

**IMPACTO DE USO E MANEJO EM FRAÇÕES
DA MATÉRIA ORGÂNICA DE LATOSSOLOS
DA BACIA DO RIO DAS MORTES-MG**

ANTÔNIO CLARET DE OLIVEIRA JÚNIOR

2007

ANTÔNIO CLARET DE OLIVEIRA JÚNIOR

**IMPACTO DE USO E MANEJO EM FRAÇÕES DA MATÉRIA
ORGÂNICA DE LATOSSOLOS DA BACIA DO RIO DAS MORTES-MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Ciência do Solo, para obtenção do título de “Doutor”.

Orientador

Prof. Dr. Carlos Alberto Silva

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2007

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Oliveira Júnior, Antônio Claret de

Impacto de uso e manejo em frações da matéria orgânica de latossolos da
Bacia do Rio das Mortes-MG / Antônio Claret de Oliveira Júnior. -- Lavras :
UFLA, 2007.

87 p. : il.

Orientador : Carlos Alberto Silva

Tese (Doutorado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Solos. 2. Carbono solúvel em água. 3. Ácido orgânico. 4. Massa molar.
5. Fração leve. 6. Substâncias húmicas. 7. Coffea arabica. 8. Solanum
tuberosum. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-631.86

ANTÔNIO CLARET DE OLIVEIRA JÚNIOR

**IMPACTO DE USO E MANEJO EM FRAÇÕES DA MATÉRIA
ORGÂNICA DE LATOSSOLOS DA BACIA DO RIO DAS MORTES-MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Ciência do Solo, para obtenção do título de “Doutor”.

APROVADA em 28 de maio de 2007

Pesq. Dra. Flávia Aparecida de Alcântara	Embrapa Hortaliças
Prof. Dr. José Maria de Lima	UFLA/DCS
Prof. Dr. Mário César Guerreiro	UFLA/DQI
Prof. Dr. Nilton Curi	UFLA/DCS

Prof. Dr. Carlos Alberto Silva
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

À minha família, especialmente aos meus pais, Antônio Claret e Maria Célia, pelo apoio incondicional e exemplos de vida.
À Vanessa, companheira de caminhada desta existência.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Ciência do Solo pelas oportunidades em todas as etapas de minha formação profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudos durante o período de abril de 2004 a abril de 2006.

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG, pelo custeio do projeto de pesquisa (Projeto CAG 1128/2003).

Aos proprietários da Fazenda Taquaril, Sr. Daniel Paiva, e da Fazenda Cachoeira, Sra. Mirian Monteiro de Aguiar, por disponibilizarem suas lavouras de café para coleta de amostras de solo, em Santo Antônio do Amparo-MG. À Emater de Carandaí-MG, na pessoa dos Srs. Luis Carlos e Tatsumi, pelo auxílio e prestação nas coletas de solo em áreas de cultivo de batata.

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Silva, não só pela orientação, mas, sobretudo, pela confiança e imenso auxílio no último ano do curso.

Aos professores do Departamento de Ciência do Solo, pelos conhecimentos transmitidos e auxílio, em especial aos doutores José Maria Lima, Luiz Roberto Guimarães Guilherme, Nilton Curi, José Oswaldo Siqueira e Marx Leandro Naves Silva, pelas contribuições à realização desta pesquisa.

Aos membros da banca, Dra. Flávia Aparecida de Alcântara, Dr. José Maria de Lima, Dr. Mário César Guerreiro e Dr. Nilton Curi, pelas críticas e sugestões apresentadas para a melhoria deste trabalho.

Aos amigos Leônidas Carrijo, Giuliano Marchi, Bruno de Oliveira Dias, Otacílio J. P. Rangel e Máisa Honório, pelo auxílio nas coletas e análises e, em especial, à Fernanda Wasner pela companhia e ajuda na coleta de dados em laboratório.

Aos estudantes, Heitor, Bruno e Elen, pela ajuda indispensável na condução das análises.

Aos amigos Ênio Tarso, Sandro Hurtado, Daniela Zuliane, Adriana Lima, Paulo Pinho, Carlos Rodrigues e tantos outros, pela boa convivência e momentos de diversão.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo, em especial a José Roberto (Pezão), Roberto Lelis, Manoel, Carlinhos, Joyce, Daniela, Maria Alice, Leninha e Emerson, pelo auxílio imprescindível nas atividades do cotidiano.

À minha irmã Gizélia e minha sobrinha Maria Eduarda, pela companhia ao longo de minha estada em Lavras.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE ABREVIATURAS	i
RESUMO GERAL	iv
GENERAL ABSTRACT	iv
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	11
CAPÍTULO 2: FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM DIFERENTES MANEJOS DE CAFÉ E BATATA	13
RESUMO.....	13
ABSTRACT	14
INTRODUÇÃO.....	15
MATERIAL E MÉTODOS.....	23
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
CONCLUSÕES	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
CAPÍTULO 3: FORMAS E QUANTIDADES DE CARBONO EM LIXIVIADOS DE LATOSSOLOS VERMELHOS COM TEORES DIFERENCIADOS DE ÓXIDOS DE FERRO SOB INFLUÊNCIA DE CALCÁRIO E FÓSFORO	51
RESUMO.....	51
INTRODUÇÃO.....	53
MATERIAL E MÉTODOS.....	59
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
CONCLUSÕES	78
LITERATURA CITADA	78
CONSIDERAÇÕES FINAIS	84

LISTA DE ABREVIATURAS

AF	Ácido fúlvico
AH	Ácido húmico
AO	Ácido orgânico de baixa massa molar
BRM	Bacia do Rio das Mortes
C	Carbono
C-AF	Carbono na forma de fração ácido fúlvico
C-AH	Carbono na forma de fração ácido húmico
C-AO	Carbono na forma de ácidos orgânicos de baixa massa molar
C-CO ₂	Carbono na forma de dióxido de carbono
C-FL	Carbono na forma de fração leve
C-FL /COT	Relação entre o carbono associado à fração leve e o carbono total
CSA	Carbono solúvel em água
C-SH's	Carbono na forma de substâncias húmicas
COT	Carbono orgânico total
Da	Dalton (g mol ⁻¹)
FL	Fração leve
LV1	Latossolo Vermelho mesoférrico
LV2	Latossolo Vermelho hipoférrico
MOS	Matéria orgânica do solo
P	Fósforo
P-rem	Fósforo remanescente
SH's	Substâncias húmicas

RESUMO GERAL

OLIVEIRA JÚNIOR, Antônio Claret de. **Impacto de uso e manejo em frações da matéria orgânica de latossolos da Bacia do Rio das Mortes-MG.** 2007. 87 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

A Bacia do Rio das Mortes é um importante pólo agrícola do Estado de Minas Gerais, onde se destacam os cultivos de café e batata. Nesses cultivos, são comuns aplicações de calcário e fertilizantes fosfatados, com intenso revolvimento do solo, sobretudo nas áreas de cultivo de batata. Estas práticas de manejo, embora sejam muito importantes no processo de produção agrícola, alteram a dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS). Em regiões tropicais, alterações na MOS influem diretamente na capacidade produtiva dos solos. Assim, manejos alternativos de produção, mais conservacionistas, têm sido propostos no âmbito da Bacia. Contudo, a extensão do efeito desses manejos diferenciados sobre as propriedades da MOS ainda precisa ser avaliada. Vários compartimentos da MOS podem ser utilizados para esse aferimento, sendo o C orgânico total (COT) e C na forma de ácidos húmicos e fúlvicos considerados como indicadores de longo prazo e o C na fração leve, como indicador de curto prazo.

