

MICRONUTRIENTES EM SOLO E FOLHA DE CAFEIEIRO SOB SISTEMA AGROFLORESTAL NO SUL DE MINAS GERAIS

Davi Lopes do Carmo¹, Dulcimara Carvalho Nannetti², Tales Machado Lacerda³,
Alex Nogueira Nannetti⁴, Djalma José do Espírito Santo⁵

(Recebido: 23 de junho de 2010; aceito 17 de outubro de 2011)

RESUMO: O experimento foi conduzido no bairro Caiana, em duas propriedades contíguas, no município de Machado, Sul de Minas Gerais, objetivando-se avaliar os teores de micronutrientes em solo e folha dos cafeeiros, em sistemas de manejo agroflorestal e convencional, em comparação à mata nativa, no Sul de Minas Gerais. Foram retiradas amostras de solo para as análises químicas de micronutrientes, nas profundidades de 0–20 e 20–40 cm, com a determinação do pH, matéria orgânica, Zn, Fe, Mn, Cu e B. As amostras de solo foram realizadas em três talhões com diferentes manejos, totalizando-se 24 amostras: [(2 profundidades x 2 manejos com cafeeiros x 4 repetições) + (2 profundidades x 1 manejo com mata nativa x 4 repetições)]. Nas plantas de café foram realizadas amostras de tecido foliar para a avaliação nutricional dos teores de boro, Zn, Cu, Fe e Mn. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com três tratamentos e quatro repetições. A análise estatística foi realizada, através do programa estatístico SISVAR e a comparação das médias feitas pelo teste de Scott-Knott, com 5% de probabilidade. O cafeeiro cultivado sob sistema agroflorestal apresentou-se eficiente na ciclagem de micronutrientes em razão dos teores adequados apresentados em tecido foliar para cafeeiros em produção, com exceção do zinco que se apresentou baixo. Esse resultado pode ser justificado pelo aporte contínuo de material vegetal do solo que, ao longo do tempo, após o processo de decomposição, são liberados os micronutrientes para o solo e, posteriormente, para absorção pelas plantas.

Palavras-chave: Fertilidade do solo, cafeicultura, manejo, ciclagem de nutrientes.

MICRONUTRIENTS IN SOIL AND LEAF OF COFFEE PLANTS UNDER AN AGROFOREST SYSTEM IN THE SOUTH OF MINAS GERAIS

ABSTRACT: The experiment was conducted in Caiana district on two contiguous farms in the town of Machado, South of Minas Gerais with the objective of evaluating the contents of micronutrients in the soil and coffee plant leaves in systems of agroforestry and conventional management as compared with the native forests in the South of Minas Gerais. Soil samples for the chemical analyses of micronutrients at the depths of 0–20 and 20–40 cm were taken with determination of pH, organic matter, Zn, Fe, Mn, Cu and B. The soil samples were performed in three stripes of land with different managements, amounting to 24 samples: [(2 depths x 2 managements with coffee plants x 4 replicates) + (2 depths x 1 management with native forest x 4 replicates)]. Foliar tissue samples were conducted on the coffee plants for nutritional evaluation of the contents of boron, Zn, Cu, Fe and Mn. The experimental design was of randomized blocks with three treatments and four replicates. The statistical analysis was undertaken through the statistical program SISVAR and the comparison of the means was done by Scott-Knott test with 5% of probability. The coffee plant cultivated under the agroforestry system proved effective in micronutrient cycling owing to the adequate contents presented in foliar tissue for producing coffee plants with the exception of zinc which was low. This result can be accounted for by the continuous supply of plant matter to the soil that over time, after the decomposition process, micronutrients are released to the soil and afterwards for absorption by the plants.

Key words: Soil fertility, coffee culture, management, nutrient cycling.

1 INTRODUÇÃO

Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) apresentam-se como uma das alternativas promissoras dentre os usos da terra, visando à sustentabilidade do sistema de produção. Esses

sistemas proporcionam maior cobertura do solo, promovem a ciclagem de nutrientes a partir da ação de sistemas radiculares diversos e propiciam um contínuo aporte de matéria orgânica (BREMAN; KESSLER, 1997; SÁNCHEZ, 2001; SCHROTH et al., 2002).

