

ALTERAÇÕES QUÍMICAS EM SOLO SUBMETIDO A DIFERENTES FORMAS DE MANEJO DO CAFEIEIRO⁽¹⁾

V. C. A. THEODORO⁽²⁾, M. I. N. ALVARENGA⁽³⁾,
R. J. GUIMARÃES⁽⁴⁾ & C. A. S. SOUZA⁽⁵⁾

RESUMO

A difusão de pacotes tecnológicos que preconizam o uso de altas dosagens de adubos químicos e o controle de pragas e doenças, como métodos para manter o potencial produtivo das lavouras, obriga o produtor a utilizar aplicações sistemáticas de fertilizantes inorgânicos e pesticidas, o que vem afetando a sustentabilidade do agroecossistema cafeeiro, gerando uma total dependência de insumos industrializados. O objetivo deste estudo foi relacionar as mudanças nas características químicas, físicas e microbiológicas de um Latossolo Vermelho distrófico (LVd), da região de Santo Antônio do Amparo (MG), sob agroecossistemas de produção de “café orgânico”, “em conversão” e “convencional”, em relação a um fragmento de mata nativa. Em duas fazendas sob influência de condições similares de clima e relevo, apresentando o mesmo cultivar (Acaiá IAC474-19) e idade da lavoura (cinco anos), foi realizado um levantamento de dados por um período de um ano. O solo foi amostrado na profundidade de 0-20 cm, em duas épocas (julho/1999 e dezembro/1999). A análise de componentes principais permitiu uma visualização conjunta das características que mais influenciaram no comportamento do solo dos diferentes sistemas estudados. De modo geral, as formas de manejo para produção de café orgânico, em conversão e convencional, proporcionaram aumentos na fertilidade do solo, quando comparados com a condição do solo do fragmento de mata nativa. No agroecossistema de produção de café orgânico, foram obtidas maiores alterações das características químicas em relação ao convencional; houve incrementos no pH e nos valores de Ca, Mg, K, P, Zn, B, CTC do solo, soma de bases, saturação por bases e diminuição do Al trocável.

Termos de indexação: *Coffea arabica*, manejo do solo, agricultura orgânica, características.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado da primeira autora, submetida à Universidade Federal de Lavras – UFLA. Recebido para publicação em agosto de 2002 e aprovado em setembro de 2003.

⁽²⁾ Doutoranda, Departamento de Agricultura, Universidade Federal de Lavras – UFLA. Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras (MG). E-mail: vantheodor@bol.com.br

⁽³⁾ Pesquisadora da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG/CTSM. Caixa Postal 176, CEP 37200-000 Lavras (MG). E-mail: mines@ufla.br

⁽⁴⁾ Professor Adjunto do Departamento de Agricultura, UFLA. E-mail: rubensjg@ufla.br

⁽⁵⁾ Professor Visitante do Departamento de Agricultura, UFLA. E-mail: casouza@ufla.br

SUMMARY: CHEMICAL CHANGES OF A SOIL UNDER DIFFERENT MANAGEMENT FORMS OF COFFEE PLANTATION

Widespread marketing technologies recommend the use of high doses of chemical fertilizers and the control of pests and diseases to maintain the productive potential of farms. This affects the sustainability of the coffee agroecosystem, creating a total dependence of industrialized products. The objective of this study was to compare the alterations of some chemical, physical, and microbiological characteristics of a Typic Hapludox from the region of Santo Antônio do Amparo (Minas Gerais State, Brazil), in agroecosystems of "organic coffee", "in conversion", and "conventional" coffee production, to a native forest fragment. Data were collected throughout one year on two farms, under the influence of similar climate and relief conditions, and using the same cultivar (Acaiá IAC474-19) of equal age (five years). Soil samples were collected twice (July 1999 and December 1999) at a depth of 0-20 cm. The principal component analysis allowed a comprehensive visualization of the characteristics that most influenced the soil behavior in the different studied systems. In general, the management forms for the production of organic, in conversion and conventional plantations increased the soil fertility in comparison to the soil under the native forest fragment. Larger chemical characteristic alterations were observed in the agroecosystem of organic coffee production in relation to the conventional; there were increments in the values of soil pH and Ca, Mg, K, P, Zn, B, CTC, base saturation, and decrease of exchangeable Al.

Index terms: Coffea arabica, soil management, organic agriculture, characteristics.

INTRODUÇÃO

As commodities agrícolas tradicionais, como o café, nas últimas três décadas, vêm requerendo escalas de produção para compensar os custos crescentes de produção, que reduzem as margens de lucro. Assim sendo, os sistemas de produção orgânica, embora apresentem menor produtividade que os sistemas convencionais, podem mostrar melhor desempenho econômico, traduzido por maiores relações custo-benefício e maiores rendas efetivas (Carmo & Magalhães, 1999). Além desses fatores, a crescente demanda mundial por alimentos mais saudáveis tem colocado a cafeicultura orgânica, que preconiza a não-utilização de pesticidas e fertilizantes inorgânicos, o manejo racional dos recursos naturais e a valorização social do trabalhador rural, como uma alternativa viável, principalmente para a agricultura familiar.

Algumas práticas utilizadas no sistema convencional de produção do café já vêm sendo empregadas na produção de café orgânico, como, por exemplo, o uso de cultivares resistentes às pragas e doenças e com maior eficiência nutricional (Lima et al., 2002). Sabe-se também que os espaçamentos adensados têm proporcionado redução na erosão, aumentos nos conteúdos de matéria orgânica e de nutrientes no solo, a longo prazo (Pavan et al., 1997). Estudos a respeito da população ideal apontam uma

densidade próxima de 6.000 plantas ha⁻¹ (Arcila-Pulgarin & Chaves-Córdoba, 1995; Nacif, 1997).

