFEREÇO!

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciência do Solo (DCS), pela oportunidade concedida para realização do Mestrado.

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos. À FAPEMIG (Projeto CAG/APQ 01352/09) pelo apoio financeiro a esta pesquisa.

Aos professores do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, pelos ensinamentos transmitidos, colaboração e harmoniosa convivência.

Ao professor Yuri Lopes Zinn, pela orientação, seus ensinamentos e apoio na realização deste trabalho, bem como pela obtenção e interpretação das micrografias de seções delgadas.

Ao professor Carlos Alberto Silva, pela valiosa participação e orientação na realização deste trabalho.

À professora Dra. Fátima Maria de Souza Moreira, Coordenadora da Pós-Graduação do DCS e a Dirce, secretária da Coordenação, pelo apoio constante.

Ao Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães e Dr. Rodrigo Luz da Cunha da EPAMIG, pela disponibilização da Fazenda Experimental e sugestões para o trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo.

Aos colegas, Adriano Ribeiro Guerra, Marla Alessandra Araújo e Alessandro Vítor Pedroso pela ajuda na condução do trabalho.

E a todos aqueles que, diretamente ou indiretamente, contribuíram para a minha superação profissional e pessoal.

AUTOBIOGRAFIA

Junho, 04, 1984..... Varginha – Minas Gerais, Brasil
2006..... Tecnologia em Cafeicultura, Instituto
Federal do Sul de Minas Gerais
2010..... Mestrado em Ciência do Solo,
Universidade Federal de Lavras

PUBLICAÇÕES

Revista Semina: Ciências Agrárias Estoques de carbono orgânico do solo em
(No prelo) cafezais sob diferentes sistemas de
controle de plantas invasoras.

RESUMO

Embora seja uma cultura perene com baixo revolvimento de solo, a lavoura cafeeira e seus diferentes sistemas de manejo intensivo podem comprometer a qualidade do solo. Dentre estes sistemas, destaca-se o agroflorestal, diferenciado pela maior geração de resíduos orgânicos sobre o solo, que podem e influenciar a dinâmica e o estoque do carbono orgânico do solo e ocasionar o seu aumento. Este estudo objetivou avaliar os atributos físicos e químicos do solo, os teores, estoques e partição do tamanho do COS em cafezal convencional e com macadâmia, em comparação com outros usos da terra, no sul de Minas Gerais. O experimento foi instalado na Fazenda Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado de Minas Gerais, localizada no município de São Sebastião do Paraíso, à altitude média de 865 metros, em Latossolo Vermelho distroférico, argiloso. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, com 4 tratamentos em 3 repetições. Os tratamentos constituíram-se de cafezal convencional e com macadâmia, milho em plantio direto por dez anos em antiga lavoura de café convencional, e mata nativa secundária que cresceu em área de lavoura cafeeira abandonada há 30 anos. As amostragens foram realizadas na linha e entrelinha do cafezal, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, sendo coletadas amostras para análises das propriedades físicas e químicas do solo e COS. Os solos utilizados para a cafeicultura sob cafezal com macadâmia apresentaram tendência a melhor qualidade física do solo, mas maior acidez do solo do que solo sob cafezal convencional. Os teores e os estoques de carbono orgânico no solo não apresentaram diferença significativa entre os sistemas de produção cafeeira e suas sucessões para as profundidades analisadas, o que sugere que os sistemas cafeeiros estudados e a suas sucessões podem ser agroecossistemas conservadores de carbono orgânico do solo e de qualidade do solo.

Palavras-chave: Manejo do solo. Matéria orgânica do solo. *Coffea arabica* L. *Macadamia integrifolia* Maiden & Betche.

ABSTRACT

Coffee plantations are perennial crops requiring relatively few soil tillage operations. However, coffee plantations and their intensive management systems may negatively affect soil quality. Among these systems, agroforestry is marked by higher production of organic residues over the soil, which can influence soil organic carbon (SOC) dynamics and stocks, leading to its increase. This study aimed to evaluate soil physical and chemical properties, as well as SOC contents, stocks and particle-size partition in conventional and agroforestry (with macadamia trees) coffee stands, in comparison with other land use systems in southern Minas Gerais. Sampling were conducted at the Experimental Farm of the Agricultural Research Corporation of the State of Minas Gerais (Epamig), in São Sebastião do Paraíso, at an average elevation of 865 meters, on a clayey Oxisol. The experimental design was completely randomized with 4 treatments and 3 replications. The treatments consisted of conventional and agroforestry coffee stands, no-till corn for 10 years, and a 30-yrs-old secondary forest, all established on land previously occupied with conventional coffee plantations. Within coffee stands, samples were taken on planting rows and interrows. In all plots, deformed and undeformed soil samples were taken at 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm. Soils under agroforestry coffee stands showed a trend to improved soil physical quality, but greater soil acidity than soils under conventional coffee. SOC contents and stocks showed no significant difference between all land use systems for the studied depth, suggesting that these agrosystems have a similarly high ability to preserve SOC levels and soil quality.

Keywords: Soil management. Soil organic matter. *Coffea arabica* L. *Macadamia integrifolia* Maiden & Betche.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Vista geral da área de estudo, na Fazenda da EPAMIG em S. S. Paraíso	30
Figura 2	Croquis da parcela experimental do estudo, para o tratamento café consorciado com macadâmia	31
Figura 3	Difratogramas de raios-X da fração argila do solo sob mata secundária.....	44
Figura 4	Difratogramas de raios-X da fração areia do solo sob mata nativa ..	45
Figura 5	Imagens digitalizadas das seções delgadas de solos (profundidade 0-5 cm).....	49
Figura 6	Seção delgada de solo sob milho em plantio direto (a), mata secundária (b)	51
Figura 7	Seção delgada de solo sob cafezais (c e d).	52
Figura 8	Valores médios de estabilidade de agregados em água (EAA) em função dos diferentes sistemas de usos da terra para posição de amostragem linha, para as profundidades 0-5, 5-10 cm.	55
Figura 9	Valores médios de estabilidade de agregados em água (EAA) em função dos diferentes sistemas de usos da terra para posição de amostragem linha, para as profundidades 10-20 e 20-40 cm.	56
Figura 10	Valores médios para o diâmetro médio ponderado e diâmetro médio geométrico em função dos diferentes sistemas de uso da terra para as diferentes posições de amostragem.....	57
Figura 11	Matéria orgânica particulada em diferentes sistemas de uso da terra e posições de amostragem.....	72
Figura 12	Valores médios para estoque de COS (Mg ha^{-1}) em função dos diferentes sistemas de uso da terra.	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Dados climatológicos da região de estudo	28
Tabela 2	Relação de tratamentos utilizados e posição de amostragem.....	29
Tabela 3	Histórico dos tratamentos utilizados	30
Tabela 4	Histórico dos tratamentos culturais sob cafeeiro	33
Tabela 5	Esqueleto de “ANOVA” das análises realizadas entre os tratamentos em cada profundidade.....	41
Tabela 6	Resultado da análise granulométrica do solo sob vegetação nativa secundária	42
Tabela 7	Níveis de significância da ANOVA relativos à densidade do solo (Ds), volume total de poros (VTP), estabilidade de agregados em água (EAA), diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP).....	47
Tabela 8	Valores médios de densidade do solo e volume total de poros em função dos diferentes sistemas de uso da terra e posições de amostragem	48
Tabela 9	Níveis de significância para a ANOVA para as propriedades químicas do solo.....	58
Tabela 10	Valores médios para os componentes da acidez do solo e P-rem em função dos diferentes sistemas de uso da terra e posições de amostragem	59
Tabela 11	Valores médios para K, Ca, Mg, P e S do solo em função dos diferentes sistemas de usos da terra e posições de amostragem....	63
Tabela 12	Valores médios para SB, t, T e V solo em função dos diferentes sistemas de uso da terra e posições de amostragem	65
Tabela 13	Níveis de significância da ANOVA para carbono orgânico do solo	67

Tabela 14	Valores médios para carbono orgânico do solo e carbono orgânico da fração areia (matéria orgânica particulada) em função dos diferentes sistemas de usos da terra e posições de amostragem	68
Tabela 15	Valores médios para a serapilheira em função dos diferentes sistemas de uso da terra e posições de amostragem.	71

LISTA DE ABREVIATURAS

CM	Cafezal com macadâmia
COS	Carbono orgânico do solo
CS	Cafezal convencional
CTC	Capacidade de troca de cátions
DMG	Diâmetro médio geométrico
DMP	Diâmetro médio ponderado
Dp	Densidade de partícula
Ds	Densidade do solo
EAA	Estabilidade de agregados em água
EL	Entrelinha
L	Linha
COP	Carbono orgânico particulado
MS	Mata secundária
PD	Plantio direto
TFSA	Terra fina seca ao ar
OIC	Órgão Internacional do Café
CECAFE	Conselho dos Exportadores de Café do Brasil
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
EPAMIG	Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado de Minas Gerais
CFSMG	Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Cafeicultura	17
2.2	Cafezais em cultivo convencional e agroflorestal	18
2.3	Propriedades químicas e físicas do solo sob cafezais	21
2.4	Carbono orgânico do solo	22
3	JUSTIFICATIVA	25
4	OBJETIVOS	26
5	HIPÓTESES	27
6	MATERIAL E MÉTODOS	28
6.1	Caracterização da área de amostragem	28
6.2	Delineamento experimental	29
6.3	Variáveis Analisadas	34
6.3.1	Textura do solo	34
6.3.2	Mineralogia do solo	34
6.3.3	Micromorfologia do solo	35
6.3.4	Densidade do solo	35
6.3.5	Estabilidade de agregados em água	36
6.3.6	Volume total de poros (VTP)	36
6.3.7	pH em água	36
6.3.8	Fósforo disponível	37
6.3.9	Potássio disponível	37
6.3.10	Cálcio e magnésio trocáveis	37
6.3.11	H+Al (acidez pH-dependente)	38
6.3.12	Enxofre	38
6.3.13	Fósforo remanescente	38
6.3.14	Indicadores de fertilidade do solo	39
6.3.15	Serapilheira	39
6.3.16	Carbono orgânico do solo	39
6.3.17	Carbono da matéria orgânica particulada	40
6.3.18	Análises estatísticas	41
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
7.1	Caracterização do solo	42
7.2	Efeito do manejo nas propriedades físicas do solo	46
7.2.1	Densidade do solo e volume total do solo	47
7.2.2	Estabilidade de agregados em água, diâmetro médio geométrico e ponderado	53
7.3	Efeitos do manejo nas propriedades químicas do solo	58
7.3.1	Acidez do solo e seus indicadores (pH, H+Al, Al, m)	58

7.3.2	Nutrientes do solo: K, Ca, Mg, P e S.....	62
7.4	Carbono orgânico do solo	66
7.4.1	Carbono orgânico do solo e da fração areia (matéria orgânica particulada).....	67
8	CONCLUSÃO	75
	REFERÊNCIAS	76

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura é uma das principais atividades agrícolas do Brasil, e atualmente ocupa uma área em torno de 2.280 milhões hectares (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2012). Sua importância econômica deve-se tanto pela relevante contribuição para o PIB (produto interno bruto), como pela geração de empregos e o aumento na produtividade decorrente do desenvolvimento de novas tecnologias. Dentre as mais de 100 espécies do gênero *Coffea* identificadas, a espécie *Coffea arabica* L. é a mais cultivada mundialmente (DAVIS et al., 2006). Para a sua produção, podem ser empregados diversos sistemas de manejo, tais como os convencionais e os agroflorestais, que implicam consórcio com culturas anuais na entrelinhas ou plantio de árvores de uma ou mais espécies. Embora a cafeicultura seja um sistema de uso da terra com pouco revolvimento do solo se comparado a culturas anuais, seu impacto ambiental é considerável, principalmente no que se refere ao uso de defensivos agrícolas e à degradação física do solo. Além disso, estudos sobre os efeitos da cafeicultura em relação à emissão de gases de efeito estufa (CO_2 , CH_4 , N_2O) ainda são incipientes.

O carbono orgânico do solo (COS) é reconhecido como um indicador eficiente da qualidade do solo, visto que afeta vários de seus atributos químicos, físicos e biológicos, como a fertilidade, estrutura, retenção de água e diversidade biológica, e, portanto, está diretamente relacionado à produtividade das culturas. O uso de sistemas de manejo agrícola intensivos, como a cafeicultura, pode envolver o revolvimento do solo e erosão, e intensificar os processos microbianos de decomposição do COS e emissão de CO_2 para a atmosfera. A realização de práticas culturais que elevem o aporte de resíduos orgânicos e diminuam o preparo mecânico do solo pode ser decisiva para a manutenção ou sequestro do COS, e conseqüente melhoria da qualidade do solo. Mesmo em

cafezais convencionais, controles de plantas daninhas sem revolvimento do solo com cobertura do solo podem manter os estoques de COS em níveis idênticos aos de florestas nativas (COGO et al., no prelo).

Diante da importância da atividade cafeeira em solos tropicais e impactos ambientais gerados por esta atividade, o objetivo desta pesquisa foi determinar os atributos físicos, químicos do solo e teores, estoques e partição do tamanho de COS em cafezal convencional e com macadâmia, em comparação com sistema de plantio direto de milho e uma mata secundária de 30 anos, no sul de Minas Gerais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cafeicultura

Existem mais de 100 espécies do gênero *Coffea*, mas apenas as espécies *Coffea arabica* L. e *C. canephora* Pierre são utilizadas para a produção comercial nas regiões tropicais e subtropicais (DAVIS et al., 2006). A espécie *C. arabica* representa 70 % da produção nacional (CONAB, 2012). No ano agrícola 2010/2011, a exportação mundial de café foi de 104,5 milhões de sacas, o maior volume que se tem registro (ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ – OIC, 2012). A amplitude deste setor afeta de forma positiva o número de empregos, gerando direta e indiretamente oito milhões de vagas de empregos no Brasil (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA, 2012).

O Brasil responde por 33% da produção mundial de café, sendo o maior produtor, exportador e consumidor entre os países produtores (CONSELHO DOS EXPORTADORES DE CAFÉ DO BRASIL – CECAFE, 2011). A área ocupada pela cultura é de 2,0 milhões de hectares, correspondendo a 4% do território nacional ocupado pela agricultura, e a produção estimada para 2011/2012 gira em torno de 48,9 milhões de sacas de 60 quilos. O Estado de Minas Gerais lidera a produção de café arábica, pois 67,9% dos cafezais correspondem a esta espécie, concentrados em uma área de 1,0 milhão de hectares, cuja produção foi estimada em 25.253 mil sacas de 60 kg de café beneficiado para a safra 2011/2012 (CONAB, 2012), o que corresponde a cerca de 52% da produção nacional.

Nos últimos anos, a área plantada com cafezais vem diminuindo e a produção aumentando, fato justificado pelo uso de novas tecnologias, tais como

o aumento de número de plantas por área, e a maior disponibilidade de crédito para investimento em insumos e controle de pragas e doenças.

2.2 Cafezais em cultivo convencional e agroflorestal

O sistema convencional de cultivo do cafeeiro é marcado pela simplificação do agroecossistema à monocultura e ao uso intenso de insumos químicos, tais como fertilizantes minerais e defensivos utilizados no controle de pragas e doenças. Este manejo aumenta o desequilíbrio ecológico e impede a ação de auto-regulação de ervas daninhas, pragas e doenças, o que pode reduzir a resiliência dos cafezais diante das adversidades climáticas e fitossanitárias.

Diante dos incrementos crescentes na produção de alimentos decorrentes do avanço científico e inovações tecnológicas, a monocultura cafeeira também se expandiu linearmente. Porém, impactos ambientais comuns à agricultura industrial, tais como redução da fertilidade e da matéria orgânica do solo, lixiviação de nutrientes, deterioração e erosão dos solos, contaminação dos recursos hídricos, diminuição da biodiversidade regional e desequilíbrio no ciclo do nitrogênio e carbono, ocorrem também na cafeicultura.