¹Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento Ciência do Solo/DCS – Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras-MG - davigoldan@yahoo.com.br

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - Sul de Minas Gerais - Campus Machado Rodovia Machado-Paraguaçu - Km 07 - 37.750-000 - Machado-MG - dulcimara@mch.ifsuldeminas.edu.br

^{3,5}Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - Sul de Minas Gerais - Campus Machado Rodovia Machado-Paraguaçu - Km 07 - 37.750-000 - Machado-MG - tales_lacerda@yahoo.com.br; dj.santo@uol.com.br

⁴Universidade José do Rosário Vellano/UNIFENAS-MG - alexnannetti@axtelecom.com.br

Os micronutrientes são tão importantes quanto os macronutrientes para a nutrição das plantas, embora as plantas não necessitem deles em grandes quantidades. A falta de qualquer um dos micronutrientes no solo pode limitar o crescimento e a produção das plantas, mesmo quando todos os outros nutrientes essenciais estão presentes em quantidades adequadas. Tem sido sugerido que a maior disponibilidade de resíduos, decorrente da adoção de sistemas conservacionistas, pode aumentar o teor de matéria orgânica do solo (BAYER et al., 2004; SÁ et al., 2001). Isso pode influenciar a disponibilidade de micronutrientes pelo aumento da formação de complexos solúveis com a matéria orgânica do solo e seus produtos de decomposição (JONES et al., 2003). O sucesso de um sistema agroflorestal está relacionado à quantidade de nutrientes fornecida pelo processo de decomposição, decorrente das podas realizadas no local, e como esses nutrientes lançados satisfazem as necessidades da colheita (MENDONÇA; STOTT, 2003).

A matéria orgânica do solo sustenta a comunidade microbiana, que promove o processo de mineralização e a incorporação da matéria orgânica do solo (LAVELLE, 1997). Os micronutrientes metálicos como Mn, Cu, Fe e Zn encontram-se complexados às estruturas orgânicas que são solúveis e desempenham papel fundamental na mobilidade desses elementos no solo (ZECH et al., 1997). Uma vez os nutrientes incorporados nos tecidos dos organismos da comunidade do solo esses não podem ser facilmente perdidos pela lixiviação ou reação com ferro e alumínio. Os principais micronutrientes requeridos pelo cafeeiro são B, Cu, Fe, Mn e Zn, os quais, requeridos em pequenas quantidades, são de grande importância para o crescimento, desenvolvimento e produção do cafeeiro (MIGUEL et al., 2002). A exigência em pequenas quantidades desses nutrientes está ligada, principalmente, por atuarem como catalisadores de reações enzimáticas (FURTINI NETO et al., 2001). Os micronutrientes que mais têm limitado a produção agrícola em solos brasileiros são o boro e o zinco (MALAVOLTA, 1980), devido ao fato de que os solos brasileiros, sobretudo os de cerrados, geralmente são altamente intemperizados e pobres em matéria orgânica.

Dentre os benefícios relevantes para a ciclagem dos nutrientes e a manutenção da matéria orgânica (YOUNG, 1989), está o bombeamento de nutrientes do subsolo pelas raízes profundas das espécies perenes, a

redução nas perdas por lixiviação através da captura de nutrientes móveis pelos sistemas radiculares bem desenvolvidos das espécies perenes e o aumento da proteção do solo contra erosão. Porém ainda há poucas evidências concretas e muito poucos dados que confirmem essas hipóteses, principalmente porque para prová-las adequadamente, são necessários experimentos que comparem um sistema agroflorestal com um sistema não agroflorestal (PANIAGUA et al., 1994).