Trabalhos têm comprovado que o aumento da população de cafeeiros por unidade de área proporciona incremento na produção. Entretanto, resultados contraditórios quanto à utilização da matéria orgânica em plantios comerciais de café estão relatados em diversos trabalhos. A matéria orgânica, desde que utilizada de forma equilibrada e balanceada, observando-se o conteúdo de nutrientes e o seu preço final, poderia substituir a adubação química (Viana & Miguel, 1992; Fernandes et al., 2000). A possibilidade de substituição parcial das adubações NPK por adubos orgânicos é evidenciada em outros estudos, desde que se mantenha o equilíbrio das adubações com estes nutrientes para o café (Bragança, 1985; Furtini Neto et al., 1995; Barros et al., 1999).

Sendo assim, o conhecimento multidisciplinar que permita integrar os diversos componentes de um agroecossistema é imprescindível a pesquisas que envolvem a cafeicultura orgânica.

Esse estudo teve por objetivo relacionar as mudanças nas características químicas, físicas e microbiológicas de um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) cultivado com cafeeiros orgânicos, em conversão e convencional, em relação a um fragmento de mata nativa.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado com base em banco de dados levantados ao longo de um ano (1999). As áreas de estudo, situadas no município de Santo Antônio do Amparo (MG), apresentam as seguintes características: (a) Mata Nativa – (MN): segundo Golfari (1975), a vegetação dominante da região das terras altas do Campos das Vertentes é composta por florestas perenifólias ou subperenifólias com ocorrência de cerrado, sendo a vegetação primitiva formada por floresta subperenifólia. As matas remanescentes, que cobrem, aproximadamente 5 % da área, são constituídas, em sua maioria, por formações secundárias; (b) Café Orgânico – (O): a forma de manejo para produção de “café orgânico”, na Fazenda Cachoeira (MG), caracteriza-se desde o início (02/1995) pela adoção do manejo da lavoura, de acordo com as normas de agricultura orgânica (Brasil, 1999). O manejo orgânico da lavoura constou de adubações orgânicas (esterco de galinha, húmus de minhoca, composto à base de esterco de gado e cascas do fruto do caféiro e dejetos de suínos), calagem, adubação verde (*Crotalaria juncea*, *Cajanus cajan*), adubação fosfatada (termofosfato), adubações foliares com micronutrientes e calda bordalesa. A propriedade apresenta área total de 772,2 ha, dos quais 70,25 ha são plantados com caféiro. A variedade cultivada é a Acaia (IAC474-19), com espaçamento de 2,0 x 1,0 m e idade de cinco anos; (c) Café em Conversão – (E): a área da forma de manejo “em conversão”, de 9,1 ha, localiza-se logo abaixo da lavoura orgânica na Fazenda Cachoeira (MG) e apresenta a mesma variedade, espaçamento e idade da lavoura orgânica. O processo de conversão caracteriza o período de transição da agricultura convencional para a agricultura orgânica. Portanto, esta lavoura recebeu manejo convencional desde a sua instalação, em 02/1995 até 07/1998. A partir de 09/1998, o manejo da lavoura foi o mesmo adotado para a lavoura orgânica, e (d) Café Convencional – (CV): a forma de manejo para produção de “café convencional” localiza-se na Fazenda Taquaril (MG). Também apresenta as mesmas variedades e idades da lavoura orgânica e em conversão, exceto o espaçamento (2,0 x 0,8 m). A propriedade dispõe de uma área total de 190,0 ha, dos quais 35,0 ha são plantados com caféiro. O manejo convencional, desde o início da lavoura, constou de adubações com uréia, sulfato de amônio, superfosfato simples, cloreto de potássio, utilização de herbicidas (Oxyfluorfen, Glyphosate, Paraquat), fungicida (Epoconazole), adubação orgânica com casca do fruto do caféiro e adubações foliares com micronutrientes.

Métodos de amostragem e de análises laboratoriais

A demarcação de talhões foi feita com um número médio de 2.500 covas. Cada talhão apresentou

quatro parcelas experimentais, cada uma com quarenta plantas: dezesseis plantas úteis e vinte e quatro plantas na bordadura.

As amostragens para as análises físicas e químicas do solo foram realizadas em 07/1999 e para as análises microbiológicas nos períodos seco (07/1999) e chuvoso (12/1999).

O solo foi amostrado na profundidade de 0-20 cm para avaliação da fertilidade. As amostragens foram feitas com trado holandês, na projeção da copa do caféiro. No fragmento de mata nativa, foram estabelecidos quatro parcelas de amostragem com doze pontos de coleta, para formação de amostra composta. Este procedimento foi adotado para os talhões de “café orgânico”, “em conversão” e “convencional”.

O pH em H₂O na relação 1:2,5 (solo:água) e os teores de Al trocável (extraído com KCl 1 mol L⁻¹ e analisado por titulometria com NaOH 0,025 mol L⁻¹), Ca e Mg trocáveis (extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por titulometria com EDTA 0,0125 mol L⁻¹) foram obtidos segundo métodos descritos em EMBRAPA (1997). O P e o K disponíveis foram obtidos com a solução extratora Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹) e analisados por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente (EMBRAPA, 1997). O enxofre foi extraído por fosfato monocálcico com 500 mg L⁻¹ de P e determinado por turbidimetria (Blanchar et al., 1965), e os teores de B disponível (extração com água quente) e a matéria orgânica (digestão úmida), segundo técnicas descritas por Reisenauer et al. (1973). O Zn (DTPA) foi analisado segundo Raij et al. (1987).