O sistema agroflorestal abrange 10% da área cafeeira mundial (RICE, 2011). Este sistema difere do convencional por implantar árvores de uma ou mais espécies na linha de plantio do cafezal, proporcionando a geração de renda por meio da diversificação da produção. São várias as espécies arbóreas utilizadas nas lavouras cafeeiras, tais como a macadâmia (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche), o cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roemer) e a grevílea (*Grevillea robusta* A.Cunn.), escolha vinculada, principalmente, ao crescimento rápido e posterior utilização da madeira ou frutos (NATH et al., 2011), visando o aumento da renda da propriedade.

Ao comparar a renda do sistema cafeeiro agroflorestal e convencional, por 12 meses em 60 propriedades familiares localizadas em 20 municípios da Zona da Mata de Minas Gerais, Souza, Graaff e Pulleman (2011) constataram 43% de aumento na renda quando utilizado o sistema agroflorestal. Outro estudo realizado com 185 produtores no Peru e 153 na Guatemala, mostrou que o consumo e a venda de outros produtos advindos desse sistema, como lenha ou madeira, representam de um quinto a um terço da renda total da propriedade (RICE, 2008).

Além disso, o sistema agroflorestal na cafeicultura proporcionam, a menor flutuação bianual da produção e maior controle de plantas invasoras (ROMERO-ALVARADO et al., 2002). O sistema sombreado, implantado em Chiapas, México, com ingá (*Inga latibracteata* Harms) reduziu a emergência de plantas daninhas em relação ao monocultivo (ROMERO-ALVARADO et al., 2002). Ricci, Virgílio-Filho e Costa (2008) compararam vários sistemas agroflorestais (*Erythrina poeppigiana* Walpers; *Terminalia amazonia* Gmel) com cafeeiro convencional, em Turrialba, na Costa Rica, verificando menor ocorrência de plantas invasoras nos sistemas agroflorestais, decorrente do aumento da cobertura por serapilheira (camada de folhas e galhos mortos sobre o solo).

A arborização de cafeeiros com bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham) comparada ao plantio convencional, em Londrina, Paraná, proporcionou a redução na temperatura local (LEAL et al., 2005). Isto ocorre porque a sombra proporciona moderação na variação de temperatura. Estudos realizados em Viçosa, Minas Gerais, durante dois anos comparando plantas de café *Coffea arabica* L. cultivadas em agrofloresta com frutíferas e espécies nativas ou cafeeiro convencional, observaram uma redução na temperatura máxima diurna (CAMPANHA et al., 2004). O cultivo de cafeeiro Conilon (*C. canephora* Pierre) arborizado com nogueira macadâmia, em São Mateus, Espírito Santo,

reduziu em média a temperatura máxima do ar em 2,2°C, comparando ao cultivo a pleno sol (PEZZOPANE et al., 2010). O sistema agroflorestal em cafeeiro realizado no vale central da Costa Rica com ingá (*Inga densiflora* Benth), comparado à monocultura, promoveu a redução de 5 ° C na temperatura máxima durante o dia, e a noite uma diminuição de 0,5° C (SILES; HARMAND; VAAST, 2010).

O microclima promovido pelo sombreamento beneficia a conservação da biodiversidade local (CORREIA et al., 2010; PERFECTO; VANDERMEER, 2008; RICHTER et al., 2007). As comunidades de formigas predadoras, por exemplo, são beneficiadas com melhores condições ambientais para o seu desenvolvimento, e as mesmas contribuem com o cafeeiro por atuarem como controle biológico de algumas pragas (PHILPOTT, 2005). O cafezal em sistema agroflorestal pode mitigar alguns prejuízos causados pela agricultura, principalmente para alguns grupos funcionais como os polinizadores, e inimigos naturais de pragas (KLEIN, et al., 2002), bem como a redução de doenças e o uso de controles químicos (BEDIMO et al., 2008).

Ainda, efeitos diretos sobre o solo são gerados pelos sistemas agroflorestais, pois as condições de menor temperatura aliadas ao crescimento das raízes das árvores proporcionam melhor drenagem e aeração, e os resíduos de galhos e folhas contribuem para lenta liberação de nutrientes e o aumento dos teores de COS (MENDONÇA; STOTT, 2003). O sistema agroflorestal de *Albizia adianthifolia* Schumach com cafeeiro (*C. canephora*) no sudoeste do Togo, África, proporcionou melhor ciclagem de nutrientes (N, K e Ca) e também proporcionou aumento de 20% no estoque de COS a 40 cm de profundidade, comparado ao sistema convencional (DOSSA et al., 2008).

Estudos realizados no vale central da Costa Rica, comparando um sistema de convencional com sistema com Inga (*Inga densiflora*), após três anos de monitoramento, permitiram concluir que o sistema agroflorestal promoveu

menor escoamento superficial da água, infiltração mais elevada e ainda uma maior interceptação de chuva e transpiração de cafeeiros (CANNAVO et al., 2011). Contudo, os mesmos autores revelam que dentro do sistema agroflorestal pode ocorrer competição por água entre os cafeeiros e as árvores durante uma estação seca, resultando na redução da produção.

2.3 Propriedades químicas e físicas do solo sob cafezais

Sabe-se que a introdução de árvores dentro de um sistema cafeeiro pode, em alguns casos, afetar as propriedades químicas e físicas do solo (TSCHARNTKE et al., 2011), por criar um novo microclima e modificar a colonização radicular e ciclagem dos nutrientes.

Solos cultivados com cafeeiro em sistema convencional ou consorciado com ingazeiros (*Inga vera* Wild) e grevileas (*Grevilea robusta* A. Cunn), em Lavras, Minas Gerais, após 15 anos de plantio, não sofreram diferença de pH, acidez potencial, saturação de bases e teores de alumínio, magnésio, potássio, fósforo e enxofre (SALGADO et al., 2006). Romero-Alvarado et al. (2002) observaram, também para o cafeeiro sombreado com *Inga latibracteata* Harms em comparação com um sistema convencional, que não houve diferença quanto aos nutrientes no solo (N, P, K, Ca e Mg), em Jitotol, México. Em estudos realizados em Valença, RJ, comparando cafezal convencional e em cultivo com banana e *Erythrina*, observou-se também que não houve diferença entre os sistemas para o pH, P, Ca, Mg e COS (RICCI et al., 2006). Porém, pesquisas realizadas em Turrialba, Costa Rica, em agroecossistema cafeeiro com *Inga lauriana* ou a pleno sol, revelaram aumento de pH, P e K disponível no sistema agroflorestal (HAGGAR et al., 2011). Beer et al. (1998) relatam que o cafeeiro consorciado com cacau (*Theobroma cacao*) foi beneficiado pela ciclagem de

nutrientes, pela produção de até $14 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de serapilheira e de resíduos de poda, contendo até $340 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

O sistema de manejo pode influenciar distintamente as propriedades físicas do solo. A combinação de cafeeiros com árvores ajuda a reduzir a erosão hídrica, devido aos resíduos acumulados sobre o solo, que impede o aumento da velocidade de escoamento superficial (ARELLANO, 2001). Nos cafezais convencionais, existe tendência a encrostamento na superfície do solo (ARAÚJO-JUNIOR et al., 2011) o que pode em alguns casos interferir no crescimento do sistema radicular do cafeeiro (RENA; GUIMARÃES, 2000). Além disso, as forças exercidas pelas máquinas sobre o solo ocasionam a redução da macroporosidade, afetando a infiltração, retenção de água e trocas gasosas do solo.

2.4 Carbono orgânico do solo

O COS corresponde a cerca de 58% da matéria orgânica do solo, que é formada por resíduos de plantas, micro-organismos e animais, em diversas fases de decomposição (MACHADO, 2005). Parte do COS persiste por milênios, no solo enquanto outra se decompõe prontamente, o que limita a capacidade de prever as mudanças nos teores do COS e como este irá reagir às mudanças climáticas globais (SCHMIDT et al., 2011). Segundo estes autores, a estabilidade do COS não é controlada apenas pela sua estrutura molecular, mas também por controles ambientais e biológicos variáveis em cada situação.

Solos argilosos favorecem a retenção de COS (ZINN, LAL e RESCK, 2005), e quanto menor o teor de argila, maior será a relevância ou a contribuição do carbono orgânico do solo para a capacidade de troca catiônica, disponibilidade de nutrientes, agregação e retenção de água. Mesmo assim, Jagadamma e Lal (2010) relatam que a maior parte do COS está presente na

fração argila do solo, enquanto Zinn, Lal e Resck (2005) relatam que solos com textura grosseira no Brasil apresentaram maior perda de COS quando cultivados, do que em outros solos de textura mais fina. Estudos realizados com solos tropicais e subtropicais do Brasil em quatro experimentos de longa duração (11-25 anos) com base em solos de textura fina e grossa demonstram que a perda de COS (0-20 cm) é menor com textura fina, por haver uma maior resistência à mudança (DIECKOW et al., 2009).

A conversão de floresta nativa para agricultura pode provocar forte perda no estoque de COS, e o mecanismo-chave para aceleração deste processo é a erosão, que acelera a decomposição da matéria orgânica durante o transporte e deposição (VAN OOST et al., 2007). Dentre as opções para mitigar os riscos climáticos decorrentes do aumento do CO₂ atmosférico, verifica-se o uso de técnicas bióticas (LAL, 2008), tais como o sequestro de carbono, que ao mesmo tempo melhora a qualidade do solo e sustenta a produtividade da biomassa (LAL, 2004). O uso de práticas agrícolas conservacionistas implica em aumento no volume de resíduos e diminuição de perda de COS (COSTA et al., 2008; LIU et al., 2011).

Tendo em vista a cultura a ser implantada, plantas com sistema radicular profundo que apresentem uma arquitetura com maior volume de raízes poderiam ampliar de forma significativa a estabilização de COS por meio do aumento da alocação de carbono no subsolo (KELL, 2011).

O sistema agroflorestal em cafezais apresenta potencial de sequestro de COS porque as árvores promovem a maior adição de resíduos orgânicos, dos quais alguma parte é protegida dentro de agregados do solo, com melhoria de sua estabilidade (YOUKHANA; IDOL, 2011). A influência varia de acordo com a espécie escolhida e o espaçamento das árvores (TUMWEBAZE et al., 2011). Ainda, este sistema pode atuar como sumidouro de CO₂ atmosférico pela biomassa das árvores (BENAVIDES et al., 2009; SOTO-PINTO et al., 2010).

Estoques de COS em cafezal com *Eucalyptus deglupta* ou *Erythrina poeppigiana*, idade entre 4 e 10 anos em comparação com cafezais solteiros mostram tendência de aumento no armazenamento de COS com o decorrer dos anos (ÁVILA et al., 2001). Em outro experimento, Dossa et al. (2008) constataram que o estoque COS de total foi de 81 Mg ha⁻¹ no sistema sombreado com *Albizia adianthifolia* e só 23 Mg ha⁻¹ (0-20 cm) para o cafezal cultivado a céu aberto. Cogo et al. (no prelo) trabalharam com sistema cafeeiro convencional submetido a diversos sistemas de manejo de plantas invasoras com herbicida de pré-emergência, e embora perdas de até 35% tenham ocorrido em sistemas nativos com herbicida de pré-emergência, o uso de roçadora, ou a parcelas com e sem capina apresentaram o mesmo estoque de COS que a mata nativa, o que sugere que a cafeicultura convencional não necessariamente causa perdas neste atributo.

3 JUSTIFICATIVA

Os sistemas cafeeiros agroflorestais podem ser uma alternativa sustentável para minimizar os efeitos negativos causados pelo uso intensivo da terra com benefícios econômicos e ambientais. Assim, torna-se necessário estudar a implicação deste sistema nas propriedades físicas e químicas do solo, sobretudo nos teores de COS e sua partição em tamanho e profundidade.

4 OBJETIVOS

Este estudo objetivou avaliar os atributos físicos e químicos do solo, bem como os teores, estoques e partição do tamanho do COS em cafezal convencional e com macadâmia comparados com plantio direto de milho e uma mata secundária de 30 anos, no sul de Minas Gerais.

5 HIPÓTESES

O cafezal com macadâmia possui maior potencial de sequestro de COS quando comparado ao cafezal sob manejo convencional ou plantio direto.

6 MATERIAL E MÉTODOS

6.1 Caracterização da área de amostragem

A área de estudo está localizada na Fazenda Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado de Minas Gerais (EPAMIG), no município de São Sebastião do Paraíso, na região Sul (20° 55' 29" S, 47° 06' 03" W), à altitude média de 865 metros, em terreno de declividade média de 8 graus.

O clima da região classifica-se como Aw - tropical úmido com inverno frio e seco e verão chuvoso, segundo a classificação de Köppen. A precipitação pluviométrica média anual é 1.801,4 mm e a temperatura média anual de 22° C, de acordo com a tabela 1.

Tabela 1 Dados climatológicos da região de estudo

Ano	Anual Precipitação (mm)	Temperatura média Mínima °C	Temperatura média Máxima °C	Umidade média Relativa %
2006	1808,4	14,9	28,3	70,6
2007	1534,7	15,1	28,8	70,1
2008	1938,3	14,6	28,2	70,6
2009	1976,6	16,0	28,4	74,5
2010	1749,0	15,1	29,3	67,0
Média	1801,4	15,2	28,6	70,6

Obs. Dados cedidos por cortesia da EPAMIG.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, 2006), textura argilosa (Tabela 2) por Araújo- Junior et al. (2011). O solo foi desenvolvido sobre rochas do Grupo São Bento, do período Jurássico/Cretáceo, mais especificamente da

Formação da Serra Geral, composta por lavas basálticas com alternâncias de lentes e camadas areníticas (CARNEIRO, 2007).

A vegetação original era formada por floresta estacional semidecidual, transicional para Cerrado.

6.2 Delineamento experimental

Os tratamentos constituíram-se de cafezal convencional, cafezal com macadâmia, milho em plantio direto e mata secundária, todos em sucessão à lavoura cafeeira tradicional, conforme apresentado na tabela 3. Uma vista geral da área de estudo encontra-se na figura 1. O histórico de todos os tratamentos é apresentado na tabela 4. Um esquema do tratamento cafeeiro com macadâmia é apresentado na figura 2.

Tabela 2 Relação de tratamentos utilizados e posição de amostragem

Símbolo	Descrição	Posição de amostragem
CS	Cafezal convencional	Linha/Entrelinha
CM	Cafezal com macadâmia	Linha/Entrelinha
PD	Plantio direto	-
MS	Mata	-

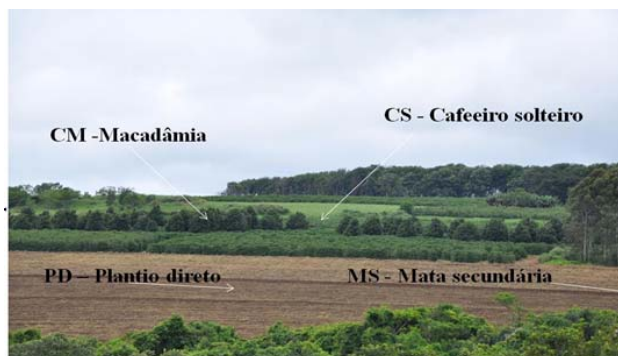


Figura 1 Vista geral da área de estudo, na Fazenda da EPAMIG em S. S. Paraíso, MG

Fonte: (Imagem por A. R. GUERRA).

Tabela 3 Histórico dos tratamentos utilizados

Tratamentos	Histórico
Mata secundária	Cresceu espontaneamente em área de lavoura cafeeira abandonada há 30 anos.
Plantio direto	Implantado há 10 anos em antiga lavoura de cafezal convencional.
Cafezal convencional	Cafezal (<i>Coffea arabica</i> L.) implantado em JAN/2000, com a cultivar Catuaí Vermelho IAC-99, em espaçamento (3,5 x 0,5 m), com uma população de 5.714 plantas ha ⁻¹ .
Cafezal com macadâmia	Idêntico ao anterior, porém com a macadâmia (<i>Macadamia integrifolia</i>) implantada a partir de JAN/2000, em espaçamento de 5 metros entre plantas, em todas as linhas de cafeeiro. Cada parcela foi composta por 11 linhas de cafeeiro com 40 plantas (Figura 2).