Devido aos poucos estudos e evidências concretas que comprovem essas hipóteses, objetivou-se avaliar os teores de micronutrientes em solo e folha dos cafeeiros em sistemas de manejo agroflorestal e convencional, em comparação à mata nativa, no Sul de Minas Gerais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no bairro Caiana, em duas propriedades contíguas, no município de Machado, Sul de Minas Gerais, nas proximidades das coordenadas geográficas 21° 39' 59" S e 45° 55' 16" W, em 2008. Os locais apresentam altitude de 900 m e o clima é o Cwa, segundo a classificação de Köppen, apresentando temperaturas moderadas, com verão quente e chuvoso. A temperatura média anual é de 21,2 °C, a média mensal máxima de 27 °C, a média mensal mínima de 14,2 °C, e o índice pluviométrico médio anual é de 1.824 mm (MARQUES, 2003). O solo é classificado como Latossolo Vermelho (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2006), textura argilosa (443 g kg⁻¹ de argila, 385 g kg⁻¹ de areia e 172 g kg⁻¹ de silte) para a mata nativa (MN), e textura franco (273 g kg⁻¹ de argila, 459 g kg⁻¹ de areia e 268 g kg⁻¹ de silte), para os cafeeiros sob sistemas de manejo agroflorestal (CAF) e convencional (CC).

A lavoura de café em sistema convencional foi implantada em 1989, no espaçamento 4,0 x 1,0 m, utilizando-se a cultivar Mundo Novo (IAC 379-19). Para o plantio foram feitas covas para evitar o revolvimento do solo. O solo foi mantido sempre coberto com o manejo das plantas invasoras com aplicação de herbicida de pós-emergência, duas vezes ao ano, e capina mecânica em aproximadamente cinco vezes ao ano, com roçadeira costal motorizada. Todos os tratos culturais foram realizados manualmente. As adubações minerais foram realizadas com o uso de formulações NPK e, juntamente com a calagem, foram

realizadas conforme as recomendações técnicas (GUIMARÃES et al., 1999), de acordo com a análise química do solo. A adubação foliar de micronutrientes foi realizada de acordo com a análise química de folhas.

A lavoura de café em sistema agroflorestal foi implantada em 1985, utilizando-se a variedade Mundo Novo (IAC 379-19), no espaçamento de 3,5 x 1,0 m e em 1998 foi adotado o modelo de produção natural orgânico, em sistema agroflorestal consorciado com frutíferas e árvores nativas. As bananeiras foram cultivadas ao redor dos talhões do cafeeiro para servir como quebra-vento, árvores nativas e plantas anuais cultivadas entre as linhas dos cafeeiros. Essa lavoura recebeu receita total em 2001 e não recebe aplicação de insumos agrícolas desde 1997. A partir dessa data, realiza-se apenas o manejo das plantas invasoras com enxada e roçadeira. A nutrição do cafeeiro é realizada com a aplicação de palha de café e com a serrapilheira acumulada através dos restos de folhas, plantas invasoras e galhos oriundos do sistema agroflorestal. A mata nativa foi utilizada como testemunha para fins de comparação entre as possíveis alterações nas propriedades químicas do solo sob cultivo, por se tratar de um sistema em seu estado natural e sem histórico de atividade antrópica.

Foram retiradas as amostras de solo para as análises químicas de micronutrientes com o auxílio de um trado holandês, nas profundidades de 0 – 20 e 20–40 cm, na projeção da copa dos cafeeiros e de forma aleatória na mata nativa. Essas amostras, após serem secas ao ar, foram peneiradas através de malha de 2 mm de abertura, sendo então analisadas, determinando-se: pH, matéria orgânica, zinco, ferro, manganês, cobre e boro, conforme a metodologia descrita por Vettori (1969). A análise química do solo foi interpretada segundo Guimarães et al. (1999). As amostras de solo foram realizadas em três talhões com diferentes manejos, totalizando-se 24 amostras: [(2 profundidades x 2 manejos com cafeeiros x 4 repetições) + (2 profundidades x 1 manejo com mata nativa x 4 repetições)]. As determinações químicas foram realizadas no Laboratório de Análise de solo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Campus Inconfidentes.

Nos sistemas de cultivo com cafeeiros foram realizadas amostras de tecido foliar para a avaliação nutricional, totalizando-se 8 amostras, quando os frutos encontravam-se em fase final de formação,

em maio. Foram coletadas as folhas do 3º e 4º par de folhas em ramos produtivos, nos quatro quadrantes, em duas posições na parte mediana da planta, e em três plantas correspondentes ao lado da retirada de amostras para as análises químicas de solo, correspondendo a um total de 96 folhas, para cada repetição. O material vegetal após coletado foi lavado em água deionizada e posto para secar em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C até atingir peso constante, conforme descrito por Jones Junior, Wolf e Mills (1991). Para a determinação dos teores de boro, zinco, cobre, ferro e manganês, as folhas foram moídas em moinho tipo Wiley e as análises realizadas conforme metodologia descrita por Malavolta, Yamada e Guidolin (1989). As análises foliares foram realizadas no Laboratório de análises de solo e folha do Centro Superior de Ensino e Pesquisa de Machado – CESEP. O experimento foi analisado-se usando delineamento experimental com restrição na casualização, ou seja, em parcela subsubdividida, com quatro repetições.