As amostragens para determinação das características físicas do solo foram feitas na projeção da copa do caféiro, a uma profundidade de 0-20 cm, nas quatro repetições/talhão em todos os tratamentos. Foram adotadas quatro repetições para amostras deformadas e indeformadas (anel volumétrico). A estabilidade de agregados foi determinada segundo Kemper & Chepil (1965) em amostras formadas de torrões com cerca de 500 g, por peneiramento via úmida, por agitação mecânica com oscilação vertical dentro de recipientes com água. A determinação da umidade do solo (UA) foi realizada em amostras acondicionadas em latas de alumínio vedadas com fita gomada até o processamento em laboratório. Esta consistiu em secagem em estufa a 105-110 °C, até peso constante (EMBRAPA, 1997).

A densidade do solo (Ds), a macroporosidade e a microporosidade foram determinadas a partir de monólitos de solo retirados com o amostrador de Uhland. A Ds foi obtida pela razão entre a massa da amostra seca a 105-110 °C e o volume do cilindro (EMBRAPA, 1997). A macro e a microporosidade do solo foram determinadas em mesa de tensão, segundo métodos descritos por Grohmann (1960) e Oliveira (1968).

As amostras utilizadas para quantificação do carbono da biomassa microbiana do solo foram coletadas na projeção da copa do cafeeiro na área central das 16 plantas úteis (profundidade de 0-20 cm). Em cada época de amostragem, foram realizadas quatro repetições para as análises do solo coletado nas áreas experimentais. O carbono da biomassa microbiana foi estimado pelo método da fumigação-incubação (Joergensen, 1995), adaptado em amostras retiradas com trado holandês.

Análises estatísticas

A análise de variância foi efetuada segundo delineamento inteiramente casualizado, com três formas de manejo do cafeeiro e fragmento de mata nativa e quatro repetições. A diferença entre as médias foi avaliada com uso do teste de Duncan a 5 %.

Para avaliar as possíveis alterações das características físicas, químicas e microbiológicas do solo em decorrência de diferentes manejos, compararam-se os resultados obtidos nas quatro formas de manejo (O, E, CV e MN), em relação ao fragmento de mata nativa, para as quais se procedeu à análise de componentes principais (ACP), utilizando o programa CANOCO (Ter Braak, 1987) para a profundidade de 0-20 cm. As variáveis foram padronizadas, a fim de reduzir efeitos de escala. As amostras (formas de manejo e fragmento de mata nativa) e as variáveis (características químicas, físicas e microbiológicas do solo) foram transformadas em coordenadas (*scores*) que correspondem à sua projeção nos eixos de ordenação, ou autovetores (*eigenectores*), representando o peso de cada parcela ou variável sobre o eixo, as quais podem ser vistas como equivalentes ao grau de correlação destas com o eixo em questão (Alvarenga & Davide, 1999). O autovalor (*eigenvalue*), que é a soma ao quadrado dos "scores" de cada eixo, representa o maior grau de correlação possível de todas as parcelas ou variáveis com o eixo e dá uma indicação direta da contribuição relativa de cada eixo para a explicação da variância total dos dados (Ter Braak, 1987). O critério para os autovalores foi de $l \geq 0,30$.

As características de fertilidade do solo selecionadas para tratamento de agrupamento por análise multivariada foram: Al, P, K, Ca, Mg, S, soma de bases (SB), B e Zn. Foram utilizados cinco características físicas do solo: percentagem de agregados > 2 mm (Agreg), microporosidade (micro), macroporosidade (macro), umidade atual (UA) e densidade do solo (Ds). Em relação à microbiologia do solo, foi analisada a variável carbono da biomassa microbiana do solo (BM). As amostras e as variáveis foram transformadas conforme recomendado por Ter Braak (1987).

Um ponto qualquer plotado no diagrama (representando uma parcela de amostragem das formas de manejo para produção de café orgânico,

em conversão e convencional, e o fragmento de mata nativa) pode ser relacionado com cada seta (representando uma característica do solo), traçando-se uma perpendicular, que vai da linha da seta até o referido ponto. A ordem na qual os pontos projetam-se na seta, da sua extremidade até a sua origem, dá uma indicação dessa relação. Tratamentos com sua projeção perpendicular próxima ou além da ponta da seta são mais positivamente correlacionados e influenciados pela característica em questão. Características localizadas na extremidade oposta são influenciadas em menor grau. O ângulo de inclinação de cada seta, com relação a cada eixo, indica quão estreitamente correlacionada está a característica com esse eixo (Alvarenga & Davide, 1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis da acidez do solo (pH, H + Al e Al³⁺) na camada superficial apresentaram diferença estatística entre o fragmento de mata nativa (MN) e as formas de manejo do cafeeiro estudadas. O solo estudado (LVd) registrou acidez média (pH = 5,15) (Figura 1c) e pobreza em bases (0,98 cmol_c kg⁻¹) (Figura 1d), refletindo uma baixa fertilidade natural. Ao longo dos anos, condições de precipitação mais intensa promoveram grande lixiviação das bases, permanecendo no complexo de troca, predominantemente os cátions H e Al. Foram detectados: o teor médio para Al³⁺ (0,51 cmol_c kg⁻¹) (Figura 1a) e o valor alto para H + Al (5,01 cmol_c kg⁻¹) no (MN) (Figura 1b), relacionados com a dissociação do H⁺ de grupos fenólicos e carboxílicos da matéria orgânica, principais fornecedores de prótons ao solo, principalmente em ecossistemas naturais. Este fato evidencia a importância da calagem e adubações equilibradas, principalmente no manejo de culturas perenes.