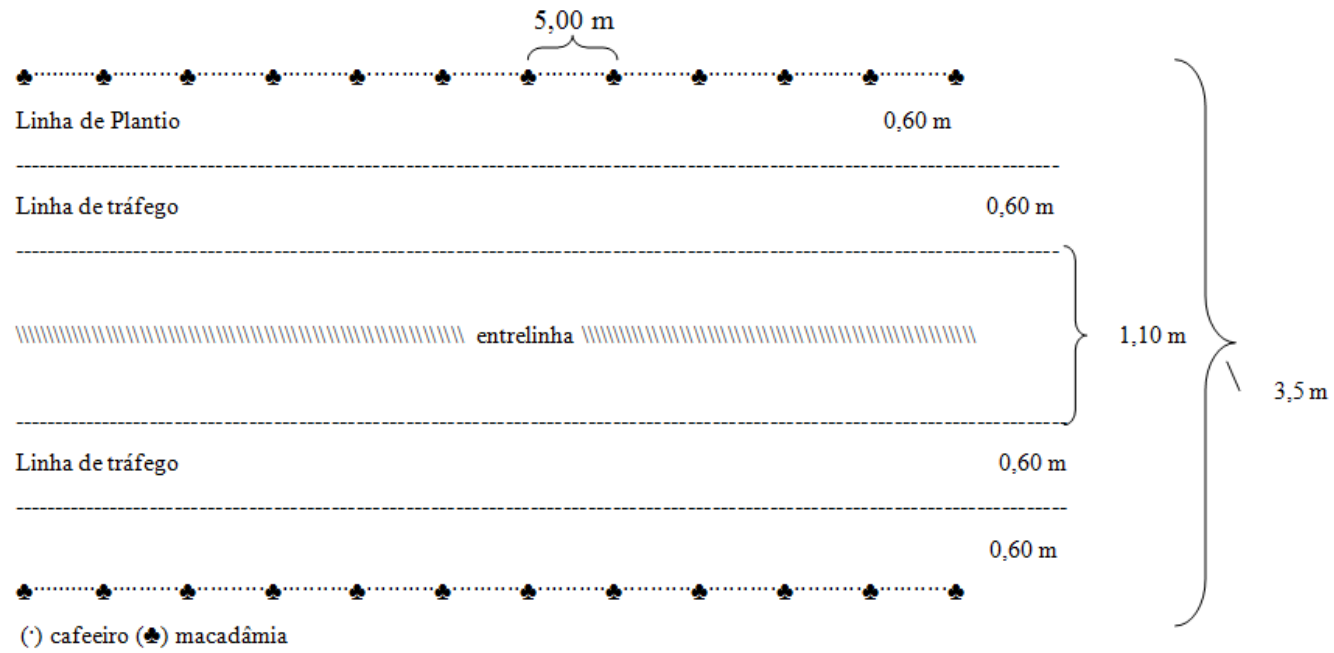


Figura 2 Croquis da parcela experimental do estudo, para o tratamento café consorciado com macadâmia

As lavouras foram conduzidas de forma convencional com as adubações aplicadas de acordo com as recomendações técnicas para Minas Gerais (GUIMARÃES et al., 1999), após calagem realizada em área total para 70% de saturação de bases, conforme apresentado na tabela 4.

Para o preparo do solo, foi empregado trator com arado de disco, seguido pela aplicação de calcário e posterior gradagem. O sulco de plantio foi aberto com um sulcador regulado para a profundidade média de 30 cm. Após a sulcagem, foram colocados no sulco os adubos, e em seguida foi feita subsolagem de três hastes para a maior homogeneização dos fertilizantes e corretivos. O resumo das atividades de adubação e demais tratamentos culturais realizadas no experimento encontra-se na tabela 4.

A macadâmia foi introduzida no mesmo ano que as plantas de café. Foram feitas covas a cada dez plantas de café (Figura 2), com adubação conforme as recomendações técnicas para Minas Gerais (GUIMARÃES et al., 1999), envolvendo duas fontes de P na cova (500 g/cova de super fosfato simples e 500 g/cova de fosfato natural), e 20 L/cova de esterco bovino curtido. Nos anos seguintes, a mesma adubação e tratamentos foram recebidos pelos cafés. No período de amostragem, em dezembro de 2010, a altura média das nozes de macadâmia era de 5,1 m.

A amostragem foi realizada nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm. O solo na linha de plantio foi amostrado à meia distância entre pés de macadâmia, i.e. a 2,50 m de distância de cada árvore. As amostras indeformadas de solo foram coletadas em trincheiras com auxílio do anel de aço Kopecky (capacidade volumétrica de 76,6 cm³) e utilizadas para determinar a densidade do solo. As amostras deformadas foram coletadas nas mesmas profundidades, com auxílio de uma espátula, e em seguida colocadas em saco plástico devidamente identificado, para as demais análises do solo.

Tabela 4 Histórico dos tratos culturais sob cafeeiro

Ano agrícola	Fase/ cultura	Preparo/ calagem/ adubação	Herbicida	Roçagem	Capina	Arruagem	Desbrota
1999/2000	Implantação	Aração, gradagem e sulcagem Calcário dolomítico 300g/cova; Super simples 250 g/cova Cloreto de potássio (K ₂ O) 35 g/cova; Gesso agrícola 150 g/m linear	1	3	-	-	-
1999/2000	Implantação	Estercos bovino 5 l/cova N 5 g/cova – 3 vezes (2, 4 e 6 meses do plantio)					
2000/2001	1º ano	N 10 g e 10 g K ₂ O – 2 vezes (9 e 12 meses após o plantio) N, 15 g/cova; P ₂ O ₅ 4 g/cova e K ₂ O 15 g/cova – 4 vezes	3	3	3	-	1
2001/2002	2º ano	(junho/julho – setembro – novembro - janeiro/ fevereiro). N 30 g/cova e de K ₂ O 35 g/cova 4 vezes (junho a fevereiro).	3	3	3	-	1
2002/2003	3º ano	P ₂ O ₅ 45 g/cova – 1 vez, junto com a primeira aplicação de N e K ₂ O.	3	3	3	-	1
2003/2004	Produção	25-05-20 (N :P ₂ O ₅ :K ₂ O) 120 g/cova - 4 vezes/ano	3	3	1	1	1
2004/2005	Produção	25-05-20 (N :P ₂ O ₅ :K ₂ O) 120 g/cova - 4 vezes/ano	3	3	1	1	1
2005/2006	Produção	25-05-20 (N: P ₂ O ₅ : K ₂ O) 120 g/cova - 4 vezes/ano	3	3	1	1	1
2006/2007	Produção	25-05-20 (N: P ₂ O ₅ : K ₂ O) 120 g/cova - 4 vezes/ano	3	3	1	1	1
2007/2008	Produção	25-05-20 (N: P ₂ O ₅ : K ₂ O) 120 g/cova - 4 vezes/ano	3	3	1	1	1
2008/2009	Produção	25-05-20 (N :P ₂ O ₅ :K ₂ O) 120 g/cova - 4 vezes/ano	3	3	1	1	1
2009/2010	Produção	25-05-20 (N :P ₂ O ₅ :K ₂ O) 120 g/cova - 4 vezes/ano	3		1	1	1

6.3 Variáveis Analisadas

Para a determinação dos atributos químicos e físicos do solo, as amostras de solo foram secas ao ar, passadas em peneiras com malha de 2 mm de diâmetro para a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). As seguintes análises foram realizadas em todas as profundidades e repetições, exceto para mineralogia e micromorfologia, conforme especificado em 6.3.2 e 6.3.3.

6.3.1 Textura do solo

A composição granulométrica (conteúdo de areia, silte e argila) do solo foi obtida pela dispersão com água e NaOH ($0,1 \text{ mol L}^{-1}$), agitação lenta (16 horas), e peneiramento em malha de $53 \mu\text{m}$. O teor de argila foi determinado a partir da suspensão do material que passou pela peneira (silte e argila) após medição da densidade com hidrômetro, relacionando-se as densidades com o tempo da leitura com a temperatura, calculando com esses dados à percentagem das partículas (BOUYOUCOS, 1927).

6.3.2 Mineralogia do solo

Após a análise granulométrica do solo, a suspensão de argila + silte do solo sob mata secundária (0-5 e 20-40 cm) argila e silte teve separada a fração argila por sifonamento após o tempo de sedimentação segundo a Lei de Stokes. A argila pipetada foi saturada com MgCl_2 concentrado e em seguida centrifugada a 3000 rpm durante 15 minutos, sendo descartado o sobrenadante e recuperada a argila até que a quantidade fosse suficiente para ser analisada.

Da suspensão de argila, foram pipetados cerca de 6 ml sobre lâminas de vidro, formando uma película com a evaporação à temperatura ambiente,

permitindo aos minerais planares uma deposição paralela, intensificando assim os picos diagnósticos. Após a secagem, as lâminas foram levadas ao difratômetro de raios-x Phillips PW 1830/1840 (Lelyweg, Holanda), com radiação $\text{CoK}\alpha$, em passos de $0,01^\circ$, no intervalo de $5-42^\circ 2\theta$, em 25 mA/35kV.

A fração areia separada na análise granulométrica do solo por peneiramento foi moída em almofariz e colocada em porta-amostra do tipo “janela” e levada ao difratômetro de raios-X para análise conforme descrito para a argila, porém no intervalo $5-70^\circ 2\theta$. Os resultados serão apresentados na forma de gráficos.

6.3.3 Micromorfologia do solo

As amostras de solo da camada 0-5 cm foram coletadas na forma de pequenos paralelepípedos (8,0 x 5,0 cm), em caixas de Kubiena de modo a não causar nenhuma deformação, com auxílio de uma faca, “esculpindo-se” o bloco de solo cuidadosamente. As amostras foram secas por 60 dias ao ar, por 4 dias a 60°C e 1 dia a 105°C , levadas para o laboratório para a impregnação com resina epóxi Silaex SQ 2003/SQ 3182 ® na proporção 10:8,5, e evacuadas em dessecador a 560 mm Hg por 3 dias para a remoção das bolhas de ar. As amostras impregnadas foram curadas a 100°C (4h) e depois por 140°C (5h). Os blocos foram cortados com serra diamantada e montados em lâminas de vidro para microscopia.

6.3.4 Densidade do solo

A densidade do solo (D_s) foi obtida pela razão entre a massa da amostra indeformada seca a 105°C (BLAKE; HARTGE, 1986) e o volume do

cilindro, conforme a equação 1: $D_s = m/V_c$ em que: D_s = Densidade do solo, $g\ cm^{-3}$; m = massa de solo seco.

6.3.5 Estabilidade de agregados em água

A distribuição de tamanho de agregados foi determinada pela técnica de peneiramento úmido, descrita por Kemper e Chepil (1965). Torrões do solo previamente secos ao ar foram peneirados em malha de 8 mm e homogêneos. Em seguida, 25 g de amostra foram colocadas em um conjunto de peneiras (2,0; 1,0; 0,5; 0,25 e 0,106 mm), adaptado a um dispositivo mecânico com movimento de oscilação vertical (30 oscilações/minuto), dentro de um recipiente com água. O material retido em cada peneira foi seco em estufas a 105 °C e pesado para calcular o diâmetro médio dos agregados (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) (MAZURAK, 1950).

6.3.6 Volume total de poros (VTP)

Com os valores da densidade do solo e considerando a densidade de partículas igual a 2,65 g/cm^3 , foi determinada a porosidade total por meio da equação descrita por Vomocil (1965): $VTP = 100 (1 - D_s/D_p)$ em que: VTP; volume total de poros; D_s : Densidade do solo; D_p : Densidade de partícula.

6.3.7 pH em água

O pH do solo foi quantificado em água (1:2,5) pelo método potenciométrico. Mediu-se 10 cm^3 de TFSA, posteriormente transferida para um béquer, adicionando-se 25 ml de água destilada, e agitado com um bastão

de vidro por 30 segundos. Após intervalo de 3 horas em repouso, ocorreu uma nova agitação e em seguida foi registrada a leitura.

6.3.8 Fósforo disponível

A extração de P disponível empregou o reagente de Mehlich-I, colocando em um erlenmeyer de 125 ml, 10 cm³ de TFSA, e 100 ml de solução extratora (HCL 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N), agitando por 5 minutos em um agitador horizontal, seguido por 12 horas de repouso. Para a determinação, pipetou-se 5 ml do extrato, adicionou-se 10 ml de solução ácida de molibdato de amônio diluída, e uma pitada de ácido ascórbico, agitou-se por aproximadamente 1 minuto para homogeneização. Permitiu-se novamente repouso por 30 minutos para desenvolver a cor, e em seguida realizou-se a leitura da densidade ótica no fotolorímetro, usando filtro vermelho (comprimento de onda = 725 nm).

6.3.9 Potássio disponível

O potássio disponível foi extraído com o reagente Mehlich, determinado pelo método de fotometria de chama. Para a extração, utilizou-se 100 ml de solução extratora (HCL 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N), e 10 cm³ de TFSA, agitando se por 5 minutos em agitador horizontal, seguido por 12 horas de repouso.

6.3.10 Cálcio e magnésio trocáveis

O cálcio e magnésio trocáveis foram extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ de 10 cm³ de TFSA, e quantificados por espectrofotometria de absorção atômica

de chama ar-acetileno em 0,1 ml do extrato mais 4,9 ml de solução de óxido de lantânio 1 g L^{-1} .

6.3.11 H+Al (acidez pH-dependente)

A acidez potencial (H+AL) foi extraída com Ca-acetato tamponado a pH 7, e em titulada com NaOH $0,0606 \text{ mol L}^{-1}$.

6.3.12 Enxofre

Realizou-se a extração do sulfato por íons de fosfato (500 mg de P/L) dissolvidos em HCL $2,0 \text{ mol L}^{-1}$ e posterior quantificação do enxofre (S) disponível pela medição, em colorímetro ou espectrofotômetro, da turbidez formada pela precipitação de sulfato pelo cloreto de bário (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, 2009).

6.3.13 Fósforo remanescente

Colocou-se $7,5 \text{ cm}^3$ de TFSA em erlenmeyer de 125 mL e adicionou-se 75 mL da solução de CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ contendo 60 mg L^{-1} de P (solução de equilíbrio). Agitou-se por 5 minutos, seguido por repouso de aproximadamente 16 horas. Posteriormente, foi coletada uma alíquota de 0,2 mL e adicionado 4,8 mL de H_2O . Misturou-se 5,0 mL da solução diluída com 5,0 mL de reagente, e decorridos 30 minutos realizou-se a leitura da absorbância no comprimento de ondas de 725 nm.

6.3.14 Indicadores de fertilidade do solo

Após a realização da análise de fertilidade do solo, foram estimados os seguintes indicadores de fertilidade: soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (T) e saturação por bases (V) e alumínio (m) (SOUSA; LOBATO, 2004).

6.3.15 Serapilheira

Para quantificar a serapilheira nos cafezais foi utilizada uma moldura de 15,5 x 25,5 cm, em ferro, lançada aleatoriamente em cada parcela nas posições de linha e entrelinha, para o corte da serapilheira com a faca. O material foi seco em estufa com circulação forçada de ar a 65° C, até atingir o peso constante para a pesagem.

6.3.16 Carbono orgânico do solo

Para a quantificação do COS, foi utilizado o método de combustão seca. Utilizou-se o equipamento Organic Carbon Analyser, modelo Vario TOC Cube, marca Elementar, pertencente ao Laboratório de Estudos de Matéria Orgânica do Solo da Universidade Federal de Lavras. Para a análise, foram utilizadas alíquotas de solo de 10 mg, moídas em almofariz, e oxidadas a 900 ° C utilizando um fluxo de 0,3 L min.⁻¹ de oxigênio. A quantidade de CO₂ emitida foi estimada utilizando radiação infravermelha não-dispersiva.