A análise estatística foi realizada, através do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2000), sendo os dados submetidos à análise de variância e à comparação das médias feitas pelo teste de Scott-Knott, com 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização de micronutrientes em solo

Os diferentes sistemas de manejo influenciaram os teores de micronutrientes do solo nas duas profundidades e conseqüentemente à disponibilidade e à absorção desses pelos cafeeiros, refletindo o manejo adotado (Tabelas 1 e 2). Os valores de pH apresentaram-se semelhantes nos diferentes sistemas de manejo e não se diferenciaram significativamente, nas duas profundidades. Esse resultado deve-se à aplicação de calcário baseado na análise de solo no manejo convencional, enquanto que, no manejo agroflorestal e na mata nativa, a manutenção do pH certamente foi decorrente dos resíduos vegetais produzidos no local. Conforme Hoyt e Turner (1975) e Hue e Amien (1989) relataram a adição de resíduos vegetais pode diminuir a acidez do solo. Pavan et al. (1997) observaram que, em cafeeiro adensado, o acúmulo de matéria orgânica no solo reduz as perdas de ânions orgânicos e promove o aumento do consumo de H⁺.

TABELA 1 – Teores de micronutrientes no solo, na projeção da copa do cafeeiro, em duas profundidades, sob diferentes sistemas de manejo.

Tratamentos	Zn	Fe	Mn	Cu	B	M.O.	pH em
	mg dm ⁻³					g dm ⁻³	água
0–20 cm							
CC	2,05 b	33,99 b	32,33 c	1,15 b	0,23 b	1,89 b	4,99 a
CAF	7,50 a	33,48 b	59,70 b	2,63 a	0,23 b	3,42 a	5,68 a
MN	7,80 a	47,70 a	96,28 a	0,28 c	0,33 a	3,27 a	5,61 a
CV %	23,65	16,54	10,71	17,89	19,35	29,76	10,30
Média geral	5,95	38,39	62,77	1,35	0,26	2,86	5,43
20–40 cm							
CC	1,20 b	29,75 b	34,90 b	0,28 b	0,28 a	1,80 b	5,12 a
CAF	5,30 a	28,95 b	63,83 a	1,70 a	0,25 a	2,76 a	5,66 a
MN	5,43 a	50,88 a	68,48 a	0,25 b	0,30 a	2,56 a	5,69 a
CV %	21,56	14,83	11,83	26,11	16,03	14,37	8,67
Média geral	3,89	36,53	55,73	0,75	0,28	2,37	5,49

As médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, em 5% de probabilidade.

TABELA 2 – Teores de micronutrientes em tecido foliar, em cafeeiros sob sistemas convencional e agroflorestal.

Tratamentos	Zn	B	Cu	Mn	Fe
	mg kg ⁻¹				
CC	19,50 a	95,15 a	55,00 a	256,25 a	121,50 a
CAF	10,75 b	87,96 a	16,50 b	144,75 b	131,25 a
CV %	31,22	17,32	13,46	25,60	9,73
Média Geral	15,13	91,55	35,75	200	126,38

As médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, em 5% de probabilidade.