Os valores de pH (Figura 1c) foram mais elevados, principalmente nas formas de manejo "café orgânico" (O), com acidez fraca (6,78) e "café em conversão" (E) com acidez média (6,08). O aumento do pH nessas formas de manejo do cafeeiro pode estar diretamente relacionado com algumas práticas, a saber: a calagem realizada de acordo com análise de solo, a adubação orgânica e a cobertura vegetal permanente do solo, corroborando com Pavan et al. (1997) que observaram, em cafeeiro adensado, que o acúmulo de matéria orgânica no solo significa redução de perdas de ânions orgânicos do sistema e aumento do consumo de H⁺. O maior acúmulo de ânions orgânicos em lavoura adensada aumenta o consumo de H⁺, liberado na rizosfera em resposta à absorção de NH₄⁺ e H⁺ produzido pela oxidação de NH₄⁺ ou R-NH₂ a NO₃⁻. A alcalinização dos solos, com o emprego de técnicas de cobertura morta com resíduos vegetais, também foi observada em lavouras cafeeiras por Pavan et al. (1986a), Pavan et al. (1986b) e Paes et al. (1996).

A ausência de Al^{3+} no solo, detectada nas formas de manejo (O) e (E) (Figura 1a), possivelmente pode ser atribuída ao aumento do pH, reduzindo a solubilidade do Al. Também não se descarta a provável reação de complexação do Al com compostos

orgânicos, depositados em maiores quantidades no solo, em plantios orgânicos. A complexação do Al pela matéria orgânica foi demonstrada por Sidiras & Pavan (1985); Miyazawa et al. (1992) e Alcântara (1997).

Na forma de manejo de “café convencional” (CV), detectou-se acidez média (5,4), o que indicou a ocorrência de acidificação do solo, com abaixamento do pH em 1,38 unidade em relação ao valor de pH (6,78) obtido para a forma de manejo (O) (Figura 1c).

Resultados similares foram encontrados em pomar de laranja sob manejo convencional, após 18 anos da sua implantação e retirada da vegetação nativa (Sanches, 1998). O abaixamento do pH pode ser correlacionado com o uso de fertilizantes nitrogenados na forma de manejo (CV), principalmente aqueles que contêm N na forma amoniacal ou amídica (sulfato de amônio e, ou, uréia), que geram H^+ ao serem nitrificados no solo. A acidificação do solo gerada pela utilização de fertilizantes minerais em cobertura foi detectada por Moraes et al. (1979); Pavan et al. (1986b) e Pavan (1992).

É importante salientar que o uso exclusivo de adubos minerais, sem promover calagens adequadas e adubação orgânica, principalmente em culturas perenes, pode levar os solos a perderem rapidamente a sua fertilidade, em decorrência da acidificação, mobilização de elementos tóxicos (Al, Fe e Mn), imobilização de nutrientes e mineralização da matéria orgânica do solo (Theodoro, 2001). Outro fator a ser considerado é que a utilização do cloreto de potássio, principal fonte de adubação potássica para lavouras convencionais, pode ocasionar perda da qualidade de grãos de café (Silva, 1999).

As médias obtidas para a soma de bases (SB) dos tratamentos refletiram o comportamento das bases (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) no solo, em resposta aos manejos adotados (Figura 1d). O valor de SB da forma de manejo (O) foi classificado pela CFSEMG (1999) como muito bom ($> 6,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), enquanto nas formas de manejo (CV) e (E), os valores obtidos foram classificados como bons ($3,61 \text{ a } 6,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). A maior SB detectada na forma de manejo (O), que apresenta conseqüentemente uma alta CTC efetiva (Figura 1e), está relacionada com o aumento do pH e dos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ . Esses resultados foram obtidos pela aplicação de matéria orgânica na forma de composto orgânico, esterco de galinha, húmus de minhoca e dejetos de suínos (Araújo et al., 1982; Mazur et al., 1983; Santos et al., 1992).

Observou-se, ainda, teor médio de matéria orgânica (MO) (de 2,01 a $4,0 \text{ dag kg}^{-1}$) em todos os tratamentos (Figura 2a). A forma de manejo (CV) registrou o maior teor de MO; isto pode ser conseqüência da prática de aplicação de casca de frutos do café com periodicidade bianual e análise do histórico de utilização da área