O estoque de COS foi calculado a partir da soma do estoque em cada camada de solo, estimados pelo produto do teor de COS, densidade do solo e profundidade da respectiva camada em todas as repetições, de acordo com a seguinte fórmula (ZINN; LAL; RESCK, 2005):

$$\text{COS} = \text{C} \times (\text{Ds}) \times \text{volume}$$

em que:

COS: carbono orgânico do solo (Mg ha^{-1});

C: teor de carbono do solo (Mg Mg^{-1});

Ds: densidade do solo (Mg m^{-3});

Volume considerado do solo: $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (calculado a partir da profundidade da camada (m) $\times 10.000 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$).

De modo a compensar o efeito da compactação do solo, causada pelos tratos culturais e manejo dos sistemas cafeeiro e plantio direto, os estoques foram calculados pelo método da massa equivalente (BAYER et al., 2000), utilizando como referência as massas de solo das camadas correspondentes de uma área sob mata nativa.

6.3.17 Carbono da matéria orgânica particulada

A matéria orgânica particulada (pertencente à fração areia) foi obtida após dispersão em NaOH 0,1 N similar à utilizada para a análise textural, segundo Zinn et al. (2007). Em resumo, a fração areia retida na peneira de 0,053 mm, obtida durante a análise granulométrica do solo pelo método da pipeta, foi moída em almofariz e passada pela peneira de 60 mesh para a homogeneização. Pesou-se aproximadamente 20 mg da mesma em uma folha de estanho, onde foram embrulhadas e colocadas no analisador Elemental para análise de C total. Foram feitas as análises para as profundidades 0-5 e 20-40 cm.

6.3.18 Análises estatísticas

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente ao acaso, com quatro tratamentos e três repetições. O efeito dos sistemas de uso da terra sobre todos os atributos, com exceção da mineralogia e micromorfologia foram testados por meio de análise de variância (ANOVA). Avaliaram-se os efeitos dos tratamentos em cada profundidade considerando a posição de linha para os cafezais. Quando houve efeito significativo ($P < 0,05$) de tratamento, procedeu-se o teste de Tukey-Kramer a $P < 0,05$. O efeito da posição de amostragem dentro dos cafezais foi analisada pelo teste t a $P < 0,05$, para cada profundidade e manejo utilizando-se o pacote o pacote estatístico JMP 5.1 (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM – SAS, 2003) e Sisvar (FERREIRA, 2003).

Tabela 5 Esqueleto de “ANOVA” das análises realizadas entre os tratamentos em cada profundidade

Fontes de variação	Grau de liberdade
Tratamentos	3
Resíduo	8
Total	11

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Caracterização do solo

Os resultados da análise textural, são apresentados na tabela 6. Os teores de silte calculados resultam em relação silte/argila alta para a classificação como Latossolo. No entanto, isto reflete dispersão incompleta por causa da cimentação por óxidos, na fração silte e também areia (Figura 4 e 11).

Tabela 6 Resultado da análise granulométrica do solo sob vegetação nativa secundária

Camada (cm)	Argila	Areia	Silte
	..... g kg ⁻¹		
0-5	436	286	276
5-10	436	293	266
10-20	500	280	273
20-40	446	266	286

Os difratogramas de raio-X das frações argila e areia são mostrados nas figuras 3 e 4. Os picos na fração argila indicam a predominância dos minerais hematita, gibbsita e caulinita. Por outro lado, a fração areia revela a presença de quartzo oriundo do arenito, e ilmenita e magnetita derivadas da composição do basalto, e constatou-se também a presença de gibbsita e hematita. Estes resultados sinalizam para a formação de um solo oxidico, altamente intemperizado, devido a processo de alitização. A caulinita, embora presente, é pouco cristalina, ou seja, muito alterada, mostrando picos largos de baixa altura.

A aparente predominância de gibbsita sugere que este solo sofreu intenso processo de intemperização, onde a exposição do material de origem a

um clima quente e úmido levou à lixiviação de praticamente a totalidade das bases do solo, restando apenas os minerais mais estáveis. A gibbsita confere boa qualidade física do solo, devido à formação de estrutura granular, e conseqüente maior porosidade, melhor estabilidade de agregados em água, e valores menores de densidade do solo (FERREIRA; FERNANDES, CURI, 1999). Contudo, também ocorre formação de cargas positivas que apresentam a capacidade de sorção de ânions, principalmente o fósforo (SCHAEFER et al., 2004), além de reduzida capacidade de troca de cátions e alta saturação por alumínio, o que leva a grandes exigências de corretivos e fertilizantes (KER, 1997).

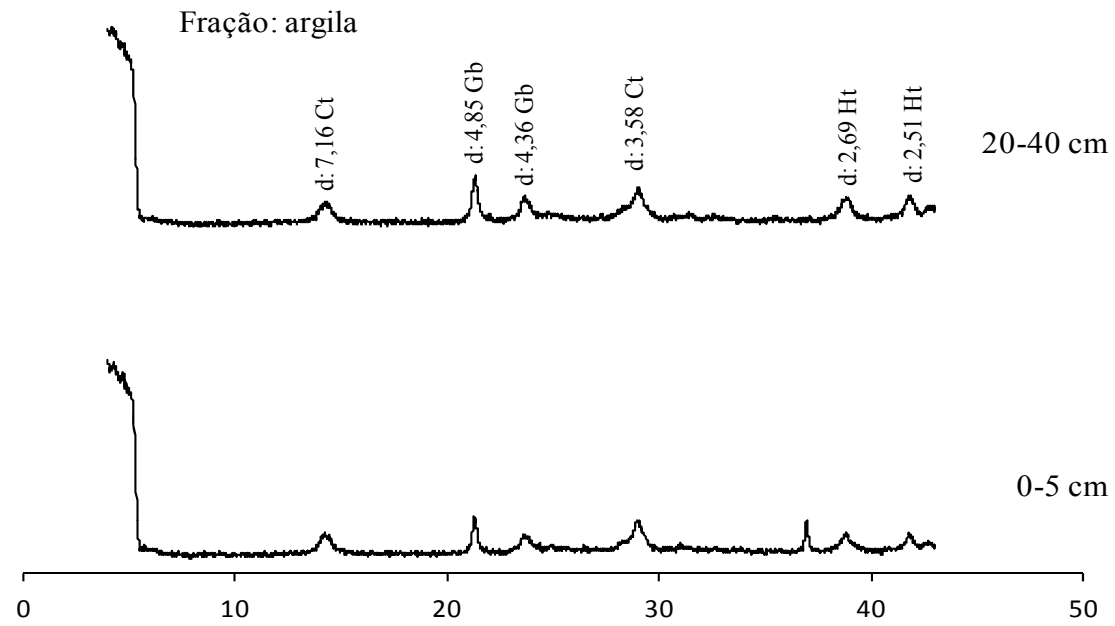


Figura 3 Difratomogramas de raios-X da fração argila do solo sob mata secundária

Obs.: Ct: caulinita; Gb: gibbsita e Ht: hematita

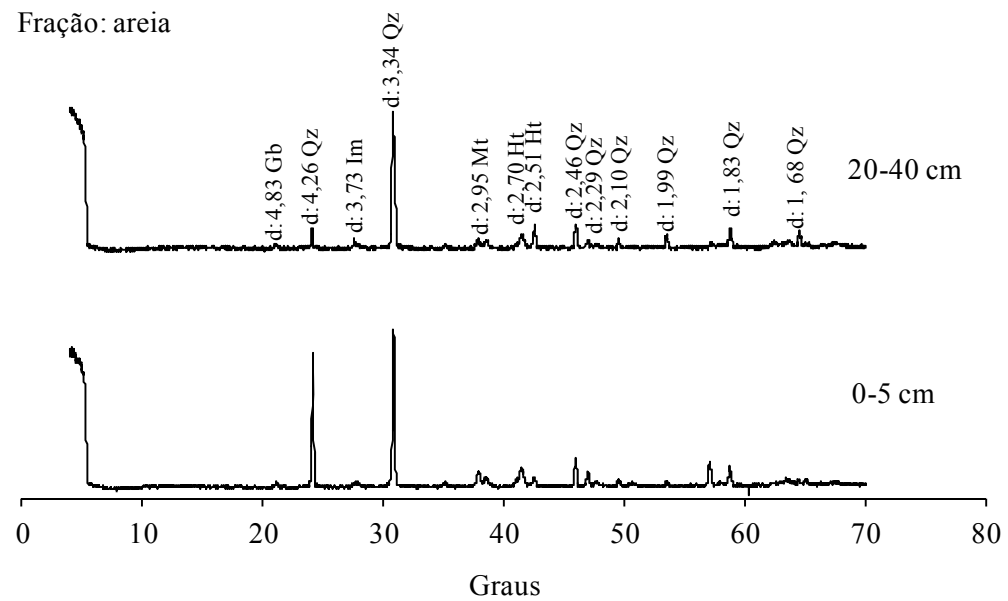


Figura 4 Difratomogramas de raios-X da fração areia do solo sob mata nativa

Obs.: Qz: quartzo; Im: ilmenita; Mt: magnetita; Gb: gibbsita e Ht: hematita

A presença dos óxidos de Fe, hematita, magnetita e ilmenita devem-se à decomposição de rochas basálticas. A presença importante da hematita afeta a morfologia do solo, sendo responsável pela cor vermelha intensa deste solo (TREMOCOLDI, 2003). Ainda, a alta área de superfície específica da hematita, juntamente com a capacidade de recobrimento de outros minerais influenciam a dinâmica de nutrientes e na agregação do solo (FERREIRA; FERNANDES e CURI, 1999). A magnetita e a ilmenita são concentrados na fração areia por sua relativa resistência ao intemperismo nesta fração de tamanho.

A ocorrência de caulinita pouco cristalina também evidencia o avançado intemperismo do Latossolo. Esta caulinita está provavelmente em processo atual de decomposição por remoção de sílica, formando a gibbsita.

A forma arredondada dos grãos de quartzo (Figura 6 e 7) comprova a sua origem a partir do arenito, que requer transporte de grãos para a sua formação. Isto também é evidenciado pelo fato de rochas básicas por definição conterem pouco ou nenhum quartzo.

O conhecimento dos minerais presentes no solo é de extrema importância para o melhor entendimento das propriedades físicas, químicas e morfológicas do solo. Salienta-se que os minerais da fração argila juntamente com as frações húmicas do solo, são os principais componentes do complexo de troca, influenciando diretamente a fertilidade do solo.

7.2 Efeito do manejo nas propriedades físicas do solo

A tabela 7 apresenta os resultados de análise de variância dos atributos densidade do solo, volume total de poros, estabilidade de agregados em água, diâmetro médio ponderado e diâmetro médio geométrico, nas profundidades amostradas. Observou-se, que na profundidade 0-5 e 5-10 cm, houve diferença significativa para densidade do solo, e a 10-20 cm ocorreu diferença para a

estabilidade de agregados em água, diâmetro médio geométrico e ponderado, este também afetado na profundidade 20-40 cm. Não houve diferença significativa para o volume total de poros em nenhuma profundidade entre os tratamentos.

Tabela 7 Níveis de significância da ANOVA relativos à densidade do solo (Ds), volume total de poros (VTP), estabilidade de agregados em água (EAA), diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP)

Profundidades	Ds	VTP	EAA	DMG	DMP
0–5 cm	**	ns	ns	ns	ns
5–10 cm	*	ns	ns	ns	ns
10–20 cm	ns	ns	*	*	*
30–40 cm	ns	ns	ns	ns	*

* significativo em $p < 0.05$. ** em $p < 0.01$. e ns não significativo.

7.2.1 Densidade do solo e volume total do solo

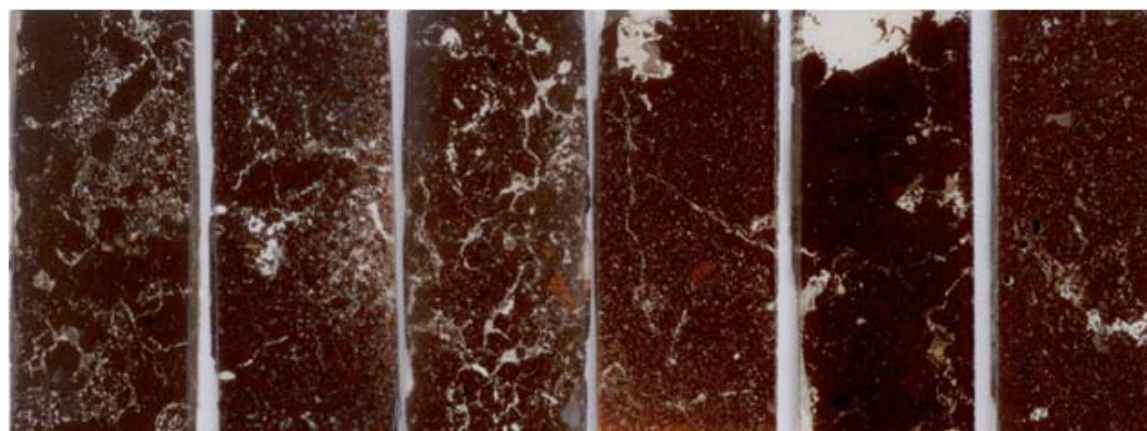
Na tabela 8 encontram-se os dados de densidade do solo e volume total de poros. Os valores de densidade do solo foram afetados pelos diferentes usos para as profundidades 0-5 e 5-10 cm, pois o cafezal com macadâmia apresentou menor densidade do solo em relação ao solo sob cafeeiro convencional e igual a mata secundária. As diferenças verificadas para a densidade do solo também podem ser visualizadas a olho nu nas lâminas com seções quase-delgadas (espessura $\sim 40 \mu\text{m}$). A figura 5 revela diferentes padrões de estrutura e porosidade do solo sob mata e cafezal consorciado com macadâmia, com blocos subangulares (e estrutura granular parcial) bem menores do que os blocos angulares formados por e coalescência de grânulos sob cafezal convencional e milho em plantio direto devido à compactação pelo maquinário agrícola. Ainda, o solo sob cafezal convencional apresenta grandes bioporos, provavelmente

criados por larvas de cigarras, que eram muito comuns nas duas posições de amostragem dos solos (canto superior esquerdo das respectivas imagens na Figura 5).

Tabela 8 Valores médios de densidade do solo e volume total de poros em função dos diferentes sistemas de uso da terra e posições de amostragem

Tratamentos	Densidade do solo (g cm^{-3})		Volume total de poros (%)	
	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha
	.....Profundidade 0-5 cm.....			
Cafezal convencional	1,32 AB a	1,36 a	50,1 A a	48,6 a
Cafezal com macadâmia	1,05 C a	1,14 a	60,3 A a	56,9 a
Plantio direto	1,36 A		48,4 A	
Mata	1,14 BC		56,9 A	
	.....Profundidade 5-10 cm.....			
Cafezal convencional	1,38 A a	1,37 a	47,6 A a	48,0 a
Cafezal com macadâmia	1,00 B a	1,05 a	62,0 A a	60,1 a
Plantio direto	1,35 A		48,9 A	
Mata	1,27 AB		51,8 A	
	.....Profundidade 10-20 cm.....			
Cafezal convencional	1,40 A a	1,33 a	47,0 A a	49,6 a
Cafezal com macadâmia	1,11 A a	1,04 a	57,9 A a	60,6 a
Plantio direto	1,33 A		49,5 A	
Mata	1,35 A		48,8 A	
	.....Profundidade 20-40 cm.....			
Cafezal convencional	1,37 A a	1,35 a	48,3 A a	48,8 a
Cafezal com macadâmia	1,09 A a	1,16 a	58,7 A a	55,9 a
Plantio direto	1,36 A		48,4 A	
Mata	1,29 A		51,3 A	

Obs. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey-Kramer ($P < 0,05$). Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na linha não diferem entre em cada profundidade, pelo teste de t ($P < 0,05$).



Mata **Cafezal com macadâmia entrelinha** **Cafezal com macadâmia linha** **Cafezal convencional entrelinha** **Cafezal convencional linha** **Plantio direto**

Figura 5 Imagens digitalizadas das seções delgadas de solos (profundidade 0-5 cm)

Fonte: (Imagem por Y. L. ZINN).