O sistema de manejo conservacionista (CAF) e a mata nativa promoveram o acúmulo de matéria orgânica e os teores desse atributo apresentaram-se significativamente maiores nas duas profundidades, em decorrência de resíduos vegetais provenientes da queda natural de folhas, frutos, flores, galhos e através de podas realizadas nas árvores, deixando resíduos depositados na superfície do solo. As concentrações de zinco e manganês apresentaram-se significativamente menores no manejo convencional, quando comparados ao manejo agroflorestal e a mata nativa, nas duas profundidades. O zinco foi classificado como médio (2,05 mg dm⁻³) para o manejo convencional, alto (8,00 a 7,80 mg dm⁻³) para

o manejo agroflorestal e para a mata nativa, na profundidade de 0–20 cm, enquanto que, na profundidade de 20–40 cm, apresentou-se baixo (1,20 mg dm⁻³) para o convencional e bom (5,43 a 5,30 mg dm⁻³) para o manejo agroflorestal e para a mata nativa. O zinco, sendo catiônico, em solos com adequado teor de matéria orgânica, a maior parte do zinco da solução apresenta-se em formas complexadas ou queladas com radicais orgânicos (NETO et al., 2001). Os resultados revelam que, possivelmente, os maiores teores de zinco estão relacionados com os maiores teores de matéria orgânica, nas duas camadas. Conforme relatado por Franzluebbers e Hans (1996), as maiores acumulações

de zinco ocorrem devido ao acúmulo de matéria orgânica. Os teores de manganês foram classificados como altos (32,33 a 96,28 mg dm⁻³) nos três sistemas de manejo e nas duas profundidades.

Os teores de ferro apresentaram-se significativamente maiores em solo sob mata nativa, nas duas profundidades, quando comparados aos manejos com cafeeiros. As concentrações de cobre foram classificadas como altas (1,70 a 2,63 mg dm⁻³) e apresentaram-se significativamente maiores no sistema agroflorestal nas duas profundidades. Tais concentrações de Cu foram razoáveis (1,15 mg dm⁻³) no manejo convencional e baixas (0,28 mg dm⁻³) na mata nativa, na profundidade de 0–20 cm, no entanto, na profundidade de 20–40 cm foram baixos (0,28 mg dm⁻³) para o cafeeiro convencional e para mata nativa. Os baixos teores de cobre no solo sob mata nativa, ocorreram, provavelmente, devido ao maior grau de aromaticidade das substâncias húmicas da matéria orgânica do solo deste sistema, com influências na sua disponibilidade, conforme relatado por Arend (2010). Os valores de boro foram baixos nos diferentes manejos e nas duas profundidades, com exceção da mata nativa e na profundidade de 0–20 cm, apresentaram-se médios (0,33 mg dm⁻³). Segundo Guimarães, Mendes e Souza (2002) o boro é encontrado na matéria orgânica, no entanto, para o manejo agroflorestal que apresentou quase o dobro do teor de matéria orgânica quando comparado ao manejo convencional, o teor de boro mostrou-se similar ao manejo convencional. Esse resultado deve-se, possivelmente, por não se fazer adubações com micronutrientes nesse sistema, tendo em vista que há uma competição pela diversidade de culturas que compõem o sistema agroflorestal, além das quantidades extraídas na produção de café anualmente.

3.2 Caracterização de micronutrientes em folhas

Os teores de zinco, cobre e manganês em tecido foliar apresentaram variações, nos cafeeiros submetidos aos diferentes sistemas de manejo (Tabela 2). Os micronutrientes em tecido foliar foram interpretados conforme a variação mensal dos teores foliares para a cultura do café, segundo Malavolta (1992). Os teores de micronutrientes em tecido foliar apresentaram-se na seguinte ordem decrescente de quantidade Mn>Fe>B>Cu>Zn, para ambos os sistemas de manejo.

O teor de zinco no cafeeiro agroflorestal foi significativamente menor, em comparação ao manejo convencional, entretanto, no solo as concentrações apresentaram-se significativamente maiores, nas duas profundidades, quando comparadas ao manejo convencional. Esses resultados devem-se possivelmente, em virtude da formação de complexos com os ácidos orgânicos, ocasionando a diminuição da solubilidade desse micronutriente no manejo agroflorestal, devido ao maior teor de matéria orgânica encontrado neste manejo, conforme relatado por Baird (2001). Os teores de zinco foram classificados como baixo, para ambos os sistemas de manejo, com valores que variaram de 10,75 a 19,50 mg kg⁻¹, para os manejos agroflorestal e convencional, respectivamente. Esses valores estão próximos daqueles encontrados por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) que variaram entre 15 e 20 mg kg⁻¹, em folhas de café. De acordo com Malavolta (1980), há indicação de que o cafeeiro é pouco eficiente em absorver e translocar esse micronutriente. Em levantamentos do estado nutricional de cafeeiros, realizados por Gallo et al. (1970), Gallo, Hiroce e Coelho (1967) e Garcia, Correa e Freire (1983), esses constataram que a maioria das lavouras avaliadas apresentaram deficiência de zinco.