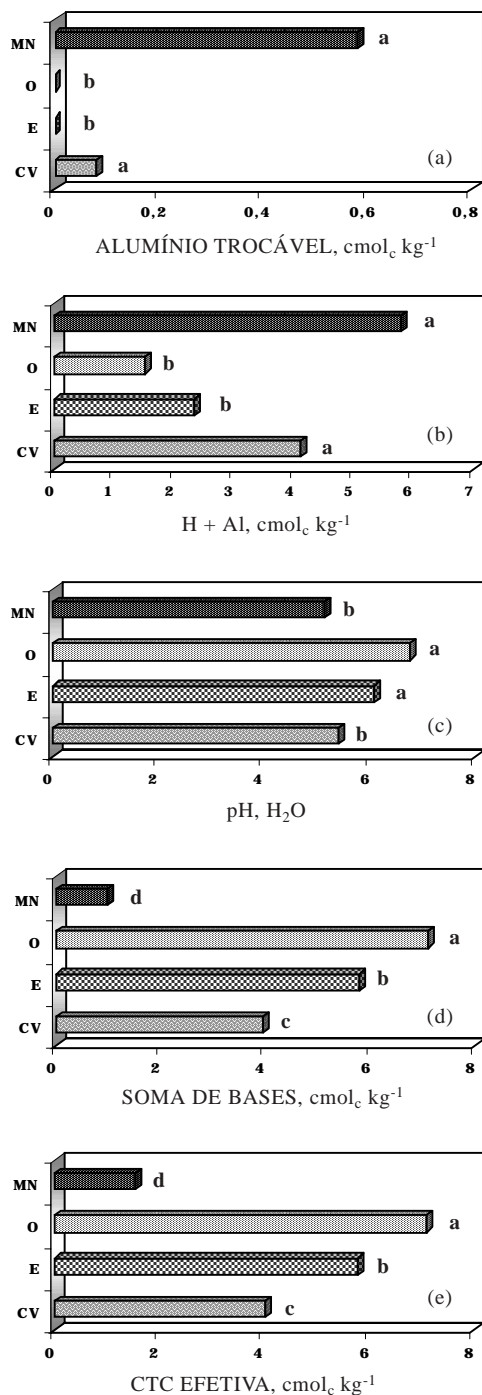


Figura 1. Alterações nas características químicas de um LVd, sob fragmento de mata nativa (MN) e diferentes formas de manejo do cafeeiro (O, orgânico; E, em conversão; CV, convencional). Barras com letras iguais não apresentam diferença estatística pelo teste de Duncan a 5 %.

experimental convencional, onde, há 40 anos, a lavoura de cafeeiro foi tratada, exclusivamente, com adubação orgânica. Para Rasmussen & Collins (1991), o teor de MO em solos cultivados muda lentamente com o tempo, conforme o manejo, e as diferenças são difíceis de ser detectadas a curto prazo. Entretanto, com o transcorrer de muitos anos, essas diferenças tornam-se grandes o suficiente para observação de variabilidade analítica. De acordo com Siqueira & Franco (1988), grande parte do C dos restos orgânicos recém-depositados sobre o solo é muito lábil, sendo reciclado em, no máximo, dez anos. O restante pode ser transformado em ácidos fúlvicos, que são reciclados a cada 100 anos, e ácidos húmicos e humina, que exibem elevada estabilidade química, podendo demorar mil anos para serem reciclados, acumulando-se lentamente no perfil do solo e passando a fazer parte definitiva da sua fração coloidal.

Os teores elevados de P disponível no solo, nas formas de manejo (O) e (E) (Figura 2b), podem estar relacionados com as quantidades deste nutriente adicionadas via adubação, cuja fonte utilizada é o termofosfato, que apresenta solubilidade média. Tomé Jr. (1997) ressalta que os solos que receberam aplicações de termofosfatos e esterco de aves poedeiras, quando analisados no extrato obtido com a utilização do Mehlich-1, podem apresentar resultados falsamente elevados. Estes produtos contêm formas de P que são pouco solúveis em água, portanto, nem todo o seu P é disponível às plantas, mas a acidez do Mehlich (que tem seu pH em torno de 1,2) pode dissolver tais formas de P. Outro fator que concorre para obtenção de altos teores de P no solo é o seu suprimento via matéria orgânica, proporcionado com a liberação causada pela elevação do pH, além daquele que foi adicionado pela adubação. A disponibilidade de P na presença de ácidos orgânicos foi confirmada por Iyamuremye & Dick (1996).

As características físicas do solo demonstraram, de maneira geral, a não-degradação de sua qualidade, a qual foi relacionada com as formas de manejo do cafeeiro. Foram obtidos resultados similares para as características macroporosidade e densidade do solo (Quadro 1). Alguns fatores podem ter favorecido a obtenção desses resultados, como o período relativamente curto de avaliação (cinco anos) e a adoção do adensamento em todos as formas de manejo do cafeeiro amostradas, o que restringe a mecanização dos tratos culturais após o estabelecimento da cultura. Observou-se que a estabilidade de agregados foi maior no solo sob (MN), graças à permanência de maior percentagem de agregados maiores que 2 mm de diâmetro, confirmando os resultados obtidos nas condições de Spera (1995).

A análise de componentes principais (ACP) está representada na figura 3, sendo a distribuição dos tratamentos (O, E, MN, CV) feita por pontos,

indicando sua correlação com os eixos. As características do solo são representadas por setas, indicando a direção do gradiente máximo das mesmas, sendo o comprimento da seta proporcional à correlação da característica com os eixos e a sua importância na explicação da variância projetada em cada eixo.