Nota: Cada imagem possui 2,6 cm de largura.

A menor densidade do solo nas camadas superficiais da mata é talvez resultado da bioturbação e do crescimento de sistema radicular das árvores nativas, que ao crescerem promovem a redução da compactação do solo, ocorrida quando a área estava em uso com o cafezal (JIMENEZ et al., 2008; KELL, 2011). Este efeito das raízes das árvores aumenta ao longo do tempo, e promove maior exploração do volume do solo, sobretudo na camada 0-40 cm (RENA; GUIMARÃES, 2000). Pesquisas realizadas por Arellano (2011) em sistemas cafeeiros com macadâmia também verificaram menor densidade do solo quando comparados ao convencional. Tal diferença também pode ser atribuída a maiores teores de resíduos orgânicos (CARVALHO, GOEDERT; ARMANDO, 2004), o que não ocorreu aqui. A compactação interfere negativamente na penetração radicular, embora possa aumentar a retenção de água no solo e disponibilidade de nutrientes para as plantas (JIMENEZ et al., 2008).

Não houve diferença significativa na densidade do solo entre as posições de amostragem dentro dos cafezais. No entanto, na mesma região, cafezais sob lavoura mecanizada apresentaram compactação significativa devido ao tráfego de máquinas (ARAUJO-JUNIOR et al., 2011) na linha de tráfego, em comparação à entrelinha, e ambas as posições tiveram maior D_s que a mata nativa testemunha.

A ausência de diferença estatística para o volume total de poros pode estar relacionada à alta variabilidade da porosidade total, que variou entre 48 a 62 %. Apesar deste resultado, constata-se nas figuras 6 e 7 que a mata secundária, plantio direto ou cafezais, proporcionaram padrões e condições diferentes de macroporosidade visível com aumento de 40 x.

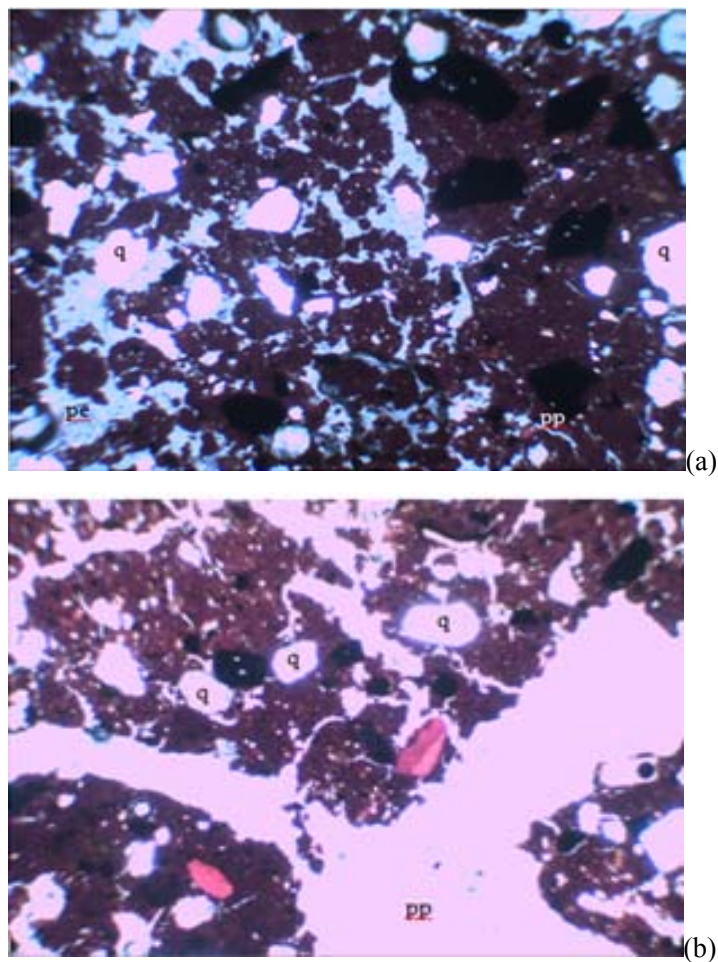


Figura 6 Seção delgada de solo sob milho em plantio direto (a), mata secundária (b)

Fonte: (Imagem por Y. L. ZINN)

Obs. a) Notar denso empilhamento de grânulos e fragmentos de blocos, ao lado de blocos adensados. q= quartzo, pp=poros planares, pe=poros de empilhamento. Imagem com 2,3 mm de largura, luz polarizada parcialmente cruzada; b) Mata secundária sob luz polarizada parcialmente cruzada: microestrutura em blocos subangulares, com poros planares de diferentes tamanhos (notar grãos opacos e vermelhos); Imagem com 2,3 mm de largura). q= quartzo, pp=poros planares, pe=poros de empilhamento.

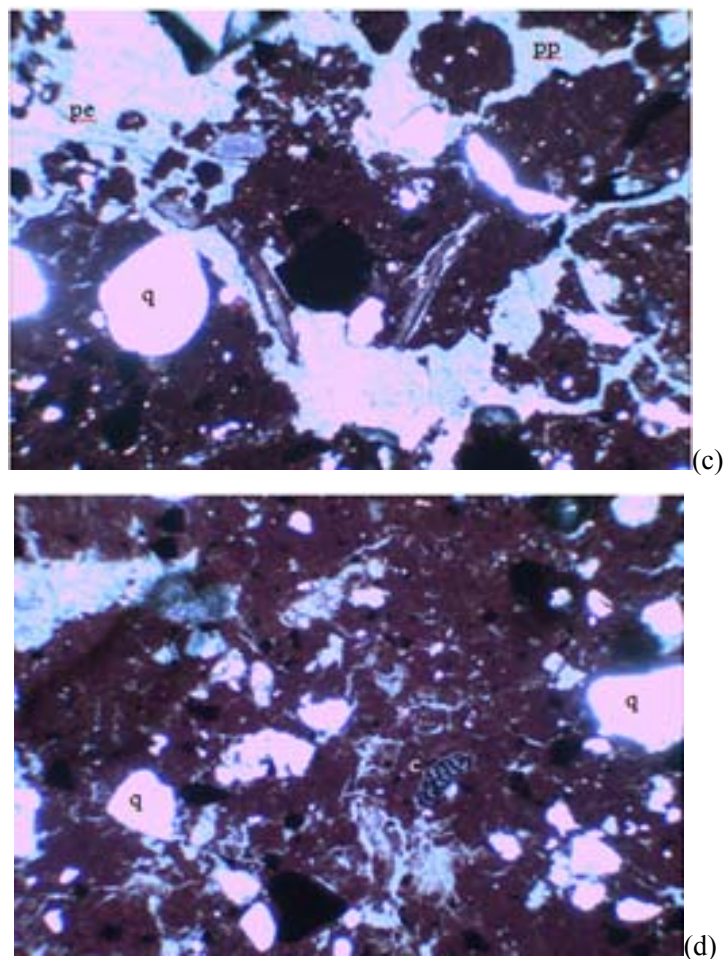


Figura 7 Seção delgada de solo sob cafezais (c e d)

Fonte: (Imagem por Y. L. ZINN)

Obs. a) Notar denso empilhamento de grânulos e fragmentos de blocos, ao lado de blocos adensados. q= quartzo, pp=poros planares, pe=poros de empilhamento. Imagem com 2,3 mm de largura, luz polarizada parcialmente cruzada. d) cafezal em consórcio com macadâmia, linha de plantio, com poros planares de diferentes tamanhos, alguns com raízes (r); c) cafezal convencional, linha de plantio, mostrando menor porosidade e um fragmento de carvão (c). q= quartzo, pp=poros planares, pe=poros de empilhamento.

A porosidade do solo é de grande importância para o armazenamento de água, gases, nutrientes e pode afetar o crescimento de raízes e a capacidade absorviva da planta. A porosidade deste solo está coerente com a estrutura granular, classe textural argilosa e mineralogia oxidica, que permitem uma alta macroporosidade. Resende et al. (2007) atribuem este padrão de porosidade à desorganização promovida pelos minerais hematita e gibbsita, favorecendo a formação da estrutura granular, em detrimento do arranjo face-a-face e estrutura em bloco devidos à predominância de caulinita. Estas características, como já mencionado, viabilizam a formação da estrutura do tipo granular, resultando para em um solo com maior macroporosidade, altamente permeável, com melhor estabilidade de agregados em água e baixa densidade (FERREIRA; FERNANDES; CURI, 1999).

Observou-se a presença de microestrutura em blocos subangulares com poros planares de diferentes tamanhos, além da presença de raízes para o cafezal com macadâmia (Figura 7). Nota-se um denso empilhamento de grânulos e fragmentos de blocos, ao lado de blocos adensados, sob plantio direto (Figura 6).

7.2.2 Estabilidade de agregados em água, diâmetro médio geométrico e ponderado

A partição de tamanho de agregados estáveis em água para cada profundidade é apresentada na figura 8 e 9. Houve predomínio de agregados estáveis em água > 2 mm, o que evidencia a grande estabilidade da estrutura do solo e concorda com o alto grau de intemperismo e mineralogia gibbsítica deste Latossolo. Não houve diferenças significativas para a percentagem de agregados estáveis em água > 2 mm entre os diversos usos da terra, exceto para a camada de 10-20 cm de profundidade, onde os cafezais apresentaram menos que a mata e o milho em plantio direto. A quebra dos agregados na profundidade 10-20 cm

pode ter sido causada durante a implantação dos cafezais, visto que a diferença está na posição linha de plantio, onde se utilizou a subsolagem para incorporar os corretivos e fertilizantes na cova durante o plantio. De acordo com Rozane et al. (2010), a alteração da quantidade de agregados de uma classe de tamanho por práticas utilizadas durante o cultivo é comum, pela destruição dos agregados > 2 mm e sua redistribuição em classes menores de tamanho. No entanto, houve poucas diferenças significativas devido ao manejo nas classes < 2 mm, devido à alta variabilidade encontrada.

Em reflexo da diminuição dos agregados > 2 mm, o diâmetro médio geométrico apresentou efeitos significativos dos diferentes tratamentos na profundidade 10-20 cm, enquanto o diâmetro médio ponderado foi nas profundidades 10-20 e 20-40 cm (Figura 10). Em outras profundidades, não houve diferença significativa porque a variabilidade foi alta. A situação da agregação do solo é relevante para a cafeicultura, uma vez que está ligada ao desenvolvimento radicular, fornecimento de nutrientes, reservatório de água, aeração e erodibilidade do solo (NEVES; FELLER; KOUAKOUA, 2006).

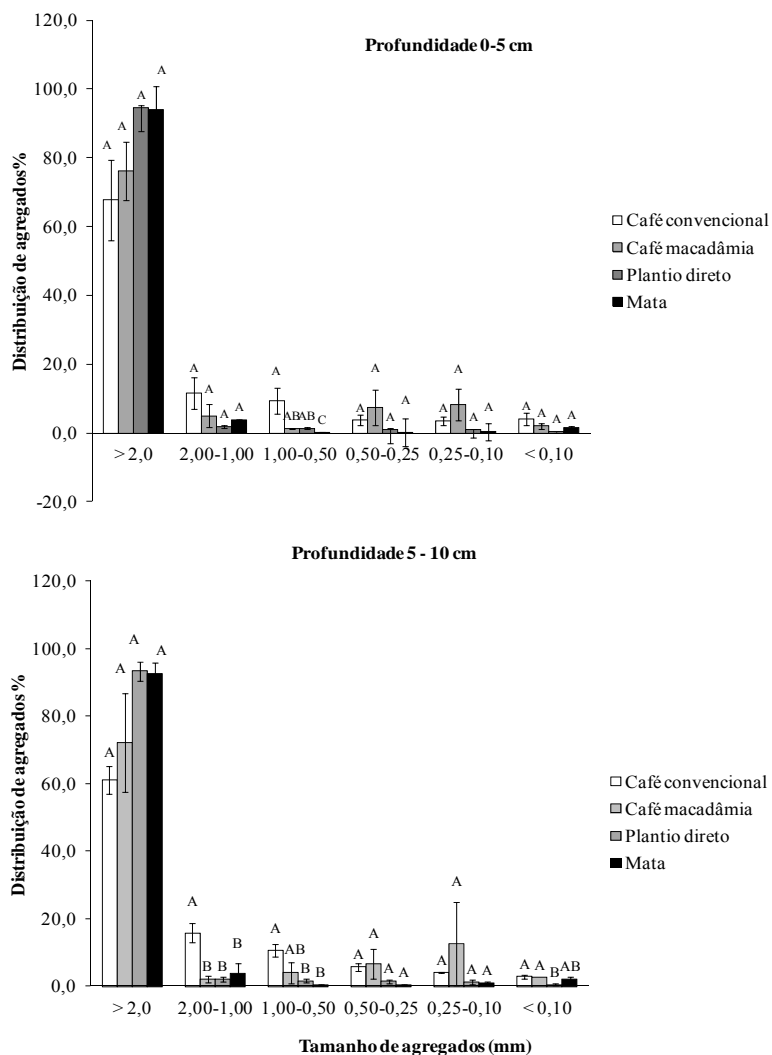


Figura 8 Valores médios de estabilidade de agregados em água (EAA) em função dos diferentes sistemas de usos da terra para posição de amostragem linha, para as profundidades 0-5, 5-10 cm

Obs. Médias seguidas da mesma letra maiúsculas não diferem pelo teste de Tukey-Kramer, para $p < 0,05$ para a mesma profundidade.

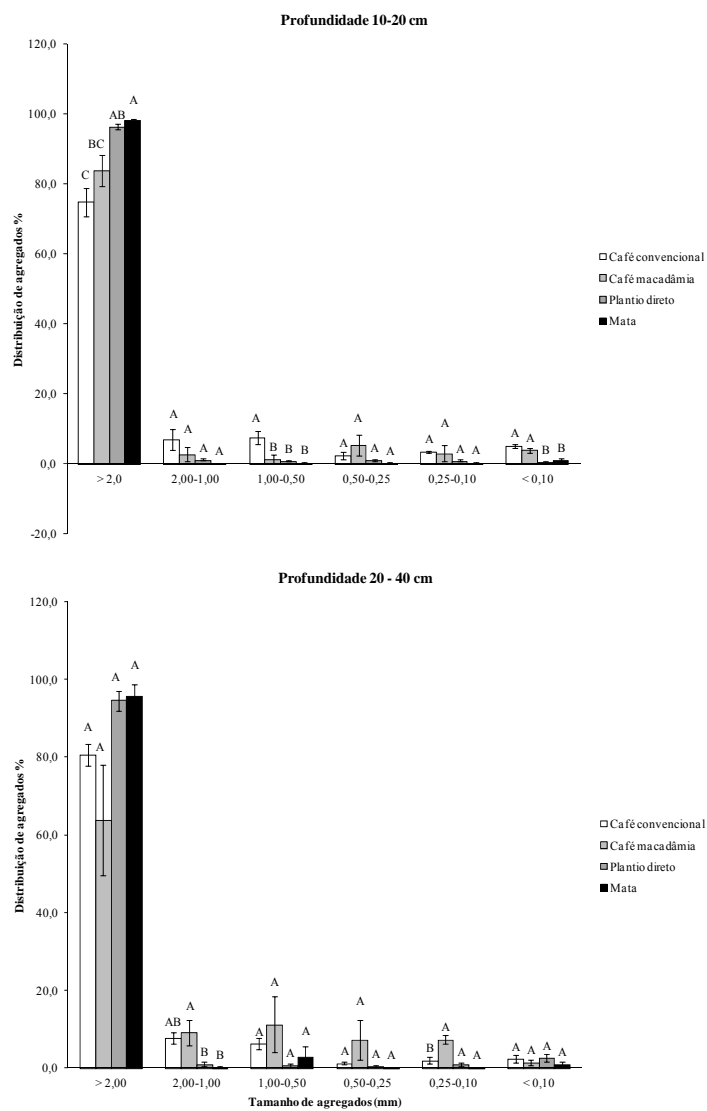


Figura 9 Valores médios de estabilidade de agregados em água (EAA) em função dos diferentes sistemas de usos da terra para posição de amostragem linha, para as profundidades 10-20 e 20-40 cm