O cobre em tecido foliar apresentou-se significativamente menor no cafeeiro agroflorestal, enquanto que no solo apresentou-se significativamente maior, nas duas profundidades, quando comparado ao manejo convencional. Esse resultado pode estar ligado à formação de complexos orgânicos, sendo o cobre o micronutriente que mais interage com os compostos orgânicos do solo, formando complexos estáveis, especialmente com grupos carboxílicos e fenólicos, conforme relatado por Abreu et al. (2007). Trabalho realizado por Rena e Favaro (2000), concluiu que a redução dos teores de cobre pode ser devida à complexação com ácidos húmicos. O maior teor de cobre encontrado no cafeeiro sob manejo convencional pode estar relacionado à utilização de produtos à base de cobre, para controle de doenças. No cafeeiro convencional, a concentração de cobre foi classificado como alta (55,00 mg kg⁻¹) e ficou bem acima do valor encontrado no cafeeiro agroflorestal que apresentou-se adequado (16,50 mg kg⁻¹) e dentro da faixa encontrada por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), com valores entre 15 a 20 mg kg⁻¹.

O cafeeiro sob manejo agroflorestal apresentou o teor de manganês em tecido foliar significativamente menor, quando comparado ao convencional, enquanto que no solo as concentrações foram significativamente maiores, nas duas profundidades, quando comparadas ao manejo convencional. Esses resultados podem ser devido à diminuição da solubilidade desse micronutriente, em virtude da formação de complexos com ácidos orgânicos. Esses resultados estão de acordo com os relatados por McLean e Brown (1984) de que, em solos com elevados teores de matéria orgânica, os efeitos tóxicos do manganês são amenizados pelo efeito complexante dos compostos orgânicos. Os teores de manganês foram classificados como adequados ($144,75 \text{ mg kg}^{-1}$) para o manejo agroflorestal e alto ($256,25 \text{ mg kg}^{-1}$) para o manejo convencional. Esses valores estão acima dos encontrados por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) que variaram de 80 a 100 mg kg^{-1} e dos obtidos por Gontijo (2004), com valores de 33,05 a $37,21 \text{ mg kg}^{-1}$ para mudas em saquinho.

Não se verificou efeito significativo em relação aos teores de boro e ferro em tecido foliar nos cafeeiros sob os manejos agroflorestal e convencional. As concentrações de boro em folha variaram de 87,96 a $95,15 \text{ mg kg}^{-1}$ entre os manejos e foram classificados como altos. Esses valores estão bem acima dos encontrados por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), para plantas em produção, com teores de boro variando de 50 a 60 mg kg^{-1} . De acordo com Marzadori et al. (1991), a matéria orgânica exerce importante papel na disponibilidade de B, por minimizar a lixiviação desse elemento e mantê-lo na forma relativamente disponível. Entretanto, o manejo convencional que apresentou o teor de matéria orgânica significativamente menor não interferiu na disponibilidade e nem na absorção, conforme a análise de tecido foliar (Tabela 2).

Os teores de ferro variaram de 121,50 a $131,25 \text{ mg kg}^{-1}$ para ambos os manejos e foram classificados como adequados. Esses resultados ficaram acima dos encontrados por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), com valores entre 80 a 100 mg kg^{-1} e abaixo dos encontrados por Gontijo (2004), com valores na faixa de 209,01 a $213,88 \text{ mg kg}^{-1}$, para mudas em saquinho.

Em um trabalho realizado por Araújo et al. (2007), com composto orgânico e biofertilizante na nutrição do cafeeiro, concluiu-se que, com a elevação

das doses de composto ocorreu diminuição dos teores de boro, cobre, ferro e manganês em tecido foliar. No presente trabalho dados semelhantes foram observados somente para o manganês e cobre, com a diminuição desses elementos em tecido foliar quando se apresentou maior teor de matéria orgânica no solo em cafeeiro, sob sistema agroflorestal. Dynia e Barbosa Filho (1993) observaram que a palha de arroz reduziu a solubilidade do Cu e Zn e não afetou a solubilidade dos outros elementos (Fe e Mn), evidenciando a importância da formação de complexos estáveis do Cu e Zn, com ligantes orgânicos liberados na decomposição da palha de arroz.