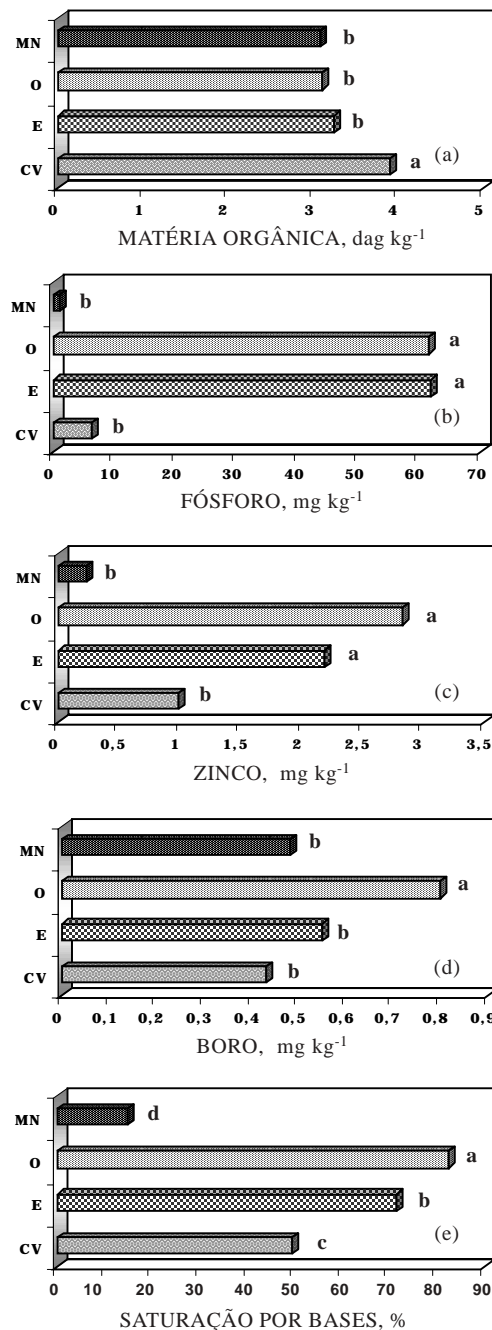


Figura 2. Alterações nas características químicas de um LVd, sob fragmento de mata nativa (MN) e diferentes formas de manejo do cafeeiro (O, orgânico; E, em conversão; CV, convencional). Barras com letras iguais não apresentam diferença estatística pelo teste de Duncan a 5 %.

Quadro 1. Valores de densidade do solo, umidade atual, agregados maiores que 2 mm, macroporosidade e microporosidade

| Tratamento | Densidade do solo | Umidade atual | Agregados > 2 mm | Macroporosidade | Microporosidade |
|------------|--------------------|--------------------|------------------|----------------------------------|-----------------|
| | g cm ⁻³ | g kg ⁻¹ | | cm ³ cm ⁻³ | |
| CV | 1,20 a | 148,0 a | 385,8 b | 0,14 a | 0,41 a |
| E | 1,21 a | 180,3 a | 234,5 b | 0,20 a | 0,27 bc |
| O | 1,27 a | 189,6 a | 232,0 b | 0,14 a | 0,38 ac |
| MN | 1,20 a | 193,1 a | 781,7 a | 0,18 a | 0,36 ac |
| Média | 1,22 | 177,7 | 781,8 | 0,17 | 0,35 |

Valores precedidos de mesma letra, na vertical, não diferem significativamente a 5 %, segundo o teste de Duncan. Tratamentos: CV - forma de manejo de "café convencional", MN - fragmento de mata nativa, O - forma de manejo de "café orgânico" e E - forma de manejo de "café em conversão".

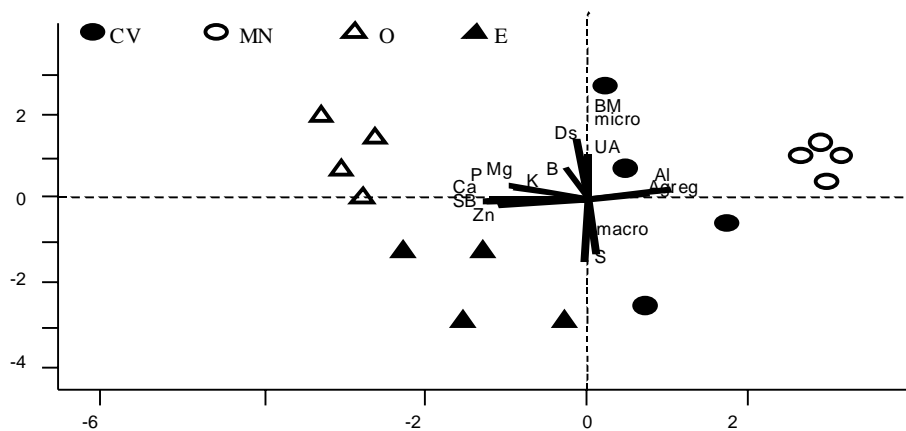


Figura 3. Diagrama de ordenação produzido por análise de componentes principais na camada de 0-20 cm das características químicas, físicas e microbiológicas do solo, em que: Al - alumínio trocável, P - fósforo, K - potássio, Ca - cálcio, Mg - magnésio, S - enxofre, SB - soma de bases, B - boro e Zn - zinco, Agreg - percentagem de agregados > 2 mm, micro - microporosidade, macro - macroporosidade, UA - umidade atual, Ds - densidade do solo, BM - carbono da biomassa microbiana do solo. CV - forma de manejo de "café convencional", MN - fragmento de mata nativa, O - forma de manejo de "café orgânico", E - forma de manejo de "café em conversão".

A ACP apresentou autovalores de 39,0 %, para o primeiro eixo (horizontal), e 19,0 %, para o segundo eixo (vertical), o que representa 59,0 % da variância total acumulada nos dois primeiros eixos, sendo a maior percentagem explicada pelo primeiro eixo. As características químicas foram as que apresentaram correlação com o primeiro eixo: (SB) com índice de correlação igual a (-0,36); (Ca -0,35); (Zn -0,34); (Mg -0,33); (Al 0,32); (P -0,31) e (K -0,31). No segundo eixo, não foi registrada nenhuma característica com correlação significativa.

No primeiro eixo, observaram-se maiores correlações para as características químicas do solo, o que possibilitou detectar diferenças nítidas entre as formas de manejo (O), (E) e (CV) e o fragmento de mata nativa.

De maneira geral, pode-se visualizar (Figura 3), o agrupamento do (MN) e dos diferentes sistemas do cafeeiro, representados pelos pontos do diagrama em relação ao primeiro eixo (horizontal) e ao segundo eixo (vertical), em resposta às formas de manejo adotadas. Sob essa ótica, percebe-se, nitidamente, o agrupamento das parcelas da forma de manejo (O) no quadrante superior esquerdo, seguido da forma de manejo (E) posicionada entre os agrupamentos das parcelas da forma de manejo (O) e (CV), refletindo sua natureza intermediária (período de conversão para a agricultura orgânica).