Para avaliar essas frações da MOS, foi realizado um estudo de campo em áreas da Bacia, cultivadas com café e batata, utilizando-se como referência áreas sob vegetação nativa. Além dos manejos convencionais, foi avaliado um manejo alternativo (com rotação bianual com milho em cultivo mínimo) para a batata e um manejo orgânico (uso exclusivo de adubação orgânica/verde e ausência de aplicação de defensivos) para o cafeeiro. Considerando a profundidade de 0-20 cm, os teores de COT apresentaram reduções de 10 a 20% nos cultivos (orgânico

* Orientador: Carlos Alberto Silva (UFLA)

e convencional, respectivamente) de café e de 17 a 31% nos manejos (alternativo e convencional, respectivamente) de batata, em relação às áreas de vegetação nativa. A introdução do manejo alternativo para a batata e a adoção do cultivo orgânico para o cafeeiro mostrou melhorias em outros indicadores da MOS, além do COT. Para as áreas de café, o manejo orgânico propiciou a manutenção de uma relação C-AH/C-AF igual às das condições naturais, em todas as profundidades analisadas (0-5, 5-10 e 10-20 cm), e aumento dos teores de C-FL em relação ao manejo convencional. Para as áreas de batata, em relação ao C-FL, houve diferenças somente para a área de cerrado, em relação às áreas de cultivo. A relação C-AH/C-AF indicou recuperação da qualidade do solo pelo manejo alternativo, em relação à área-referência.

A aplicação de calcário, em conjunto ou não com fosfato, por atuar diretamente sobre a atividade microbiana e a capacidade de adsorção/dessorção dos colóides do solo, pode afetar a lixiviação de MOS, na forma de C solúvel em água (CSA). Visando a avaliar esse efeito, um estudo de laboratório foi realizado em lisímetros, com o uso de dois Latossolos com diferentes teores de ferro (meso e hipoférrico), provenientes de áreas da Bacia. A aplicação de fosfato, em conjunto ou não com calcário, foi a prática que exerceu mais influência sobre a lixiviação de CSA, sobretudo no Latossolo hipoférrico, em que as quantidades de C perdidas foram cerca de 15 vezes maiores do que no controle. A ação conjunta de calcário e fósforo promoveu o deslocamento de compostos orgânicos de maior massa molar, independente do teor de ferro dos solos, ocorrendo, na etapa final do estudo, a perda de moléculas com massa molar similar a de ácidos fúlvicos. Em geral, o Latossolo mesoférrico perdeu mais C na forma de ácidos orgânicos de baixa massa molar.

GENERAL ABSTRACT

OLIVEIRA JÚNIOR, Antônio Claret de. **Impact of use and management on the organic matter fractions of latosols from the Rio das Mortes Basin.** 2007. 87 p. Thesis (Doctorate on Soil Science) – Federal University of Lavras, Lavras, MG.*

Rio das Mortes basin is an important area of coffee and potato production in Minas Gerais state (Brazil). In these crops, it is frequent the application of lime and phosphorus, as well as the use of practices of intensive revolving of soil, especially in potato croplands. Although these management practices are important for agricultural process, they affect soil organic matter (SOM) dynamics. In tropical regions, SOM alterations can influence productivity capacity of soils. For this reason, alternative management systems have been proposed in the region of Rio das Mortes. However, the effect of these management practices on SOM properties is still unclear. Many pools of SOM can be used to evaluate the effect of soil management on soil organic C. Total organic carbon (TOC) and humic and fulvic acids fractions are used as long-term indicators, while the light fraction of C is used as a short-term indicator of the SOM dynamics.

In order to understand these processes in soils of Rio das Mortes Basin, a field study was carried out, in potato and coffee croplands, using as reference soils samples from undisturbed areas. Soils from areas under alternative management (rotation along two years with corn cropping, under no-till) for potato areas, and an organic management (only organic/green fertilization and no-use of pesticides) for coffee plantations were also sampled. Organic and conventional management systems decreased the TOC of the 0-20 cm soil layer, at coffee areas, in about 10% and 20%, respectively. For potato areas, alternative

* Adviser: Carlos Alberto Silva (UFLA)

and conventional management systems decreased TOC in about 17% and 31%, respectively.

Alternative management for potato cropping and organic practices for coffee cultivation improved the SOM by all the evaluated indicators. Areas under organic coffee plantation had the same HA-C/FA-C ratio, in comparison with the native areas, in all soil layers. For potato croplands, LF-C was not a good index to detect differences in the soil management systems. Differences were only observed between native and cropping areas. In potato areas, alternative management improved the soil quality, increasing the HA-C/FA-C.

Either with or without liming, phosphate influences microbial activity, adsorption/desorption capacity of soil colloids, SOM mobilization, and the contents of C in soil solution – water soluble C (WSC). In order to study the effects of liming and P on WSC, a lysimeter study was done, using two Latosols (Oxisol) with medium and low iron oxide contents, sampled in the Rio das Mortes Basin. Leaching of WSC was mostly influenced by phosphorus, alone or with liming, especially in the low iron Latosol. In this soil, application of phosphate with liming accounted for 15 times more C in the leachates, as compared to the control. Besides, liming+P increased the molar mass of organic compounds in the leachates of both soils. In percolates collected at end of the experiment, it was observed the loss of molecules with similar to fulvic acids. Medium iron Latosol lost more C in the form of low molecular mass organic acids.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

A Bacia do Rio das Mortes (BRM, Figura 1), situada no centro-sul do Estado de Minas Gerais, meso-região dos Campos das Vertentes, engloba (total ou parcialmente) 26 municípios, com uma área aproximada de 6500 km². Em grande parte desses municípios, a agropecuária se destaca como importante fator de geração de renda (Tabela 1).

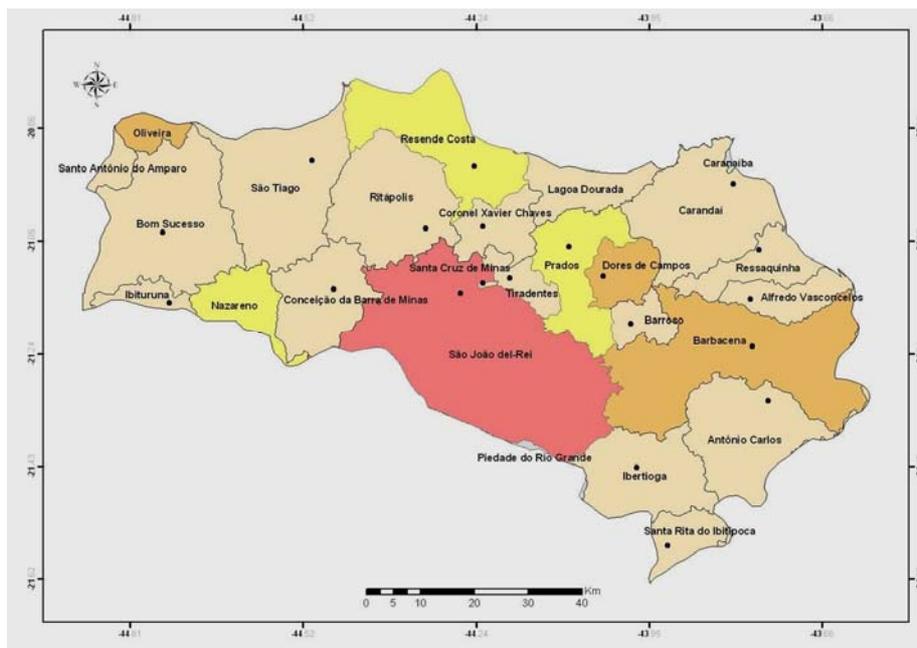


Figura 1. Mapa da Bacia hidrográfica do Rio das Mortes.