Obs. Médias seguidas da mesma letra maiúsculas não diferem pelo teste de Tukey-Kramer, para $p < 0,05$ para a mesma profundidade

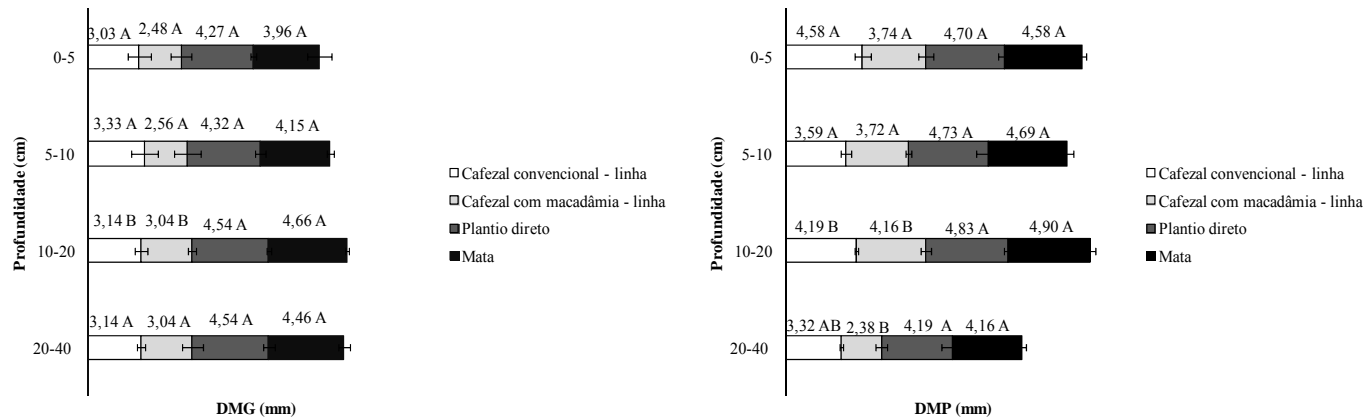


Figura 10 Valores médios para o diâmetro médio ponderado e diâmetro médio geométrico em função dos diferentes sistemas de uso da terra para as diferentes posições de amostragem

Obs. Médias seguidas da mesma letra maiúsculas não diferem pelo teste de Tukey-Kramer, para $p < 0,05$ para a mesma profundidade.

7.3 Efeitos do manejo nas propriedades químicas do solo

A tabela 9 apresenta os resultados da análise de variância para as propriedades químicas do solo, nas diferentes profundidades.

Tabela 9 Níveis de significância para a ANOVA para as propriedades químicas do solo

Profundidades	pH	H+Al	Al	m	P	P-rem	K	Ca	Mg	S	SB	t	T	V
0–5 cm	*	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	*	*	*	*	ns	ns
5–10 cm	*	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	***	ns	ns	*	ns
10–20 cm	*	ns	ns	ns	ns	*	*	*	ns	*	ns	ns	ns	ns
30–40 cm	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns

Obs.: significativo para $p < 0.05$; ** para $p < 0.01$; *** para $p < 0.001$; e n.s não significativo.

De modo geral, foi observada diferença significativa para a profundidade 0-5 cm. Isto pode ter ocorrido devido à tendência da camada superficial sofrer os principais impactos do manejo, em relação às camadas subsuperficiais. Também chama atenção o P-rem e o S que mostraram diferença em todas as profundidades, enquanto o Al, m e V não foram afetados.

7.3.1 Acidez do solo e seus indicadores (pH, H+Al, Al, m)

Na tabela 10, encontram-se os valores médios para os componentes da acidez do solo em função dos diferentes sistemas de uso da terra em diferentes posições de amostragem e profundidades.

Tabela 10 Valores médios para os componentes da acidez do solo e P-rem em função dos diferentes sistemas de uso da terra e posições de amostragem

Tratamentos	pH água		Al ³⁺ mmol.c.dm ⁻³		H+Al		m %		P- rem mg L ⁻¹	
	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha
Profundidade 0-5cm										
Cafezal convencional	5,87 A a	6,63 a	0,17 A a	0,00 a	6,60 A a	2,80 b	3,86 A a	0,00 b	8,06 A a	5,56 a
Cafezal macadâmia	5,03 B b	5,93 a	0,3 A a	0,03 a	7,67 A a	4,53 a	9,00 A a	0,89 b	4,26 A a	5,51 a
Plantio direto	5,20 B		0,30 A		7,13 A a		13,3 A		6,13 A	
Mata	6,27 A		0,07 A		4,03 A a		1,01 A		8,16 A	
Profundidade 5-10 cm										
Cafezal convencional	4,97 AB b	6,56 a	0,50 B b	0,00 a	9,87 AB a	2,73 b	20,8 A a	0,00 b	3,90 BC a	4,06 a
Cafezal macadâmia	4,27 B b	6,00 a	1,13 A a	0,03 a	13,3 A a	4,50 b	39,6 A a	0,48 b	1,86 C a	3,16 a
Plantio direto	5,13 AB		0,40 B		8,47 AB		29,2 A		6,86 A	
Mata	6,00 A		0,10 B		6,00 B		8,51 A		5,93 BC	
Profundidade 10-20 cm										
Cafezal convencional	5,57 AB b	6,43 a	0,13 A a	0,00 a	5,20 A a	3,17 b	2,96 A a	0,00 b	3,86 AB a	3,86 a
Cafezal macadâmia	4,43 B b	6,10 a	0,83 A a	0,30 a	11,9 A a	3,70 b	26,7 A a	0,75 b	2,60 B a	3,40 a
Plantio direto	5,10 AB		0,40 A		8,70 A		38,6 A		5,53 A	
Mata	5,93 A		0,17 A		6,33 A		23,8 A		4,90 AB	
Profundidade 20-40 cm										
Cafezal convencional	5,47 A b	6,20 a	0,03 A a	0,00 a	4,53 A a	3,07 a	1,85 A a	0,00 b	2,90 AB a	2,70a
Cafezal macadâmia	4,43 A b	5,77 a	0,23 A a	0,03 a	4,67 A a	2,80 a	18,7 A a	1,75 b	1,76 B a	1,10 a
Plantio direto	5,63 A		0,07 A		3,97 A		6,25 A		4,33 A	
Mata	5,73 A		0,10 A		5,43 A		25,0 A		4,16 A	

Obs. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey-Kramer (P<0,05). Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na linha não diferem entre si em cada profundidade, pelo teste de t (P<0,05).

O pH do solo, para as profundidades 0-5, 5-10, 10-20 cm, foi geralmente menor no consórcio com macadâmia na posição linha, em relação à mata. Esta tendência pode estar associada à acidificação promovida pelo uso de fertilizantes nitrogenados em combinação com a atividade radicular da própria macadâmia. Pode-se sugerir que a espécie escolhida para o sistema agroflorestral pode influenciar o aumento ou redução da acidez do solo (MAIA et al., 2006). Hagggar et al. (2011), em Costa Rica, compararam cafeeiro consorciado com *Inga laurina* com o convencional, constatando aumento de pH nas camadas superficiais e subsuperficiais neste último tratamento

No cafezal convencional e mata, houve maior pH na camada superficial em relação à subsuperfície. Este efeito foi constatado também por Campanha et al. (2007), quando compararam sistema cafeeiro com *Casuarina equisetifolia*, *Eugenia uniflora*, *Licania tomentosa*, *Hovenia dulcis* e *Mangifera indica* com o convencional. Hernández, Hagggar e Silvio-Ponce (2010) explicam que o aumento do pH na superfície é uma característica do sistema cafeeiro consorciado com árvores.

Os teores de alumínio trocável (Al^3) são baixos ao longo do perfil de acordo com Guimarães et al. (1999), refletindo o efeito da calagem prévia. Em todas as profundidades, não houve diferença significativa entre os tratamentos, exceto na profundidade 5-10 cm, onde o cafeeiro com macadâmia apresentou maior valor. A acidez potencial ($H+Al$) tendeu ao mesmo comportamento do alumínio trocável. Já entre as posições, os valores médios de $H+Al$ foram inferiores para a entrelinha, exceto na profundidade 0-40 cm, em que não houve diferença estatística. Este comportamento por ter sido devido a maior concentração de raízes na posição linha. O sistema radicular dos cafeeiros e árvores podem produzir exsudatos capazes de alterar os componentes da acidez do solo. A liberação de hidrogênio pelas raízes gera a acidez, o que pode afetar a

disponibilidade de todos os nutrientes no solo (ROMERO-ALVARADO et al., 2002).

Segundo a tabela 10, os valores de P-rem foram baixos (GUIMARÃES et al., 1999), e este resultado concorda com as características mineralógicas deste Latossolo. A gibbsita e hematita são responsáveis pela alta adsorção do fósforo. De acordo com Fontes e Weed (1996) a predominância de gibbsita, justifica mais de 95% da adsorção de fosfato no solo. Eberhardt et al. (2008) também afirmam que solos oxidicos favorecem a maior fixação de P. Observa-se que o plantio direto apresentou maiores valores de P-rem em subsuperfície (5-10; 10-20 cm), enquanto na profundidade 20-40 cm os maiores valores ocorreram para o plantio direto e mata (Tabela 10). A diferença notada para plantio direto pode ser decorrente da matéria orgânica do solo, que bloquearia sítios de adsorção de fosfato. Segundo Tokura et al. (2002), o plantio direto tende a propiciar maior disponibilidade de fósforo devido ao aumento da matéria orgânica, que bloqueia sítios de adsorção de fosfato. Neste trabalho, esta tendência se manifesta na forma de maior fósforo remanescente nas camadas superficiais, mais ricas em COS.

7.3.2 Nutrientes do solo: K, Ca, Mg, P e S

A tabela 11 apresenta os valores médios relativos aos nutrientes K, Ca, Mg, P e S do solo em função dos diferentes usos da terra e posição de amostragem. Verificou-se que houve efeitos significativos de tratamentos na profundidade 0-5 cm, com tendência para menor P, e maior Mg, sob a mata secundária, que não recebe adubação há 30 anos. Este resultado pode ser devido ao alto pH do solo, ou também baixo valor de P-rem (Tabela 10). Sistema convencionais recebem normalmente gessagem, esta prática é conhecida por promover lixiviação de Mg (FURTINI NETO et al., 2001), assim, uma vez que o tratamento mata não recebeu gessagem nos últimos 30 anos, o Mg não sofreu lixiviação nem exportação acentuada.

De acordo com Dossa et al. (2008), os sistemas agroflorestais tendem a apresentar maiores valores de nutrientes na camada superficial decorrente da ciclagem dos nutrientes pelas árvores introduzidas. Porém, os resultados da literatura são variados. Estudos realizados com sistemas agroflorestais cafeeiros comparados ao convencional, revelam não haver diferença significativa em K, Ca e Mg entre os tratamentos (ROMERO-ALVARADO et al., 2002). Na maioria das vezes, plantas com sistema radicular profundo promovem a alocação de raízes em profundidade e conseguem aproveitar os nutrientes que foram lixiviados da camada arável. Uma vez absorvidos, os nutrientes são transportados pelo floema até a parte aérea e, posteriormente com a queda e decomposição de galhos e folhas, retornam à superfície estando novamente disponíveis para a cultura principal (KELL, 2011).

Entre as posições de amostragem nos cafezais, foram verificados valores médios de Ca, Mg e P superiores para as entrelinhas. Isto pode ter ocorrido devido à calagem em área total realizada durante a implantação, que corrigiu a acidez e elevou os teores de nutrientes, principalmente Ca e Mg.

Tabela 11 Valores médios para K, Ca, Mg, P e S do solo em função dos diferentes sistemas de usos da terra e posições de amostragem

Tratamentos	K ⁺mg dm ⁻³		Ca ²⁺cmol dm ⁻³		Mg ²⁺cmol dm ⁻³		P.....mg dm ⁻³		S.....mg/dm ³	
	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha
	Profundidade 0-5cm.....									
Cafezal convencional	222 A a	190 a	2,90 A b	9,07 a	0,83 B b	2,30 a	28,5 A b	45,8 a	60,1 A a	9,90 b
Cafezal macadâmia	247 A a	162 a	3,07 A a	7,07 a	1,03 B a	1,57 a	33,9 A b	60,7 a	14,2 B a	26,0 a
Plantio direto	142 A		1,40 A		0,57 B		7,31 AB		25,7 B	
Mata	144 A		4,66 A		2,63 A		1,17 B		14,0 B	
	Profundidade 5-10 cm.....									
Cafezal convencional	141 A a	172 a	1,27 A a	4,37 a	0,30 A b	1,13 a	15,0 A a	28,3 a	115 A a	10,2 b
Cafezal macadâmia	178 A a	109 a	1,07 A a	4,23 a	0,37 A a	1,07 a	9,30 A a	13,4 a	177 A a	35,7 b
Plantio direto	76 A		1,17 A		0,33 A		3,99 A		39,0 B	
Mata	88,3 A		1,77 A		1,33 A		0,80 A		18,8 B	
	Profundidade 10-20 cm.....									
Cafezal convencional	185 A a	101 a	3,50 A a	3,87 a	0,70 A a	1,10 a	13,2 A a	6,80 a	77,1 AB a	15,4 a
Cafezal macadâmia	170 A a	104 a	1,33 AB a	4,07 a	0,40 A a	1,00 a	6,27 A a	10,6 a	140 A a	33,5 a
Plantio direto	63 A		1,10 AB		0,23 A		4,30 A		61,0 AB	
Mata	81,3 A		0,67 B		0,50 A		0,70 A		11,3 B	
	Profundidade 20-40 cm.....									
Cafezal convencional	200 A a	58,3 a	2,33 A a	2,07 a	0,43 A a	0,57 a	2,80 A a	1,50 a	123 AB a	64,4 a
Cafezal macadâmia	209 A a	91,7 a	2,10 A a	2,43 a	0,47 A a	0,63 a	1,13 A a	1,33 a	149 A a	74,0 a
Plantio direto	82,7 A		1,27 A		0,20 A		1,06 A		68,0 AB	
Mata	52,7 A		0,10 A		0,10 A		0,40 A		15,0 B	

Obs. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey-Kramer (P<0,05). Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na linha não diferem entre em cada profundidade, pelo teste de t (P<0,05).

Além disso, na entrelinha, a densidade radicular é menor, e consequentemente absorção dos nutrientes é menor e, o que pode ter gerado o resultado observado. No entanto, a disponibilidade de nutrientes na entrelinha contribui com a melhoria da fertilidade e qualidade do solo em geral, favorecendo, assim, a cultura principal. Além disso, a liberação de nutrientes não ocorre apenas para as plantas, mas também para a comunidade microbiana.

Na profundidade de 10-20 cm, o Ca apresentou maior valor no sistema convencional, provavelmente devido à translocação no perfil em profundidade em resposta a aplicação de gesso na implantação da cultura, visto que o Ca aplicado como gesso é mais solúvel e capaz de penetrar em profundidade no perfil. Salgado et al. (2006) também observaram o mesmo comportamento para o Ca em sistema convencional de cafeeiro em relação ao agroflorestal. No que se refere à posição, foi observado maior teor de Ca na entrelinha na profundidade 0-5 cm, o que pode ser atribuído aos motivos já apresentados como justificativa para a permanência do Mg e P na mesma posição.

Os teores de S foram menores para o cafezal convencional na profundidade 0-5 cm, enquanto que na profundidade 5-10 cm, foram superiores para ambos os cafezais. Quanto as posições, a linha de plantio apresentou valores superiores para o cafezal convencional na profundidade 0-5 cm e para a profundidade 5-10 cm para ambos sistemas cafeeiros. Os menores teores de S na superfície e maiores em profundidade podem ser atribuídos à adição de gesso no período de implantação pode ter permitido a movimentação descendente do S. O enxofre presente nas camadas subsuperficiais pode ser aproveitado por meio da ciclagem de nutrientes que promove a sua recuperação na presença de plantas com sistema radicular profundo. Este fato evidencia a importância de um sistema com maior diversidade de plantas dotadas de diferentes sistemas radiculares, como o caso do sistema agroflorestal.