As parcelas do (MN) se agruparam no quadrante superior direito, com comportamento distinto em relação às formas de manejo do cafeeiro avaliadas. Entretanto, para a forma de manejo (CV), não se

observou um agrupamento nítido de suas parcelas, estando dispersas nos quadrantes, superior e inferior direito, indicando que as parcelas apresentaram menor correlação com as características químicas de maior relevância (SB, Ca, Zn, Mg, P e K).

O (MN) foi o sistema que se posicionou mais à direita do diagrama, indicando que o Al (correlacionado com o primeiro eixo) foi a característica de maior influência para este sistema, caracterizando a condição natural do solo, sem interferência antrópica. Observou-se, ainda, que a forma de manejo (O) foi a que se posicionou mais à esquerda do diagrama na parte superior, seguido pela forma de manejo (E) na parte inferior, indicando que as características mais correlacionadas com o primeiro eixo foram também os fatores que mais influenciaram o comportamento dessas formas de manejo do cafeeiro (SB, Ca, Zn, Mg, P e K).

Na análise de componentes principais, verificou-se que as características de fertilidade na camada superficial do solo foram as que mais se diferenciaram. Não foram verificadas diferenças significativas entre o fragmento de mata nativa e as diferentes formas de manejo do cafeeiro avaliadas neste trabalho, para os valores obtidos para o carbono da biomassa microbiana do solo. Apesar da intempérie climática (seca prolongada) na região de Santo Antônio do Amparo (MG), a média do carbono da biomassa do solo em todos os tratamentos na época chuvosa (541,0 $\mu\text{g g}^{-1}$ de C no solo) foi maior do que a média obtida na época seca (245,0 $\mu\text{g g}^{-1}$ de C no solo).

CONCLUSÕES

1. De modo geral, as formas de manejo para produção de “café orgânico”, “em conversão” e “convencional”, proporcionaram aumentos na fertilidade do solo, quando comparados com a condição do solo do fragmento de mata nativa, sendo essas alterações mais evidentes na camada superficial do solo.

2. As características do solo mais correlacionadas com as alterações nos sistemas estudados foram: o Al, o P, o K, o Ca, o Mg, o S, a soma de bases, o B, o Zn, a percentagem de agregados maiores que 2 mm, a microporosidade, a macroporosidade, a umidade atual, a densidade do solo e o carbono da biomassa microbiana do solo.

3. O manejo do café orgânico registrou maior alteração nas características químicas do solo em relação ao convencional. Houve incrementos no pH e nos valores de Ca, Mg, K, P, Zn, B, CTC do solo, SB, V % e diminuição do Al trocável.

4. O fragmento de mata nativa apresentou os maiores valores para a acidez do solo, enquanto o alumínio trocável revelou menor degradação da estrutura do solo.

LITERATURA CITADA

- ALCANTARA, E.N. Efeito de diferentes métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sobre a qualidade de um Latossolo Roxo distrófico. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1997. 133p. (Tese de Doutorado)
- ALVARENGA, M.I.N. & DAVIDE, A.C. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. R. Bras. Ci. Solo, 23:933-942, 1999.
- ARAÚJO, R.S.; MACHADO, N.F.; PESSANHA, G.G.; ALMEIDA, D.L. & DUQUE, F.F. Efeitos da adubação fosfatada, do esterco de curral e da inoculação na nodulação, fixação do nitrogênio atmosférico e rendimento do feijoeiro. R. Bras. Ci. Solo, 6:105-112, 1982.
- ARCILA-PULGARÍN, J. & CHAVES-CÓRDOBA, B. Dessarolo foliar del cafeto en tres densidades de siembra. Cenicafé, 46:5-20, 1995.
- BARROS, U.V.; BARBOSA, C.M.; MATIELLO, J.B. & SANTINATO, R. Doses e modo de aplicação da palha de café e esterco de gado associado ao adubo químico, na formação e produção do cafeeiro na Zona da Mata. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 25., Franca, 1999. Anais. Franca, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1999. p.35.
- BLANCHAR, R.W.; REHM, G. & CALDWELL, A.C. Sulfur in plant material digestion with nitric and perchloric acid. Proc. Soil Sci. Soc. Am., 29:61-71, 1965.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução Normativa, nº 7, de 17 de maio de 1999. Dispõe sobre a produção de produtos orgânicos vegetais e animais. LEX – coletânea de Legislação e Jurisprudência: legislação federal e marginália. São Paulo, 1999. v.63, t.5, p.2465-2476.
- CARMO, M.S. & MAGALHÃES, M.M. Agricultura sustentável: avaliação da eficiência técnica e econômica de atividades agropecuárias selecionadas no sistema não convencional de produção. Informações Econômicas, 29:7-46, 1999.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª aproximação. Viçosa, 1999. 359p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS, 1)
- FERNANDES, A.L.T.; SANTINATO, R.; DRUMOND, L.C.D.; SILVA, R.P. & OLIVEIRA, C.B. Estudo de fontes e doses de matéria orgânica para adubação de cafeeiro cultivado no cerrado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., Poços de Caldas, 2000. Resumos expandidos. Brasília, EMBRAPA Café, 2000. p.1024-1027.
- FURTINI NETO, A.E.; CURI, N. & GUIMARÃES, P.T.G. Fontes de matéria orgânica e fertilização química na formação e produção de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em Latossolo da região dos cerrados. Ci. Prát., 19:265-271, 1995.