Tabela 1. Áreas totais, agrícolas e ocupadas pelas culturas de café e batata, e contribuição relativa da agropecuária para o PIB (Produto Interno Bruto) dos municípios da Bacia do Rio das Mortes-MG.

Município	Área				PIB ¹ %
	Total - km ² -	Agrícola ² -----	Café ha -----	Batata -----	
Alfredo Vasconcelos	127	432	0	16	7,4
Antônio Carlos	525	1.265	0	12	15,1
Barbacena	788	2.754	0	160	4,1
Barroso	82	289	0	0	1,0
Bom Sucesso	706	8.419	4.050	0	34,4
Caranaíba	*	--	--	--	--
Carandaí	486	9.218	5	465	16,7
Conceição da Barra Minas	273	1.569	127	0	36,9
Coronel Xavier Chaves	141	1.125	40	0	36,2
Dores de Campos	127	174	0	0	1,7
Ibertioga	354	385	5	0	28,7
Ibituruna	159	2.416	785	0	49,2
Lagoa Dourada	480	6.002	90	70	35,8
Nazareno	324	4.708	1.280	0	28,4
Oliveira	896	8.195	4.365	0	16,3
Piedade do Rio Grande	*	--	--	--	--
Prados	261	1.935	25	0	15,6
Ressaquinha	189	537	4	3	9,9
Resende Costa	632	3.437	40	0	25,1
Ritápolis	392	881	50	0	26,8
Santa Cruz de Minas	3	0	0	0	0,2
Santa Rita de Ibitipoca	324	1.910	0	0	25,1
Santo Antônio do Amparo	492	12.191	8.000	0	35,4
São João del Rei	1.464	6.477	82	85	4,9
São Tiago	574	1.268	500	0	24,6
Tiradentes	83	413	2	0	3,8
Total		76.000	19.450	811	

* extensão muito pequena dentro da Bacia. ¹ Contribuição do valor adicionado pela agropecuária ao PIB municipal; ² área ocupada por culturas agrícolas perenes e temporárias.

Fonte: Compilado de IBGE (2004) (Acesso em 15/04/2007, na seguinte *home page*: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>)

De forma geral, a paisagem da região é dominada por Latossolos seguidos de Cambissolos (Curi et al., 1994) (Figura 2), sendo que a grande maioria das áreas agrícolas está em áreas de Latossolos, ficando o cultivo dos

Cambissolos restrito às áreas de pastagens. Os Latossolos se caracterizam pela acidez elevada, presença de argilas de baixa atividade, alta capacidade de fixar fósforo e baixa disponibilidade de nutrientes (Curi et al., 1994). Sob essas condições, o papel da matéria orgânica do solo (MOS) em determinar a qualidade do solo passa a ser chave, tornando-se premente a adoção de práticas que visem à manutenção de maiores teores carbono nas camadas superficiais do solo (Amado et al., 1999).

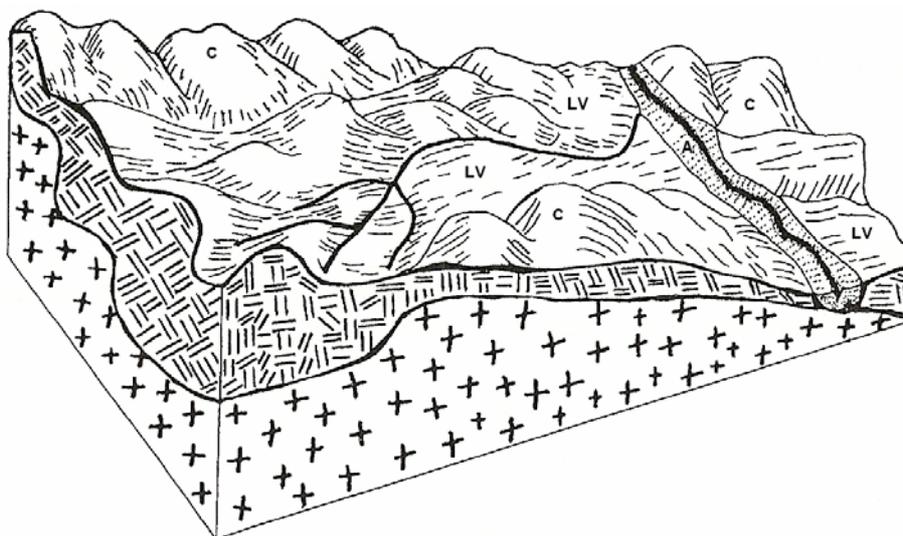


Figura 2. Distribuição esquemática de solos em paisagem típica da Bacia do Rio das Mortes-MG. LV = Latossolo Vermelho, C = Cambissolo, A= solo aluvial (Adaptado de Curi et al., 1994).

Nessa parte do Estado de Minas Gerais, a maioria dos sistemas de produção se caracteriza por envolvimento familiar, aplicação sistemática de defensivos agrícolas, intenso revolvimento do solo, baixa eficiência de uso de fertilizantes/corretivos e falta de critérios agronomicamente corretos quanto aos seus usos.

Dentre as atividades agrícolas exploradas na Bacia do Rio das Mortes,

destaca-se a cafeicultura nos municípios da parte oeste. Em áreas de produção de café do estado de Minas Gerais, predomina o manejo convencional com o uso de fertilizantes químicos, calagem superficial, defensivos diversos, capina química e, ou, roçagem do mato. Antes da colheita, é efetuada ainda a prática de arruação, que consiste na transferência dos restos vegetais da área de projeção da copa do cafeeiro para o centro da entrelinha. Após o plantio, essa é a etapa que propicia maior movimentação de solo, muito embora essa operação restrinja-se aos primeiros 5 cm de profundidade.

Atualmente, tem ganhado projeção o cultivo orgânico do cafeeiro que, para os objetivos deste trabalho, se diferencia do convencional, principalmente pela substituição da adubação química pela orgânica/verde e pela não aplicação de defensivos. Mesmo no manejo orgânico, a adubação fosfatada é essencial. Nesse caso, ela é feita por meio da aplicação de fosfatos naturais de baixa reatividade ou termofosfato.

Na BRM, a cafeicultura ocupa mais de 25% da área agrícola, com destaque para o município de Santo Antônio do Amparo, que engloba cerca de 70% da área plantada (Tabela 1). Isso mostra que, apesar do baixo revolvimento do solo, com baixa exposição da MOS à oxidação, o impacto de um manejo inadequado dos solos sob cafeeiro pode gerar degradação em uma extensa área.

Ao contrário das áreas de cultivo de café, onde o revolvimento do solo é relativamente menor, nas áreas de horticultura da porção leste da Bacia, há uma frequência maior de operações de manejo do solo. Dentre as olerícolas, a bataticultura se destaca pela grande quantidade de insumos aplicados por unidade de área e pela intensa movimentação do solo (Figura 3) em todas as etapas do ciclo de produção.



Figura 3. Colheita de batata no município de Carandaí-MG, evidenciando um grande revolvimento de solo.