As concentrações encontradas de zinco, boro, cobre, manganês e ferro no manejo agroflorestal, pode ser devido à deposição da serrapilheira ao longo do tempo, que para Vitousek e Sanford (1986), constitui o principal meio de transferência de matéria orgânica e elementos minerais de vegetação para a superfície do solo. Após o processo de decomposição são liberados os micronutrientes para o solo e posteriormente a absorção pelas plantas, indicando eficiência na ciclagem de nutrientes e consequentemente a sustentabilidade do sistema agroflorestal. Os resultados do presente estudo mostraram que o manejo sob sistema agroflorestal cultivado com cafeeiro proporcionou, de modo geral, teores adequados de micronutrientes no solo e em tecido foliar, capazes de sustentar os cafeeiros em produção, com exceção do zinco em folha que apresentou-se baixo, devendo ser suplementado com pulverização foliar contendo esse elemento.

4 CONCLUSÕES

O manejo agroflorestal apresentou maior teor de matéria orgânica no solo, quando comparado ao manejo convencional.

O teor de matéria orgânica influenciou a disponibilidade de cobre, zinco e manganês nas camadas de 0–20 e 20–40 cm, com maiores teores no solo e menores em tecido foliar no manejo agroflorestal.

O cafeeiro cultivado sob sistema agroflorestal apresentou-se eficiente na ciclagem de micronutrientes em razão dos teores de nutrientes considerados adequados, apresentados em tecido foliar para cafeeiros em produção, com exceção do zinco em folha que apresentou-se baixo.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C. A. et al. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 645-736.
- ARAÚJO, J. B. S. et al. Composto orgânico e biofertilizante na nutrição do cafeeiro em formação no sistema orgânico: teores foliares. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 20-28, 2007.
- AREND, K. **Substâncias húmicas e formas de cobre em solos de áreas de videira**. 2010. 116 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.
- BAIRD, C. **Environmental chemistry**. 2nd ed. New York: W. H. Freedman, 2001.
- BAYER, C. et al. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 677-683, 2004.
- BREMAN, H.; KESSLER, J. J. The potential benefits of agroforestry in the Sahel and other semi-arid regions. **European Journal of Agronomy**, Oxford, v. 7, p. 25-33, 1997.
- DYNIA, J. F.; BARBOSA FILHO, M. P. Alterações de pH e disponibilidade de micronutrientes para arroz irrigado em um solo de várzea tratado com calcário e palha de arroz em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 17, p. 67-74, 1993.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.
- FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) por Windows 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.
- FRANZLUEBBERS, S.; HONS, F. M. Soil: profile distribution of primary and secondary plant available nutrients under conventional and no tillage. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 39, p. 229-239, 1996.
- FURTINI NETO, A. E. et al. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252 p.
- GALLO, J. R. et al. Levantamento de cafezais do Estado de São Paulo pela análise química foliar: II., solos podzolizados de Lins e Marília, Latossolo Roxo e Podzólico Vermelho-Amarelo orto. **Bragantia**, Campinas, v. 29, p. 237-247, 1970.
- GALLO, J. R.; HIROCE, R.; COELHO, F. A. S. Levantamento do estado nutricional de cafezais de São Paulo, pela análise foliar: I., solo massapé, salmourão. **Bragantia**, Campinas, v. 26, p. 103-117, 1967.
- GARCIA, A. W. R.; CORREA, J. B.; FREIRE, A. C. F. Levantamento das características químicas dos solos e estado nutricional das lavouras cafeeiras do sul de Minas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 10., 1983, Poços de Caldas. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1983. p. 5-8.
- GONTIJO, R. A. N. **Faixas críticas de teores foliares de macro e micronutrientes em plantas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2004. 84 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.
- GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ-VENEGAS, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. p. 289-302.
- GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; SOUZA, C. A. S. Nutrição do cafeeiro: extração de nutrientes, calagem e gessagem nas fases de plantio, formação e produção. In: GUIMARÃES, R. J. et al. (Ed.). **Cafeicultura**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. p. 194-234.
- HOYT, P. B.; TURNER, R. C. Effects of organic materials added to very acid soils, on pH, aluminum, exchangeable NH_4 , and crop yield. **Soil Science**, Baltimore, v. 119, p. 227-237, 1975.
- HUE, N. V.; AMIEN, I. Aluminum detoxification with green manures. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 20, p. 1499-1511, 1989.
- JONES, D. L. et al. Organic acid behavior in soils: misconceptions and knowledge gaps. **Plant and Soil**, The Hague, v. 248, p. 31-41, 2003.
- Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 76-83, jan./abr. 2012