Tabela 12 Valores médios para SB, t, T e V solo em função dos diferentes sistemas de uso da terra e posições de amostragem

Tratamentos	SB		T				V	
	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha
	.....cmol _c dm ⁻³							
	.....Profundidade 0-5cm.....							
Cafezal convencional	4,30 AB b	11,9 a	4,47 A b	11,9 a	10,9 A b	14,6 a	39,6 A b	80,3 a
Cafezal com macadâmia	4,70 AB b	9,03 a	5,00 AB b	9,10 a	12,4 A a	13,6 a	36,3 A b	65,6 a
Plantio direto	2,30 B		2,60 B		9,47 A		24,9 A	
Mata	7,70 A		7,73 A		11,7 A		42,2 A	
	.....Profundidade 5-10 cm.....							
Cafezal convencional	1,93 A a	5,96 a	2,43 A a	5,97 a	11,8 A a	8,67 a	16,3 A b	69,1 a
Cafezal macadâmia	1,90 A a	5,56 a	3,03 A a	5,60 a	15,3 A a	10,1 a	11,9 A b	54,9 a
Plantio direto	1,66 A		2,07 A		10,2 A		17,9 A	
Mata	3,30 A		3,40 A		9,33 A		35,2 A	
	.....Profundidade 10-20 cm.....							
Cafezal convencional	4,70 A a	5,33 a	4,83 A a	5,26 a	9,90 A a	8,43 a	48,0 A a	62,5 a
Cafezal macadâmia	2,16 A a	5,26 a	3,00 A a	5,37 a	14,1 A a	9,06 a	16,0 A b	58,9 a
Plantio direto	1,50 A		1,97 A		10,2 A		16,8 A	
Mata	1,36 A		1,53 A		7,77 A		19,9 A	
	.....Profundidade 30-40 cm.....							
Cafezal convencional	3,26 A a	3,30 a	3,30 A a	2,80 a	7,87 A a	5,9 a	40,3 A a	47,0 a
Cafezal macadâmia	3,10 A a	2,80 a	3,33 A a	3,33 a	7,77 A a	6,1 a	41,2 A a	52,6 a
Plantio direto	1,66 A		1,73 A		5,63 A		29,4 A	
Mata	0,33 A		0,43 A		5,80 A		5,83 A	

Obs. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey-Kramer (P<0,05). Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na linha não diferem entre em cada profundidade, pelo teste de t (P<0,05).

A tabela 12 apresenta os valores médios para soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions em pH 7 (T) e capacidade de troca de cátions efetiva (t) em função dos diferentes usos da terra e posição de amostragem. A SB e t na camada 0-5 cm foram maiores para a mata (Tabela 12), diferença que desaparece em outras camadas. É nítida a conservação de nutrientes, sob mata com exceção do P, advindos de adubação anterior, que são absorvidos pelas raízes da mata em camadas profundas e reintroduzidos à superfície do solo pela deposição e decomposição da serapilheira. Dentre as posições dentro do cafeeiros os valores de SB, t e T dentro dos cafezais tenderam a ser menores na linha de plantio. Isto pode ocorrer porque na linha existe maior número de plantas e na entrelinha apenas plantas daninhas e menor colonização das raízes do cafeeiro, e, assim, maior absorção de nutrientes na linha. Apesar de algumas diferenças entre os tratamentos e posições os valores médios para SB, t, T e saturação por bases são classificados como médios a muito bons, de acordo com (GUIMARÃES et al., 1999). Os altos valores são devido às adubações realizadas nos diferentes usos da terra, e para a mata decorrem da permanência da adubação realizada quando foi lavoura cafeeira, e persistem no solo devido à reciclagem de nutrientes e ausência de exportação por lavouras.

7.4 Carbono orgânico do solo

A tabela 13 apresenta os níveis de significância da ANOVA para concentração de carbono orgânico do solo (COS), COS na fração areia (C-MOP), e estoque de COS por profundidade.

Tabela 13 Níveis de significância da ANOVA para carbono orgânico do solo

Profundidades	Serapilheira	Teor de COS	C-MOP	Estoque de COS
0–5 cm	Ns	ns	ns	ns
5–10 cm	-	ns	-	ns
10–20 cm	-	ns	-	ns
20–40 cm	-	ns	*	ns

Obs.: significativo em $P < 0.05$, ** em $P < 0.01$, *** em $P < 0.001$. e n.s não- significativo.
 Obs.: COS: carbono orgânico do solo; C-MOP: carbono orgânico particulado.

Não houve diferença significativa para as variáveis avaliadas, exceto para C-MOP na profundidade 20-40 cm. Contudo, a ausência de diferença entre os teores de COS e C-MOP e da fração areia, para quase todas as profundidades, pode sinalizar para a resiliência deste solo quanto ao armazenamento de carbono frente ao uso da terra para as atividades agrícolas.

7.4.1 Carbono orgânico do solo e da fração areia (matéria orgânica particulada)

Não foi observada diferença significativa, entre os tratamentos e posição de amostragem dentro dos cafeeiros em todas as profundidades, para os teores de COS e para C-MOP, exceto por um maior teor de C-MOP na linha de plantio do cafezal com macadâmia em relação à entrelinha na profundidade 20-40 cm, (Tabela 14).

Tabela 14 Valores médios para carbono orgânico do solo e carbono orgânico da fração areia (matéria orgânica particulada) em função dos diferentes sistemas de usos da terra e posições de amostragem

Tratamentos	Carbono orgânico do solo		Carbono orgânico da fração areia	
	g Kg ⁻¹		g Kg ⁻¹	
	Linha	Entrelinha	Linha	Entrelinha
.....Profundidade 0-5 cm.....				
Cafezal convencional	21,3 A a	23,1 a	6,10 A a	8,60 a
Cafezal com macadâmia	19,9 A a	25,8 a	8,00 A a	9,20 a
Plantio direto	20,5 A		8,00 A	
Mata	31,1 A		14,2 A	
.....Profundidade 5-10 cm.....				
Cafezal convencional	19,2 A a	23,1 a		
Cafezal com macadâmia	20,2 A a	20,2 a		
Plantio direto	19,3 A			
Mata	23,8 A			
.....Profundidade 10-20 cm.....				
Cafezal convencional	19,4 A a	18,7 a		
Cafezal com macadâmia	20,1 A a	20,0 a		
Plantio direto	18,4 A			
Mata	20,9 A			
.....Profundidade 20-40 cm.....				
Cafezal convencional	16,5 A a	13,9 a	5,20 A a	5,20 a
Cafezal com macadâmia	15,3 A a	15,4 a	7,30 A a	5,20 b
Plantio direto	14,7 A		4,40 A	
Mata	16,1 A		4,40 A	

Obs. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey-Kramer ($P < 0,05$). Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na linha não diferem entre em cada profundidade, pelo teste de t ($P < 0,05$).

A ausência de diferença significativa entre os tratamentos e posições de amostragem dentro dos cafeeiros em todas as profundidades, pode ter ocorrido devido à ausência de revolvimento anual do solo, que proporcionou para a menor decomposição de resíduos e manutenção dos níveis de COS similares ao da mata. A mesma tendência foi relatada por Cogo et al. (no prelo), que observaram, que áreas próximas, em cafezais mantidos sem capina ou por roçadoras apresentaram estoques de COS iguais ao da mata nativa local. Zinn,

Lal e Resck (2005) acrescentaram que, no Brasil, culturas perenes que não envolvem revolvimento anual do solo não causam perda significativa de estoque de COS, quando comparado aos sistemas de cultivo anual convencional, o que também foi verificado no presente trabalho.

Este resultado sugere que, após eventuais perdas de COS durante e/ou logo após a implantação dos cafezais, estes tendem à estabilização com o decorrer dos anos, de modo que não houve diferença em comparação à mata secundária. A estabilização do COS é um processo crítico para evitar perdas deste elemento para a atmosfera. Assim, a implantação de culturas perenes e escolha de manejos conservacionistas podem, além de aumentar a sustentabilidade agrícola, contribuir com a redução de gases de efeito estufa. Estratégias que diminuam as emissões e aumentem o reservatório ou a capacidade de dreno de COS são tecnologias possíveis com o manejo do solo (LAL, 2004). Em tese, o cafezal com macadâmia apresenta potencial de sequestro e estoque de carbono, o que o diferencia dos sistemas convencionais, mais isto não foi verificado no presente trabalho, o que atesta condições similares de qualidade do solo nos dois sistemas.

Como já mencionado, os teores de carbono orgânico da matéria orgânica particulada não foram influenciados pelos sistemas de manejo, exceto para sistema cafezal com macadâmia na posição linha na profundidade 20-40 cm. O C-MOP corresponde ao tamanho areia (2 a 0.053 mm) e é comumente composto por resíduos pouco decompostos, como pode ser evidenciado na figura 8, e pode frequentemente refletir efeitos de manejo do solo mais rapidamente que o COS.

Como esperado, os níveis de COS tendem a diminuir com o aumento da profundidade, visto que a superfície do solo é a área onde ocorre a maior deposição de material orgânico em cultivos agrícolas e florestas (SCHMIDT, et al 2011). Devido à serapilheira e maior volume de raízes, o COS geralmente é maior nas camadas superficiais, e tende a reduzir com o aprofundamento do

perfil. Isto implica em maior disponibilidade de nutrientes em superfície para produção de exsudatos que favorecem a agregação do solo, e atividade microbiana (CARAMORI; ANDROCIOLI FILHO; BAGGIO, 1995).

Os teores de COS nas camadas superficiais podem ser afetados pela quantidade de resíduos vegetais sobre o solo. O cafezal em consórcio com macadâmia apresentou uma camada média de serapilheira de 1,23 Mg ha⁻¹ de matéria seca, estatisticamente igual ao cafezal convencional. Entre as posições, também não foi verificada diferença estatística, conforme apresentado na tabela 15. Campanha et al. (2007) relatam que por um período de um ano, um cafezal em consórcio com árvores (*Casuariana equisetifolia*, *Eugenia uniflora*, *Licania tomentosa*, *Hovenia dulcis* e *Mangifera indica*), distribuídas ao redor das ruas sem espaçamento padronizado, produziu 2,59 Mg ha⁻¹ de serapilheira, em contraste aos 2,44 Mg ha⁻¹ produzidos pelo sistema convencional. Tal tendência não foi verificada nas condições de espaçamento e espécie florestal plantada neste experimento. Contudo, efeitos indiretos também são proporcionados pela adoção de sistemas agroflorestais que influenciam na disponibilidade de nutrientes. A presença de serapilheira reduz a perda de água (CANNAVO et al., 2011), oscilações térmicas, fornece energia para atividade da biota edáfica, e contribui para a redução da velocidade e volume de enxurrada, reduzindo a erosão (SILVA; CURI; BLANCANEUX, 2000; ARELLANO, 2001).

Tabela 15 Valores médios para a serapilheira em função dos diferentes sistemas de uso da terra e posições de amostragem

Tratamentos	Serapilheira(Mg/ha)		
	L	EL	Total
Cafezal convencional	1,45 A a	0,99 A a	1,17 A
Cafezal macadâmia	1,50 A a	1,09 A a	1,23 A

Obs. Médias seguidas da mesma letra maiúsculas entre tratamentos na mesma posição não diferem e mesmas letras minúsculas dentro do mesmo tratamento não diferem em cada profundidade, pelo teste de t ($P < 0,05$).

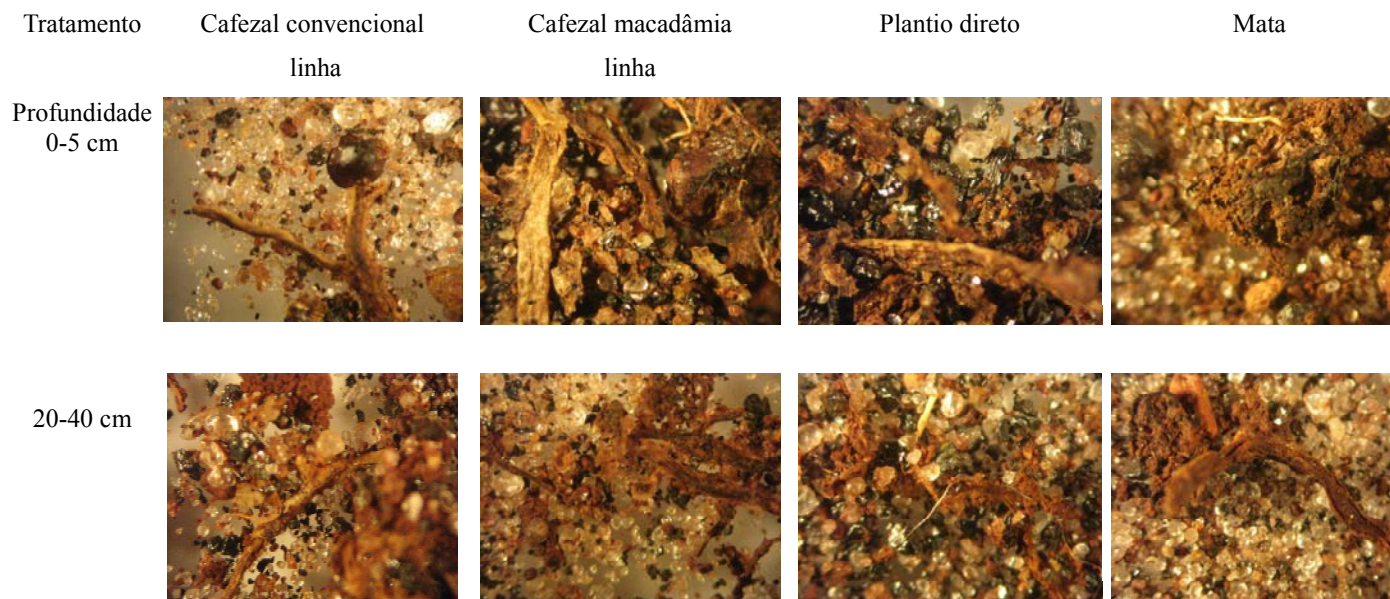


Figura 11 Matéria orgânica particulada em diferentes sistemas de uso da terra e posições de amostragem

O efeito significativo no C-MOP sob cafezal com macadâmia a 20-40 cm provavelmente deve-se ao maior aporte de biomassa radicular, na linha de plantio, que pode atuar como substrato como fonte de energia de para o crescimento microbiano. A sustentabilidade dos sistemas cafeeiros está diretamente relacionada à matéria orgânica particulada, uma vez que apresenta potencial de ciclagem de nutrientes, em curto e médio prazo (COMPTON; BOONE, 2002). Assim, sua manutenção é de extrema importância, por ser capaz a manutenção de contribuir para a disponibilidade de nutrientes, colaborando assim com a manutenção da produtividade. Isto sugere que a introdução de espécies com sistema radicular profundo e fasciculado, que melhor explorem o subsolo, pode assim contribuir com a fertilidade do solo, e conseqüente aumento na produção. Segundo Kell (2011), culturas com sistema radicular profundo e com maior volume podem contribuir significativamente com a estabilização de COS através do acréscimo da alocação de carbono no subsolo.

A análise de variância para os estoques de COS revela que não houve diferença entre os cafezais e suas sucessões para as profundidades 0-20 cm, 20-40 cm e para a profundidade acumulada 0-40 cm (Figura 12).