Apesar de o cultivo de batata estar presente em menor escala na Bacia, em comparação com a cafeicultura (Tabela 1), há uma grande concentração da sua produção em poucos municípios, como, por exemplo, Carandaí, onde a cultura está instalada em 57% da área agrícola do município. Portanto, o impacto de um manejo mais racional sobre a qualidade do solo nesses municípios pode ser significativo, frente à importância da olericultura para a economia local.

Visando à manutenção da capacidade produtiva desses solos, em algumas áreas, é comum a adoção de um manejo alternativo para a produção de batata. Basicamente, esse manejo consiste na rotação da batata com milho em cultivo mínimo, por dois ou mais ciclos (Silva et al., 2005), que promove maior retorno de C ao solo e pode favorecer as propriedades químicas e físicas dos

solos pela ausência temporária de revolvimento (Figura 4).



Figura 4. Plantio de milho sob cultivo mínimo, em rotação com batata (acima) e solo da mesma área, no momento da colheita de batata após cultivo de milho (abaixo), em Carandaí-MG.

O conceito de qualidade do solo está atrelado à sua capacidade de funcionar dentro dos limites de um ecossistema, sustentando a produtividade biológica, mantendo a qualidade ambiental e promovendo a saúde humana (Doran & Parkin, 1996). Nesse sentido, a MOS se destaca como fator mais importante para a manutenção da sustentabilidade dos agroecossistemas, pois está fortemente relacionada à qualidade do solo, devido ao seu papel de fornecedor de nutrientes e, principalmente, de atuar como condicionadora do solo. A MOS engloba diversos compartimentos de compostos orgânicos, em diferentes estágios de decomposição (Figura 5), ou seja, a ela está associada desde a matéria orgânica particulada (mais biodisponível) até as frações mais recalcitrantes, como as substâncias húmicas.

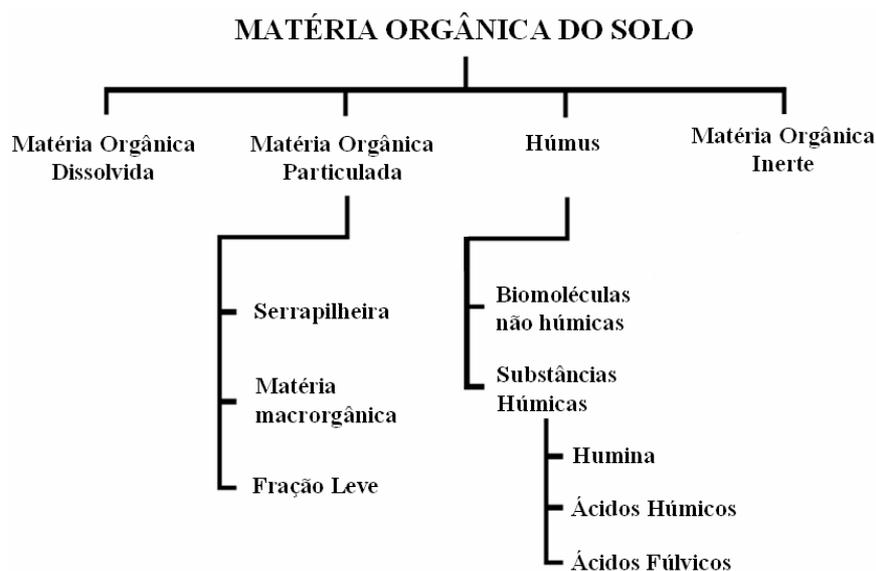


Figura 5. Compartimentos da matéria orgânica do solo (modificado de Baldock & Skjemstad, 1999).

Vários compartimentos da MOS têm sido definidos como indicadores, em curto ou longo prazos, da qualidade do solo em relação às práticas de

manejo. Dentre os indicadores, o C orgânico total (COT) identifica mudanças mais ao longo prazo, em escala de décadas (Mielniczuk et al., 2003), ou, mais precisamente, mudanças na qualidade do solo, em relação à sua condição original. Em relação aos indicadores da qualidade do solo associados à MO, sensíveis em maior escala de tempo, há um destaque também para o C das substâncias húmicas (SH's) que, nesse compartimento, pode estar associado às frações humina, ácido húmico e ácido fúlvico. De modo geral, conforme o manejo do solo, há uma transformação de C entre esses grupos de SH's, sendo que, quanto mais condensado estiver o C do solo, mais conservacionistas foram as práticas adotadas (Camargo et al., 1999).

Em relação às culturas anuais, há a necessidade de se utilizarem frações da MOS capazes de identificar alterações na dinâmica das frações orgânicas no curto prazo. Dentre os parâmetros comumente utilizados nessa escala de tempo, destaca-se o C da fração leve (C-FL). Essa fração da MOS, apesar de contribuir pouco para o COT, é mais biodisponível que o C-SH's, constituindo-se, assim, em indicador bastante sensível ao manejo do solo (Freixo et al., 2002).

Nos solos da Bacia do Rio das Mortes, assim como na maioria dos solos tropicais, as práticas de correção da acidez e adubação fosfatada são muito freqüentes. Observações de campo, em áreas da BRM cultivadas com hortaliças, evidenciam o uso de altas doses de fertilizantes fosfatados, doses estas que podem representar adição de P suficiente para atingir metade da capacidade máxima de adsorção de fósforo da maioria dos solos agrícolas, em menos de 10 anos. Além disso, em áreas de café, é comum a aplicação de doses de calcário acima das recomendadas, levando a condições de supercalagem na camada superficial (0-5 cm), devido à não incorporação do corretivo. Como tanto o pH quanto o teor de P disponível afetam grandemente a dinâmica da MOS, pode-se inferir que as práticas de calagem e adubação fosfatada podem causar grandes impactos na qualidade dos solos da BRM, sobretudo ao longo de anos de

cultivo. A correção da acidez e a adição de P ao solo atuam no sentido de modificar a comunidade microbiana do solo, acelerando a decomposição da matéria orgânica e a movimentação de C do solo para a atmosfera (C-CO₂) ou para o lençol freático, via lixiviação. Por outro lado, essas práticas otimizam o crescimento das culturas, proporcionando maior aporte de resíduos orgânicos e aumentos nos teores de MOS. O balanço desses processos de perdas e ganhos de C no sistema solo-planta precisa ser melhor compreendido nas lavouras predominantes na BRM.

A matéria orgânica é perdida do sistema solo-planta por meio de diversos processos, sendo decomposição e erosão as principais rotas de redução de seus teores. Contudo, Karlick (1995) chama a atenção para a influência de práticas comumente usadas na melhoria da fertilidade dos solos, como correção do pH, sobre a perda de C solúvel em água (CSA) por lixiviação. No Brasil, são escassos os estudos (Miranda et al., 2006; Azevedo et al., 1996) que levam em consideração o fluxo vertical de C, mas que demonstram a ocorrência de perdas de CSA em função do manejo do solo. Em geral, estudos de campo se prestam para elucidar as perdas de C pelas vias de erosão e decomposição. Entretanto, nessas condições, os estudos de medição de CSA no deflúvio não são tão simples como as medições de COT, C-FL etc. Parte disso se deve ao curto tempo de vida no solo de algumas das frações componentes do CSA, as quais, muitas vezes, englobam moléculas de baixa massa molar. A realização de estudos em condições de laboratório auxilia na elucidação das perdas de C por lixiviação, uma vez que, em condições controladas, torna-se possível realizar análises laboratoriais rápidas, com melhor controle de variáveis extrínsecas aos fatores que estão sendo analisados, com geração de resultados consistentes quanto à dinâmica dessas perdas de C junto à água que percola do solo.