- JONES JUNIOR, J. B.; WOLF, B.; MILLS, H. A. **Plant analysis handbook: a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide**. Athens: Micro Macro, 1991. 213 p.
- LAVELLE, P. Faunal activities and soil processes: adaptative strategies that dermine ecosystem function. **Advances in Ecological Research**, London, v. 27, p. 93-132, 1997.
- MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solo e folhas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1992. 124 p.
- _____. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 319 p.
- MALAVOLTA, E.; YAMADA, T.; GUIDOLIN, J. A. **Nutrição e adubação do cafeeiro**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1989. 224 p.
- MARQUES, H. S. **Uso de geotecnologias no estudo das relações entre solos, orientação de vertentes e o comportamento espectral de áreas cafeeiras em Machado, Minas Gerais**. 2003. 82 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.
- MARZADORI, C. et al. Soil organic matter influence on adsorption and desorption of boron. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 55, p. 1582-1585, 1991.
- MCLEAN, E. O.; BROWN, J. R. Crop response to lime in the midwestern United State. In: ADAMS, F. (Ed.). **Soil acidity and liming**. 2nd ed. Madison: ASA/CSSA/SSA, 1984. p. 267-304.
- MENDONÇA, E. S.; STOTT, D. E. Characteristics and decomposition rates of pruning residues from a shaded coffee system in Southeastern Brazil. **Agroforestry Systems**, Heidelberg, v. 57, p. 117-125, 2003.
- MIGUEL, A. E. et al. Teores de micronutrientes nas amostras de solo analisadas pelo laboratório do mapa em Varginha, Sul de Minas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 28., 2002, Caxambu. **Anais...** Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2002. p. 76-77.
- PANIAGUA, A. et al. Cambios en fracciones orgánicas e inorgánicas de fosforo en suelos com el uso de sistemas agroforestales. **Agroforestería en las Americas**, Buenos Aires, v. 1, n. 2, p. 14-19, 1994.
- PAVAN, M. A. et al. **O sistema de plantio adensado e melhoria da fertilidade do solo**. Piracicaba: Potafós, 1997. 7 p. (Informações Agronômicas, 80).
- RENA, A. B.; FÁVARO, J. R. A. Nutrição do cafeeiro via folha. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade**. Viçosa, MG: UFV, 2000. p. 149-199.
- SÁ, J. C. M. et al. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 65, p. 1486-1499, 2001.
- SÁNCHEZ, M. D. Panorama dos sistemas agroflorestais pecuários na América Latina. In: CARVALHO, M. M.; ALVIM, M. J.; CARNEIRO, J. C. (Ed.). **Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais**. Juiz de Fora: UFJF, 2001. p. 9-17.
- SCHROTH, G. et al. Conversion of secondary Forest into agroforestry and monoculture plantations in Amazônia: consequences for biomass, litter and soil carbon stocks after 7 years. **Forestry Ecology and Management**, Amsterdam, v. 163, p. 131-150, 2002.
- VETTORI, L. **Métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24 p. (Boletim técnico, 7).
- VITOUSEK, P. M.; SANFORD, R. L. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 17, n. 4, p. 137-167, 1986.
- YOUNG, A. 10 hypotheses for soil-agroforestry research. **Agroforestry Today**, Cambridge, v. 1, n. 1, p. 13-16, 1989.
- ZECH, W. et al. Factors controlling humification and mineralization of organic matter in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, p. 117-161, 1997.