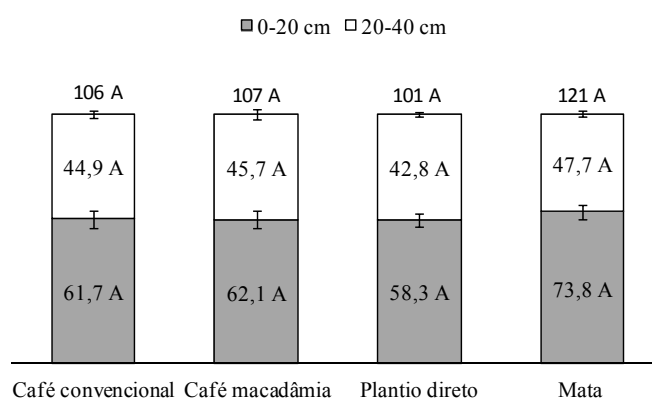


Figura 12 Valores médios para estoque de COS (Mg ha⁻¹) em função dos diferentes sistemas de uso da terra

Estes resultados sugerem que o uso da terra para a formação de cafezais e suas sucessões apresentam resiliência quanto ao armazenamento de COS, atuando como um sumidouro de CO₂ atmosférico (BENAVIDES et al., 2009; SOTO-PINTO et al., 2010). Embora os sistemas cafeeiros consorciados com árvores apresentem potencial de sequestro de COS (ÁVILA et al., 2001) devido a maior adição de resíduos orgânicos ao solo (YOUKHANA; IDOL, 2011), não houve diferença entre os sistemas avaliados no presente trabalho. Observa-se também que os maiores teores estão presentes na camada arável (0-20 cm). Este resultado pode ser atribuído ao maior aporte de resíduos orgânicos em superfície, oriundos da queda de galhos e folhas e maior densidade de raízes (PULROLNIK et al., 2009). Nota-se ainda que os estoques a 20-40 cm não são muito menores da que a 0-20 cm, o que pode ser devido a este solo ser profundo e bem drenado, o que influencia de maneira positiva a distribuição do COS. Em geral, os estoques de COS podem ser considerados altos, pois os valores para camada 0-40 cm são similares àqueles reportados para uma camada de 1 m em solos argilosos caulínicos sob Cerrado (ZINN et al., 2011).

8 CONCLUSÃO

O sistema agroflorestal apresentou tendência a melhor qualidade física do solo, mas maior acidez do solo do que solo sob cafezal convencional. Os teores e os estoques de COS não apresentaram diferença significativa entre os sistemas de produção cafeeira e os demais usos da terra para as profundidades analisadas, o que sugere que os sistemas cafeeiros e o milho em plantio direto estudados podem ser agrossistemas conservadores do COS e da qualidade do solo.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO-JUNIOR, C. F. et al. Capacidade de suporte de carga e umidade crítica de um Latossolo induzida por diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.1, p.115-131, 2011.

ARELLANO, G. R. Evaluación del escurrimiento y pérdida de suelo en agroecosistemas de café. **Revista Florestal Venezolana**, Mérida, v. 45, n. 1, p. 9-14, 2001.

ÁVILA, G. F. et al. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. **Agroforestería en las Américas**, Turrialba, v. 8, n. 30, p. 32-35, 2001.

BAYER, C. et al. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 54, n. 1, p. 101-109, 2000.

BEDIMO, J. A. et al. Effect of shade on Arabica coffee berry disease development: toward an agroforestry system to reduce disease impact. **Phytopathology**, Madison, v. 98, n. 12, p. 1320-1325, 2008.

BEER, J. et al. Shade management in coffee and cacao plantations. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 38, n. 1/2, p. 134-164, 1998.

BENAVIDES, C. M. et al. Cuantificación de carbono en la biomasa aérea de café (*Coffea arabica* L.) con sombra, en la comarca palo de sombrero, Jinotega, Nicaragua. **La Calera**, Managua, v. 03, n. 12, p. 28-34, 2009.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. Madison: ASA, 1986. p. 363-375.

BOUYOUCOS, G. J. Rapid determination of soil moisture by alcohol. **Soil Science**, Baltimore, v. 25, n. 8, p. 375-376, 1927.

CAMPANHA, M. M. et al. Análise comparativa das características da serrapilheira e do solo em cafezais (*Coffea arabica* L.) cultivados em sistema agroflorestal e em monocultura, na Zona da Mata, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 805-812, 2007.

CAMPANHA, M. M. et al. Growth and yield of coffee plants in agroforestry and monoculture systems in Minas Gerais, Brazil. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 63, n. 1, p. 75-82, 2004.

CANNAVO, P. et al. Agroforestry associating coffee and *Inga densiflora* results in complementarity for water uptake and decreases deep drainage in Costa Rica. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 140, n. 4, p. 1-13, 2011.

CARAMORI, P. H.; ANDROCIOLO FILHO, A. BAGGIO, A. Arborização do cafezal com *Grevillea robusta* no Norte do estado do Paraná. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v.38, n.4, p.1031-1037, 1995.

CARNEIRO C. D. R. Viagem virtual ao Aquífero Guarani em Botucatu (SP): formações Pirambóia e Botucatu, Bacia do Paraná. **Terra e Didática**, Campinas, v. 3, n. 1, p. 50-73, 2007. Disponível em: <http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v3/pdf-v3/TD3-50_73.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2011.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n. 11, p.1153-1155, 2004.

COGO et al. Estoques de carbono orgânico do solo em cafezais sob diferentes controles de plantas invasoras. **Semina Ciências Agrárias**, Londrina, prelo.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **1º Levantamento CONAB da safra de café**. 2012. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_01_10_10_54_22_boletim_cafe_1a_estimativa.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2012.

COMPTON, J. E.; BOONE, R.D. Soil nitrogen transformations and the role of light fraction organic matter in forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.34, n.7, p.933-943, 2002.

CONSELHO DOS EXPORTADORES DE CAFÉ DO BRASIL. **Tudo sobre a safra 2009-2010**. 2011. Disponível em: <http://www.cecafe.com.br/downloads/CECAFE.Tudo_Sobre_a_Safra_2009_2010.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2012.

CORREIA, M. et al. Conserving forest tree diversity in Guinée Forestière (Guinea, West Africa): the role of coffee-based agroforests. **Biodiversity and Conservation**, New York, v. 19, n. 6, p. 1725-1747, 2010.

COSTA, F. S. et al. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 323-332, 2008.

DAVIS, A. P. et al. An annotated taxonomic conspectus of genus *Coffea* (*Rubiaceae*). **Botanical Journal of the Linnean society**, London, v. 3, n. 152, p. 465-512, 2006.

DIECKOW, J. et al. Land use, tillage, texture and organic matter stock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 60, n. 2, p. 240-249, 2009.

DOSSA, E. L. et al. Above- and belowground biomass, nutrient and carbon stocks contrasting an open-grown and a shaded coffee plantation. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 7, n. 2, p. 103-115, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo, plantas e fertilizantes**. 3. ed. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2009. 627 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

EBERHARDT, D. N.; VENDRAME, P. R. S.; BECQUER, T.; GUIMARÃES, M. F. Influência da granulometria e da mineralogia sobre a retenção do fósforo em Latossolos sob pastagens no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n.3, p.1009-1016, 2008.

FERREIRA, D. F. **Sisvar 5.0**: sistema de análises estatísticas. Lavras: UFLA, 2003.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da Região Sudoeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n. 3, p.507-514, 1999.

FONTES, M. P. F; WEED, S. B. Phosphate adsorption by clays from Brazilian Oxisols: Relationships with specific surface area and mineralogy. **Geoderma**, Amsterdam, v. 72, n. 2, p. 37-51, 1996.

FURTINI NETO, A. E. et al. Fertilidade do Solo. Lavras: FAEPE, 2001. 252 p.

GHIDIN, A. A. et al. Topossequências de Latossolos originados de rochas basálticas no Paraná. II - Relação entre mineralogia da fração argila e propriedades físicas dos solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa v.30, n.2, p.307-319, 2006.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª aproximação. Viçosa, MG: UFV, 1999 p. 289-302.

HAGGAR, J. et al. Coffee agroecosystem performance under full sun, shade, conventional and organic management regimes in Central America. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 82, n. 3, p. 285-301, 2011.

HERNÁNDEZ, R. M.; HAGGAR, J.; SILVIO-PONCE, A. Cambios en la fertilidad del suelo, producción de biomasa y balance de nitrógeno en sistemas agroforestales con café en Nicaragua. **La Calera**, Managua, v. 10, n. 14, p. 5-12, 2010.

JAGADAMMA, S.; LAL, R. Distribution of organic carbon in physical fractions of soils as affected by agricultural management. **Biology and Fertility of Soil**, Berlin, v. 46, n. 6, p. 543-554, 2010.

JIMENEZ, R. et al. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.2, p. 116-121, 2008.

KELL, D. K. Breeding crop plants with deep roots: their role in sustainable carbon, nutrient and water sequestration. **Annals of Botany**, Oxford, v. 108, n. 03, p. 407-418, 2011.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C. A. et al. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling: part 1**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 499-510.

KLEIN, A. M. et al. Effects of land-use intensity in tropical agroforestry systems on coffee flower-visiting and trap-nesting bees and wasps. **Conservation Biology**, New York, v. 16, n. 4, p. 1003-1014, 2002.

KER, J. C. Latossolos do Brasil: Uma revisão. **Geonomos**, Belo Horizonte, v.5, n.1, p.17- 40, 1997.

LAL, R. Carbon sequestration. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, London, v. 363, n. 1492, p. 815-830, 2008.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, London, v. 304, n. 5677, p. 1623-1627, 2004.

LEAL, A. C. et al. Arborização de cafeeiros com bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham). **Revista Floresta**, Curitiba, v. 35, n. 1, p. 23-32, 2005.

LIU, S. et al. Are soils of Iowa USA currently a carbon sink or source? Simulated changes in SOC stock from 1972 to 2007. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 140, n. 1/2, p. 106-112, 2011.

MACHADO, P. I. O. Carbono orgânico do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 2, p.329-334, 2005.

MAIA, S. M. F. et al. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. **Revista Árvore**, Viçosa v.30, n.5, p. 837-848, 2006.

MAZURAK, A. P. Effect of gaseous phase on water-stable synthetic aggregates. **Soil Science**, Baltimor, v. 69, n. 1, p. 135-148, 1950.

MENDONÇA, E. S.; STOTT, D. E. Characteristics and decomposition rates of pruning residues from a shaded coffee system in Southeastern Brazil. **Agroforestry Systems**, Dorchecht, v. 57, n. 2. p. 117-125, 2003.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Café**. 2012. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cafe>>. Acesso em: 10 jan. 2012.

NATH, D. C. et al. Promoting native trees in shade coffee plantations of southern India: comparison of growth rates with the exotic *Grevillea robusta*. **Agroforestry System**, Dorchecht, v. 83, n. 2, p. 107-119, 2011.

NEVES, C. S. V. J.; FELLER, C.; KOUAKOUA, E. Efeito do manejo do solo e da matéria orgânica em água quente na estabilidade de agregados de um Latossolo Argiloso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.5, p.1410–1415, 2006.

ORGÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ. **Relatório mensal sobre o mercado cafeeiro**. 2012. Disponível em: <<http://www.ico.org/documents/cmr-0312-p.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2012.

PERFECTO, I.; VANDERMEER, J. Spatial pattern and ecological process in the coffee agroforestry system. **Ecology**, Madison, v. 89, n. 4, p. 915-920, 2008.

PEZZOPANE, J. R. M. M. et al. Condições microclimáticas em cultivo de café conilon a pleno sol e arborizado com noqueira macadâmia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 6, p. 1257-1263, 2010.

PHILPOTT, M. S. Changes in arboreal ant populations following pruning of coffee shade-trees in Chiapas, Mexico. **Agroforestry Systems**, Dorchecht, v. 64, n. 42, p. 219-224, 2005.

PULROLNIK, K. et al. Estoques de carbono e nitrogênio em frações da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no Vale do Jequitinhonha – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.1, p.1125-1136, 2009.

RENA, A. B.; GUIMARÃES, P. T. G. **Sistema radicular do cafeeiro**: estrutura, distribuição, atividade e fatores que o influenciam. Belo Horizonte: EPAMIG, 2000. 80 p. (EPAMIG. Documentos, 37).

RESENDE, M. et al. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 5. ed. rev. Viçosa, MG: UFLA, 2007. 322 p.

RICCI, M. S. F. et al. Cultivo orgânico de cultivares de café a pleno sol e sombreado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 569-575, 2006.

RICCI, M. S. F.; VIRGÍLIO-FILHO, E. M.; COSTA, J. R. Diversidade da comunidade de plantas invasoras em sistemas agroflorestais com café em Turrialba, Costa Rica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 7, p. 825-834, 2008.

RICE, A. R. Agricultural intensification within agroforestry: the case of coffee and wood products. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Madison, v. 128, n. 4, p. 212-218, 2008.

RICE, A. R. Fruits from shade trees in coffee: how important are they? **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 83, n. 1, p. 41-49, 2011.

RICHTER, A. et al. Abandonment of coffee agroforests increases insect abundance and diversity. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 69, n. 03, p. 175-182, 2007.

ROMERO-ALVARADO, Y. et al. Coffee yields and soil nutrients under the shades of *Inga* sp. vs. multiple species in Chiapas, México. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 54, n. 3, p. 215-224, 2002.

ROZANE, D. E. et al. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho distrófico, sob diferentes manejos. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 1, p. 24-32, 2010.

SALGADO, B. G. et al. Avaliação da fertilidade dos solos de sistemas agroflorestais com cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em Lavras-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p. 343-349, 2006.

SCHAEFER, C. E.G. R. et al. Study on microaggregates of Brazilian Latosols, in relation to P adsorption and clay fraction attributes. **Geoderma**, Amsterdam, v. 123, n. 1/2 p. 1-33, 2004.

SCHMIDT, M. W. I. et al. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. **Nature**, London, v. 478, n. 7367, p. 49-56, 2011.

SILES, P.; HARMAND, J. H.; VAAST, P. Effects of *Inga densiflora* on the microclimate of coffee (*Coffea arabica* L.) and overall biomass under optimal growing conditions in Costa Rica. **Agroforestry Systems**, Dorchecht, v. 78, n. 6, p. 269-286, 2010.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de latossolo roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.12, p.2485-2492, dez. 2000

SOTO-PINTO, L. et al. Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, Mexico. **Agroforestry Systems**, Dorchecht, v. 78, n. 1, p. 39-51, 2010.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado**: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2004. 416 p.

SOUZA, H. N.; GRAAFF, J.; PULLEMAN, M. M. Strategies and economics of farming systems with coffee in the Atlantic Rainforest Biome. **Agroforestry Systems**, Dorchecht, v. 80, n. 1, p. 1-16, 2011.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. **JMP Statistics and Graphics Guide**: version 5.1. Cary: SAS, 2003. 593 p.

TOKURA, A. M. et al. Formas de fósforo em solo sob plantio direto em razão da profundidade e tempo de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 10, p. 1467-1476, 2002.

TREMOCOLDI, W. A. Mineralogia dos silicatos e dos óxidos de ferro da fração argila de solos desenvolvidos de rochas básicas no estado de São Paulo. **Revista Biociência**, Taubaté, v.9, n.1, p.15-22, 2003.

TSCHARNTKE, T. et al. Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes: a review. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 48, n. 3, p. 619-629, 2011.

TUMWEBAZE, B. S. et al. Soil organic carbon under a linear simultaneous in Uganda. **Agroforest System**, Dorchecht, v. 84, n. 1, p. 11-23, 2012.

VAN OOST, K. et al. The impact of agricultural soil erosion on the global carbon cycle. **The American Association for the Advancement of Science**, Madison, v. 318, n. 5850, p. 626-629, 2007.

VOMOCIL, J. A. Porosity. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 499-510.

YOUKHANA, A.; IDOL, T. Addition of Leucaena-KX2 mulch in a shaded coffee agroforestry system increases both stable and labile soil C fractions. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 43, n. 5, p. 961-966, 2011.

ZINN, Y. L. et al. Eucalypt plantation effects on organic carbon and aggregation of three different-textured soils in Brazil. **Soil Research**, Amsterdam, v. 49, n. 7, p. 614-624, 2011.

ZINN, Y. L. et al. Edaphic controls on soil organic carbon retention in the Brazilian Cerrado: texture and mineralogy. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 71, n. 7, p. 1204-1214, 2007.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 84, n. 1, p. 28-40, 2005.