Assim, cabe investigar, no âmbito da Bacia do Rio das Mortes, os efeitos das diferentes práticas de manejo sobre as propriedades do solo (Curi et

al., 1994), uma vez que, nessa região, têm sido adotados manejos distintos em culturas importantes. A identificação desses sistemas, com conseqüente mensuração dos seus efeitos sobre as propriedades da MOS, é pertinente, uma vez que, de maneira geral, um manejo menos conservacionista implica em maior perda de MOS e, conseqüentemente, diminuição da capacidade produtiva dos solos.

Em condições de campo, a adoção de um manejo que propicie maior entrada (e, ou, menor saída) de C, por meio de rotação de culturas que exijam menor revolvimento do solo, pode levar a sua melhoria, com conseqüentes ganhos em produtividade e conservação ambiental. Nesse sentido, nas áreas de cafeicultura e plantio de batata da BRM, os teores de COT e C-FL podem ser menores que nas áreas-referência; porém, esses teores podem ser maiores nas áreas de cultivo alternativo, com manejo mais conservacionista, em relação ao manejo convencional. Além disso, o uso de altas dosagens de calcário e, ou, P pode interferir na dinâmica da matéria orgânica dos solos da BRM, favorecendo a perda de CSA por lixiviação, uma vez que tanto a calagem quanto a adubação fosfatada, exercem efeitos sobre a comunidade microbiana e sobre a adsorção/dessorção de cátions/ânions do solo.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo geral avaliar a influência de diferentes manejos e usos do solo de áreas cultivadas sobre os teores, frações e formas de C orgânico do solo. No sentido de alcançar esses objetivos, foram realizados dois estudos, aqui descritos na forma de dois capítulos, sendo um de campo e outro de laboratório (lisímetros). No primeiro, foram avaliados os atributos relacionados à MOS, como COT, C-FL e C nas frações ácidos húmico (C-AH) e fúlvico (C-AF) em amostras de áreas cultivadas com café e batata, contrapondo-se manejos convencionais e alternativos, entre si e com uma área-referência (vegetação nativa), para ambas as culturas. No estudo de laboratório analisou-se a influência da aplicação de calcário seguida ou não

de adubação fosfatada sobre o C solúvel (C solúvel em água e sua fração como ácidos orgânicos de baixa massa molar e a massa molar dos compostos orgânicos solúveis) em lixiviados de dois Latossolos com teores distintos de ferro, provenientes da Bacia do Rio das Mortes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V.; BAYER, C. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 679-686, jul./set. 1999.
- AZEVEDO, E. C; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M.; SILVA, J. G. M. Carbono orgânico solúvel no deflúvio de microbacias hidrográficas cobertas com mata nativa, pastagem e *Eucalyptus grandis*. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 43, n. 250, p. 755-767, nov./dez. 1996.
- BALDOCK, J. A.; SKJEMSTAD, J. O. Soil organic carbon/soil organic matter. In: K. I. PEVERILL; L. A. SPARROW; D. J. REUTER (Eds) **Soil Analysis: an interpretation manual**. 1999. p.159-170.
- CAMARGO, F. A. O.; SANTOS, G. A.; GUERRA, J. G. M. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 27-39.
- CURI, N.; CHAGAS, C. S.; GIAROLA, N. F. B. Distinção de ambientes agrícolas e relação solo-pastagens nos Campos da Mantiqueira. In: CARVALHO, M. M.; EVANGELISTA, A. R.; CURI, N. **Desenvolvimento de pastagens na zona fisiográfica Campos das Vertentes-MG**. Coronel Pacheco: Embrapa Gado de Leite, 1994. 127 p.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 25-37. (SSSA Special Publication, 49)
- FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; GUIMARÃES, C. M.; SILVA, C. A., FADIGAS, F. S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações

orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 425-434, abr./jun. 2002.

KARLIK, B. Liming effect on dissolved organic matter leaching. **Water, Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 85, n. 2, p. 949-954, Dec. 1995.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F. F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3, p. 209-248.

MIRANDA, J.; LIOVANDO, M. C.; RUIZ, H. A.; EINLOFT R. Composição química da solução de solo sob diferentes coberturas vegetais e análise de carbono orgânico solúvel no deflúvio de pequenos cursos de água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 633-647, jul./ago. 2006.

SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; FERREIRA, M. M. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob diferentes sistemas de manejo na Bacia Alto Rio Grande. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 719-730, jul./ago. 2005.

CAPÍTULO 2

FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM DIFERENTES MANEJOS DE CAFÉ E BATATA

(Preparado de acordo com as normas da Revista Ciência e Agrotecnologia)

RESUMO

A qualidade química e física dos solos da Bacia do Rio das Mortes depende principalmente de compostos orgânicos, demandando, por isso, cuidados quanto ao manejo. Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência de manejos convencionais e não convencionais do solo sobre indicadores da matéria orgânica, em áreas de cultivo de café e batata da Bacia. Foram avaliados os teores de C orgânico total (COT), C-fração ácido húmico (C-AH), C-fração ácido fúlvico (C-AF) e C-fração leve (C-FL). Nas áreas cultivadas, houve diminuição nos teores de COT, em relação aos solos sob vegetação nativa. A introdução de um manejo orgânico para o café propiciou aumento nos compartimentos COT e C-FL e melhora da relação C-AH/C-AF, em relação ao manejo tradicional. Em áreas de batata, o manejo alternativo não influenciou o C-FL, embora os teores de COT e a relação C-AH/C-AF tenham sido maiores, em relação ao manejo convencional.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: *Coffea arabica*; *Solanum tuberosum*;
carbono; fração leve; ácido húmico; ácido fúlvico.

**SOIL ORGANIC MATTER FRACTIONS IN DIFFERENT
MANAGEMENTS OF COFFEE AND POTATO**

ABSTRACT

Chemical and physical quality of soils from Rio das Mortes Basin, like others tropical soils, are mostly dependent on soil organic matter and, therefore, they are sensitive to management systems. This work aimed to evaluate the influence of conventional and non-conventional managements systems on the soil organic matter indicators. It was analyzed the contents of total organic C (TOC), humic acid fraction-C (HA-C), fulvic acid fraction-C (FA-C) and light fraction-C (LF-C), in soil samples of coffee and potato croplands. Cultivation decreased the contents of soil organic matter in comparison with the soil under native covering. Introduction of organic management in coffee areas increased TOC and LF-C pools, as well as the HA-C/FA-C ratio. The alternative management for potato did not improve LF-C contents, despite the TOC and HA-C/FA-C have been increased in this cultivation system.

INDEX TERMS: *Coffea arabica*; *Solanum tuberosum*; carbon; light fraction; humic acid; fulvic acid.

INTRODUÇÃO

No Brasil, o desenvolvimento de uma agricultura moderna e a expansão das fronteiras agrícolas têm afetado drasticamente as condições de equilíbrio ambiental, uma vez que os ecossistemas tropicais, por possuírem baixas reservas de nutrientes e energia, são bastante suscetíveis a mudanças provocadas pelo manejo. Nesses ambientes, o predomínio de práticas de intenso revolvimento do solo e reduzido aporte de resíduos compromete a sustentabilidade das áreas agrícolas. Sistemas agrícolas são sustentáveis apenas quando mantêm ou melhoram a qualidade dos recursos naturais, entre os quais o solo. Atualmente, o conceito de qualidade do solo está atrelado à sua capacidade de funcionar dentro dos limites de um ecossistema, sustentando a produtividade biológica, mantendo a qualidade ambiental e promovendo a saúde humana (Doran & Parkin, 1996).