- GOLFARI, L. Projeto de desenvolvimento e pesquisa florestal: zoneamento ecológico do estado de Minas Gerais para reflorestamento. Belo Horizonte, Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 1975. 65p.
- GROHMANN, F. Distribuição e tamanho dos poros em três tipos de solos do estado de São Paulo. *Bragantia*, 19:203-210, 1960.
- IYAMUREMYE, F. & DICK, R.P. Organic amendments and phosphorus sorption by soils. *Adv. Agron.*, 56:139-185, 1996.
- JOERGENSEN, R. The fumigation extraction method. In: ALEF, K. & CACNIO, V.N., eds. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. London, Academy Press, 1995. p.382-387.
- KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. 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.
- LIMA, P.C.; MOURA, W.M.; AZEVEDO, M.S.F.R. & CARVALHO, A.F. Estabelecimento de cafezal orgânico. *Informe Agropecuário*, 23:33-52, 2002.
- MALAVOLTA, E. Nutrição mineral e adubação do cafeeiro, colheitas máximas econômicas. *Agronômica Ceres*, São Paulo, 1993. 210p.
- MAZUR, N.; SANTOS, G.A. & VELLOSO, A.C.X. Efeito do composto de resíduo urbano na disponibilidade de fósforo em solo ácido. *R. Bras. Ci. Solo*, 7:153-159, 1983.
- MIYAZAWA, M.; CHIERICE, G.O. & PAVAN, M.A. Amenização da toxicidade de alumínio às raízes do trigo pela complexação com ácidos orgânicos. *R. Bras. Ci. Solo*, 16:209-215, 1992.
- MORAES, F.R.P.; GALLO, J.R.; IGUE, T. & FIGUEIREDO, J.J. Efeito de três fertilizantes acidificantes sobre a concentração de alumínio e de manganês em folhas e raízes de cafeeiros. *Bragantia*, 38:7-17, 1979.
- NACIF, A.P. Fenologia e produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv. Catuaí sob diferentes densidades de plantio e doses de fertilizantes no cerrado de Patrocínio-MG. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 124p. (Tese de Doutorado)
- OLIVEIRA, L.B. Determinação da macro e microporosidade pela "em mesa de tensão" em amostras de solo com estrutura indeformada. *Pesq. Agropec. Bras.*, 3:197-200, 1968.
- PAES, J.M.V.; ANDREOLA, F.; BRITO, C.H. & LOURES, E.G. Decomposição da palha de café em três tipos de solo e sua influência sobre a CTC e o pH. *R. Ceres*, 43:674-683, 1996.
- PAVAN, M.A. Estratificação da acidez do solo devido a adubação nitrogenada em pomares estabelecidos de macieira. *R. Bras. Frutic.*, 14:135-138, 1992.
- PAVAN, M.A.; CARAMORI, P.H.; ANDROCIOI FILHO, A. & SCHOLZ, M.F. Manejo da cobertura do solo para formação e produção de uma lavoura cafeeira. I. Influência na fertilidade do solo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 21:187-192, 1986a.
- PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.D. & MESQUITA FILHO, L. Manejo da adubação para formação de lavouras cafeeiras. *Pesq. Agropec. Bras.*, 21:33-42, 1986b.
- PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.D.; SIQUEIRA, R. & ANDROCIOI FILHO, A. O sistema de plantio adensado e a melhoria da fertilidade do solo. Piracicaba, Potafós, 1997. p.1-7. (Informações Agronômicas, 80)
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S. & BATAGLIA, O.C. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170p.
- RASMUSSEN, P.E. & COLLINS, H.P. Long-term impacts of tillage, fertilizer and crop residue on soil organic matter in temperate semiarid regions. *Adv. Agron.*, 45:93-134, 1991.
- REISENAUER, H.M.; WALSH, L.M. & HOEFT, R.G. Testing soils for sulfur, boron, molibdenum and chlorine. In: WALSH, L.M. & BEATON, J.D., eds. *Soil testing and plant analysis*. Madison, Soil Science Society of American, 1973. p.418-425.
- SANCHES, A.C. Alterações nas propriedades de um Podzólico Vermelho-Amarelo resultantes da substituição da mata natural pela cultura da laranja. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, 1998. 49p. (Tese de Mestrado)
- SANTOS, C.E.R.S.; STAMFORD, N.P. & SANTOS, D.R. Efeito do composto do lixo urbano suplementado com fósforo e da inoculação com *Bradyrhizobium* em caupi. *R. Bras. Ci. Solo*, 16:25-30, 1992.
- SIDIRAS, N. & PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. *R. Bras. Ci. Solo*, 9:249-254, 1985.
- SILVA, E.B. Fontes e doses de potássio na produção e qualidade do café proveniente de plantas cultivadas em duas condições edafoclimáticas. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1999. 105p. (Tese de Doutorado)
- SIQUEIRA, J.O. & FRANCO, A.A. Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas. Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1988. 235p.
- SPERA, S.T. Inter-relações entre propriedades físico-hídricas do solo e a ocorrência de vegetação de mata e campo adjacentes no Alto Rio Grande (MG). Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1995. 78p. (Tese de Mestrado)
- TER BRAAK, C.J.F. Ordination. In: JONGMAN, R.H.G.; TER BRAAK, C.J.F. & VAN TONGEREN, O.F.R., eds. *Data analysis in community and landscape ecology*. Oxford, University Press, 1987. p.91-173.
- TOMÉ Jr., J.B. Manual para interpretação de análise de solo. Guaíba, Agropecuária, 1997. 247p.
- THEODORO, V.C.A. Caracterização de sistemas de produção de café orgânico, em conversão e convencional. Lavras, Universidade Federal de Lavras 2001. 214p. (Tese de Mestrado)
- VIANA, A.S. & MIGUEL, A.E. Efeitos da adubação química isolada bem como a sua associação com adubos orgânicos na produção de cafeeiros Mundo Novo, em solo LED. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 18., Araxá, 1992. Trabalhos Apresentados. Araxá, Ministério da Agricultura e Abastecimento, 1992. p.113-116.