Devido ao importante papel que a matéria orgânica do solo (MOS) exerce sobre a sustentabilidade dos agroecossistemas, é possível afirmar

que o processo de degradação e de recuperação da qualidade do solo está intimamente ligado à manutenção e, ou, aumentos dos teores e qualidade das frações orgânicas do solo. Em áreas onde não são adotadas práticas conservacionistas de manejo do solo têm sido verificadas perdas de até 50% do teor original de C do solo, em menos de 10 anos de cultivo (Mielniczuk et al., 2003), sobretudo para a MOS oclusa dentro dos agregados (Ashagrie et al., 2006). O mais grave é que, quando essas perdas são notadas, já se estabeleceu um quadro de forte degradação no solo, demandando grandes esforços para restabelecer o equilíbrio original. Por outro lado, a introdução de um manejo conservacionista do solo, com redução do revolvimento, aplicação criteriosa de insumos, uso de adubação verde com leguminosas e rotação de culturas pode recuperar a qualidade do solo, sobretudo daqueles muito degradados (Conceição et al., 2005).

Além da redução nos teores de C, é comum uma piora na qualidade da MOS, uma vez que, com o cultivo, as frações mais biodisponíveis são consumidas pelos microrganismos do solo, gerando, ao longo do tempo, enriquecimento relativo das frações orgânicas mais recalcitrantes (Canellas et al., 2003). Além do C orgânico total do solo

(COT), devem ser adotadas frações da MOS para monitorar, em menor tempo, mudanças nas propriedades do solo. A maioria dos estudos sobre o efeito de manejo tem mostrado que o COT é pouco sensível para detectar mudanças na MOS em função da adoção de diferentes práticas de manejo.

Alguns compartimentos de C expressam mais adequadamente as alterações da qualidade do solo em função do manejo adotado (Mielniczuk, 1999). A MOS engloba diferentes frações orgânicas, desde a serrapilheira até o C associado à fração leve, à biomassa microbiana, aos compostos orgânicos solúveis, às substâncias húmicas, à raiz etc. Isto significa que fazem parte da MOS vários grupos de compostos orgânicos que se distinguem uns dos outros em função de sua natureza, reatividade, localização, biodisponibilidade, cor, grau de condensação etc. (Stevenson, 1994).

Quando se pretende avaliar os fatores condicionantes da qualidade do solo, o fracionamento físico, por densimetria, da matéria orgânica tem mostrado bons resultados (Stevenson, 1994). No Brasil, essa situação não é diferente, pois alguns trabalhos realizados (Freixo et al., 2002; Soares, 2005) apontam essas frações como indicadores sensíveis às alterações

acarretadas pelo manejo do solo. A fração leve (FL) compreende a matéria orgânica particulada livre, constituindo-se de 10 a 30% do C orgânico (Silva & Resck, 1997), mas seus teores de C variam com o tipo de solo, clima e práticas de manejo adotadas, sendo o carbono associado à fração leve livre (C-FL) ciclado em um menor tempo do que o restante da matéria orgânica (Janzen et al., 1992). Normalmente, essa classe engloba frações orgânicas com baixo grau de decomposição, ou seja, em estágio próximo dos resíduos de plantas e distante do húmus, apresentando densidade próxima de $1,0 \text{ g cm}^{-3}$ (Anderson & Ingram, 1993), sendo que, via-de-regra, seus valores são maiores nos horizontes superficiais (Canellas et al., 2000). A maior taxa de decomposição da FL se deve à natureza lábil de seus constituintes e à ausência de proteção pelos colóides dos solos (Dalal & Mayer, 1986). Em função de sua maior biodisponibilidade, Janzen et al. (1992) afirmam que esta fração se constitui numa importante fonte de energia e carbono para microrganismos do solo.

Assim, na recuperação de áreas degradadas, ou em processo de degradação, é necessário que sejam adotados sistemas de produção que priorizem um maior aporte de C ao solo, como meio de aumentar a

biodisponibilidade da matéria orgânica. Bayer et al. (2002) verificaram diminuição de 94% no teor de C-FL, em comparação com área de floresta, devido ao revolvimento e pouco aporte de C ao solo. Quando se adotou o plantio direto, essa situação foi revertida, uma vez que ocorreu aumento de 289% no C-FL, em comparação com o manejo convencional. Além dos tipos de preparo do solo, o C-FL responde diferenciadamente aos tipos de adubação. Leite et al. (2003) verificaram que o C-FL na profundidade de 0-10 cm foi maior com adubação orgânica que naqueles com adubação exclusivamente mineral, onde o aporte de resíduos de milho foi menor. Contudo, mesmo onde se aplicou adubação orgânica, os teores de C-FL foram menores que na área-referência (floresta atlântica). A relação C-FL/COT também é usada como indicativo da qualidade do solo, ou seja, quanto maior a quantidade de C-FL mais conservacionista foi o manejo (Bayer et al., 2002). Em área de floresta, os valores de C-FL/COT foram até 4,6 vezes maiores que naquelas de adubação orgânica (Leite et al., 2003).

A estabilidade da fração humificada é essencial na manutenção e recuperação da qualidade do solo. Assim, a manutenção de maiores teores de C na forma de ácidos húmicos (C-AH), em relação aos teores de C na

fração ácido fúlvico (C-AF), indica solos mais preservados, de manejo mais racional. As substâncias húmicas representam mais de 70% do COT do solo (Camargo et al., 1999). Como as diferentes frações de C orgânico humificado apresentam características químicas, físicas e morfológicas diferenciadas entre si, a distribuição dessas frações pode indicar a qualidade da matéria orgânica presente no solo (Canellas et al., 2003). As relações entre as frações húmicas obtidas podem ser utilizadas como indicadores da qualidade da MOS, ou do incremento da atividade biológica que promove a síntese de substâncias mais condensadas. Os ácidos húmicos (AH) se destacam por serem, entre as substâncias húmicas, a fração que mais sofre alterações estruturais (Canellas et al., 2004). A relação mais importante das frações húmicas é estabelecida entre as frações ácidos húmico e fúlvico (C-AH/C-AF), pois indica a mobilidade do C do solo. Assim, maiores relações C-AH/C-AF indicam maior condensação de compostos húmicos e, conseqüentemente, maior teor de C orgânico no solo (Leite et al., 2003). Nos trópicos, a intensa mineralização da MOS e as restrições edáficas à atividade microbiológica tornam os valores de C-AH/C-AF mais reduzidos. A perda de C húmico na forma de ácidos fúlvicos (AF) é relatada por Marschner & Wilczynsky

(1991) em solo de floresta tratado com calcário. Rivero et al. (2004) verificaram que a aplicação de composto durante três anos aumentou a quantidade e melhorou a qualidade da MOS devido ao incremento de AH. O cultivo pode favorecer o aumento relativo nos teores de AH, provavelmente por reações de policondensação abiótica de moléculas de AF (Canellas et al., 2000). Na ausência de revolvimento do solo, as diferenças na composição das substâncias húmicas ficam exclusivamente a cargo da atividade microbiana (Machado & Gerzabeck, 1993), ou seja, o abandono da prática de revolvimento do solo favorece a humificação e a formação de moléculas maiores de AH no solo (Sleptiene & Slepetys, 2005). Watanabe et al. (2001) verificaram que a introdução de plantas de café em área de floresta primária, recém-desmatada, acarretou numa diminuição dos teores de C-AH e aumento de C-AF na superfície. Na matéria orgânica da sub-superfície, houve diminuição de ambas as frações.

Na Bacia do Rio das Mortes (Minas Gerais), a paisagem é dominada por solos normalmente ácidos e com baixa disponibilidade de nutrientes (Curi et al., 1994). Nessa região se encontram vários municípios pequenos, cuja atividade econômica se baseia

majoritariamente em atividades agropecuárias. Nessas áreas, são exploradas diferentes culturas, como milho, café, hortícolas, frutas e pastagens, havendo agroecossistemas de maior e menor sustentabilidade, adubados ou não, com ou sem adoção de práticas de conservação do solo. Dentre as culturas agrícolas, na porção oeste da Bacia, destaca-se o café, com área de aproximadamente 19.500 hectares, cujo manejo, de modo geral, se caracteriza por um baixo revolvimento do solo, devido às peculiaridades da própria cultura. No outro extremo, destaca-se a bataticultura, que se caracteriza por excessivo revolvimento do solo, com intensa aplicação de fertilizantes e defensivos, ocupando uma área superior a 810 hectares, sobretudo na porção leste da Bacia.

Nas áreas agrícolas da Bacia, há necessidade de se identificarem práticas ou experiências que auxiliem na manutenção, ou promovam a melhoria da capacidade produtiva dos solos e, conseqüentemente, a melhoria da qualidade ambiental. Desse modo, um estudo de diferentes compartimentos da MOS se justifica, no sentido de que essas frações podem ser utilizadas para identificar manejos de cafeeiro e batata que propiciem a conservação e, ou, aumento dos teores e compartimentos da MOS, em relação aos sistemas não perturbados. Desse modo, este estudo

se fundamenta nas seguintes hipóteses: tanto para as áreas de cafeeiro, quanto de batata, os teores de COT, C-FL são menores nas áreas cultivadas, em relação às áreas-referência. Porém, estes teores são maiores nas áreas de cultivo alternativo, com manejo mais conservacionista. Em anos seqüenciais, o teor de C-FL, por ser indicador sensível, se modifica em função do manejo do solo.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a influência de manejos convencionais e alternativos de café (com baixo revolvimento do solo) e batata (com intenso revolvimento do solo) da Bacia do Rio das Mortes-MG sobre qualidade do solo, através de indicadores de diferentes sensibilidades da MOS (C orgânico total, C da fração leve e C nas frações ácidos húmico e fúlvico), tendo como referência áreas sob vegetação nativa.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição dos locais e tratamentos do estudo

As áreas de estudo estão localizadas na Bacia do Rio das Mortes, região Campos das Vertentes, centro-sul do Estado de Minas Gerais. As culturas de café e batata foram selecionadas por serem economicamente

importantes para a região e representarem extremos de manejo quanto ao revolvimento do solo e aplicação de insumos. Foram escolhidas glebas há décadas sob cultivo, sendo as áreas sob cultivos de café amostradas no município de Santo Antônio do Amparo, uma vez que lá se localizam mais de 40% das áreas da cultura na Bacia do Rio das Mortes. Para avaliação dos cultivos de batata, foi escolhido o município de Carandaí, por concentrar cerca de 57% das áreas de bataticultura da Bacia.

Os locais para coleta de amostras de solo (Latosolo Vermelho Distrófico) em áreas de café foram selecionados com base no estudo de Theodoro et al. (2003), e foram: a) manejo orgânico (Fazenda Cachoeira) – área de manejo orgânico certificado, caracterizado, desde 1995, por adubações orgânicas (esterco de galinha, húmus de minhoca, composto à base de esterco de gado e cascas de fruto do cafeeiro e dejetos de suíno), calagem, adubação verde (*Crotalaria juncea* e *Cajanus cajan*), termofosfato, adubações foliares com micronutrientes e calda bordalesa; b) manejo convencional – uso de uréia, sulfato de amônio, superfosfato simples, cloreto de potássio, herbicidas, fungicidas, adubações foliares (micronutrientes) e com casca de fruto do cafeeiro. Como área-referência, coletaram-se amostras de solo sob mata nativa sub-perenifólia (Theodoro

et al., 2003).

Para áreas (Latosolo Vermelho Distrófico) sob cultivo de batata, escolheram-se os seguintes manejos: a) manejo convencional – área irrigada (aspersão por pivô-central), plantada com a cultivar Asterix, com arranquio mecanizado de tubérculos, aração e gradagem do solo antes do plantio, calagem, adubações com 2.000-2.500 kg ha⁻¹ da fórmula 4-16-8 no plantio e 500 kg ha⁻¹ de (NH₄)₂SO₄ em cobertura, controle de ervas daninhas e doenças com defensivos diversos e alternância com cenoura ou beterraba; b) manejo alternativo – cultivo convencional de batata (cultivar Ágata) em rotação com milho em cultivo mínimo (adubação de plantio com 500 kg ha⁻¹ de 4-16-8) por dois anos consecutivos, quando se volta a cultivar batata. Como área-referência, amostrou-se o mesmo solo sob Cerrado *strictu sensu*, contíguo às áreas de batata.

Amostragem do solo

As amostragens ocorreram após a colheita de cada cultura, sendo abril/2005 para áreas de café e setembro/2005 para áreas de batata. Estas foram realizadas ao longo de um transecto orientado no sentido do maior comprimento da gleba, no qual foram demarcados cinco pontos

eqüidistantes de 20 m (Figura 1). Em cada ponto, foram abertas três mini-trincheiras (30x30x20cm) distanciadas em 10 m, ao longo de uma linha imaginária ortogonal ao transecto, onde foram feitas as amostragens de solo, num total de 15 mini-trincheiras para cada manejo/uso. As profundidades de amostragem de solo variaram em função da cultura considerada e dos atributos avaliados.

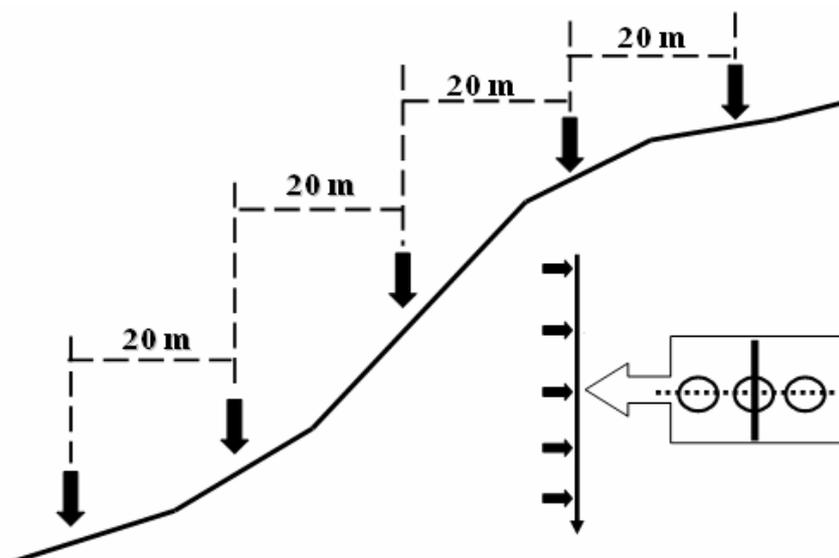


Figura 1. Esquema de amostragem em campo, mostrando cinco pontos de coleta ao longo de um transecto, no sentido da maior declividade. Em cada ponto foram abertas três mini-trincheiras, ortogonais ao transecto.

Em cada mini-trincheira foram coletadas amostras nas seguintes profundidades: 0-5, 5-10 e 10-20 cm para as áreas de café (projeção da

copa) e mata; 0-10 e 10-20 cm para as áreas de batata e cerrado. Em cada amostra determinaram-se os teores de C orgânico total (COT) e de C nas frações ácidos húmico (C-AH) e fúlvico (C-AF) em todas as profundidades de ambas as culturas; e o teor de C na forma de fração leve (C-FL) nas camadas superiores de café (0-5 cm) e batata (0-10 cm).

Métodos analíticos

Para as camadas superficiais dos cultivos de café (0-5 cm) e batata (0-10 cm), foram feitas análises químicas de fertilidade e determinada a granulometria, conforme Embrapa (1997) (Tabela 1). Os teores de COT foram determinados pelo método de Walkley & Black modificado, com oxidação das amostras por dicromato de sódio e quantificação do carbono por titulação com sulfato ferroso amoniacal (Yeomans & Bremner, 1988). O C-FL foi obtido por meio de fracionamento físico-densimétrico do solo, com o uso de NaI ($d = 1,80 \text{ g mL}^{-1}$) e sifonamento da fração leve, descrito por Machado (2002), e quantificação do C neste compartimento através do método de Yeomans & Bremner (1988). Os teores de C das frações húmicas (C-AH e C-AF) do solo foram determinados por meio de fracionamento químico da MOS, pelo princípio da solubilidade

diferencial das frações húmicas em função do pH, conforme Benites et al. (2003), não se determinando a fração humina.

Tabela 1. Propriedades químicas e físicas das camadas superficiais de Latossolos cultivados com café, sob manejos orgânico e convencional (referência: mata) e batata nos manejos alternativo e convencional (referência: cerrado).

Atributo	Café			Batata		
	Org.	Conv.	Mata	Altern.	Conv.	Cerrado
pH	7,4	5,3	5,1	5,3	6,3	5,4
P (mg dm ⁻³)	282,1	8,3	2,2	50,1	201,9	2,1
K (mg dm ⁻³)	156,5	223,9	63	189,0	146,9	77,6
Ca (cmol _c dm ⁻³)	6,7	3,4	0,9	4,4	4,2	2,6
Mg (cmol _c dm ⁻³)	2,4	1,5	0,8	0,7	1,0	0,7
t (cmol _c dm ⁻³)	9,2	5,7	3,0	5,2	5,8	3,8
T (cmol _c dm ⁻³)	10,8	8,9	9,5	9,3	8,9	10,2
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,0	0,2	1,0	0,3	0,0	0,4
P-rem (mg dm ⁻³)	19,6	15,1	13,0	7,8	8,9	5,7
Argila (%)	39	41	40	50	42	53
Areia (%)	30	33	32	24	29	17

Org. = orgânico; Conv. = convencional; Altern. = alternativo; pH = pH em água; P = P-Mehlich-1; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; t = CTC efetiva; T = CTC potencial; Al = alumínio trocável; P-rem = P-remanescente (Alvarez V. et al., 2000).

Estatística

Todas as variáveis foram submetidas a análises de variância, com as diferenças identificadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. Quando pertinente foram feitas análises de correlação, contrapondo os valores dos compartimentos da MOS entre si e entre

alguns atributos de fertilidade do solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de COT nas áreas de cafeeiro e mata decresceram na seguinte ordem (profundidade 0-20 cm): mata > café orgânico > café convencional (Tabela 2). Marchiori Júnior & Melo (2000) também encontraram valores de carbono orgânico maiores em áreas de mata, comparado com áreas de cultivo de café, mas Theodoro et al. (2003) verificaram maiores teores de C total em áreas de café convencional. Os teores de COT deste estudo (Tabela 2) estão de acordo com o exposto por Melero et al. (2006), os quais afirmam que, de maneira geral, o manejo orgânico propicia maiores de teores de COT que o manejo convencional.

À exceção da mata nativa, que não apresentou diferenças nos teores de COT para as profundidades estudadas, os manejos do café mostraram uma tendência de diminuição nas camadas de maior profundidade. Resultados semelhantes foram encontrados por Rangel (2006), que verificou uma tendência de diminuição nos teores de C com o aumento da profundidade, quando se estudou a dinâmica da MOS em diversos espaçamentos de plantio de cafeeiro. Na camada superficial (0-5

cm), os teores de COT das áreas de café orgânico e mata foram maiores do que o da área de café convencional. Na lavoura orgânica, pelo fato de se usarem adubos verdes (p.e. *Crotalaria juncea* e *Cajanus cajan*), há uma maior quantidade de C adicionado pelas raízes destas plantas. Souza & Melo (2003) citam que o desenvolvimento radicular de adubos verdes pode contribuir para aumentar os teores de COT na profundidade de até 10 cm.

Tabela 2. Teores de carbono orgânico total em áreas de cafeeiro e sob vegetação nativa, em diferentes profundidades de Latossolo Vermelho Distrófico.

Área	Profundidade do solo (cm)			
	0-5	5-10	10-20	0-20 (média)
	-----%-----			
Café orgânico	3,30 a A	2,65 b B (20)	2,79 b B (7)	2,91 b (10)
Café convencional	2,84 b A (18)	2,45 b B (26)	2,55 c B (15)	2,61 c (20)
Mata	3,46 a A	3,31 a A	2,99 a A	3,25 a

Valores seguidos de letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Valores entre parênteses referem-se à diminuição, em percentagem, do COT em relação à vegetação nativa.

Mielniczuk et al. (2003) afirmam que em sistemas agrícolas tropicais pode haver uma diminuição de até 50% nos teores originais de MOS, em menos de 10 anos. Neste estudo, a diminuição média nas profundidades 0-5 e 5-10 cm, independente do manejo, foi cerca de 18%,

ou seja, não foi tão expressiva conforme citado por Mielniczuk et al. (2003), provavelmente devido ao baixo revolvimento do solo nas lavouras cafeeiras. Marchiori Júnior & Melo (2000) verificaram uma diminuição média de 22,3% nas áreas de cafeeiro, em relação à mata nativa. De maneira geral, as maiores perdas acumuladas de C orgânico foram observadas para o café convencional, em todas as profundidades de solo avaliadas (Tabela 2). Considerando a profundidade de 0-20 cm de profundidade, observa-se que o cultivo de café orgânico, com maior aporte de C, via adubos orgânicos/verdes, apresentou somente uma redução de 10% em relação ao teor original de C, ante a redução de 20% observada no convencional.

De modo similar às áreas sob cafeeiro, nas lavouras de batata os teores de COT decresceram na seguinte ordem: cerrado > batata alternativo > batata convencional (Tabela 3). Assim, a adoção do manejo alternativo para a batata propiciou um aumento nos teores de COT dentro de cada profundidade, pois a maior produção de massa vegetal pelo milho e menor revolvimento do solo podem adicionar mais C ao solo. Al-Sheik et al. (2005) observaram uma maior quantidade de C orgânico em áreas de batata em rotação com grãos (trigo ou cevada), ou seja, quanto maior o

número de anos cultivados seqüencialmente com grãos, mais C era adicionado ao solo, havendo, inclusive uma tendência de aumento em relação à área-referência.

Tabela 3. Teores de carbono orgânico em áreas de batata e sob vegetação nativa, em diferentes profundidades de Latossolo Vermelho Distrófico.

Área	Profundidade do solo (cm)		
	0-10	10-20	0-20 (média)
	----- % -----		
Batata Alternativo	2,66 b A (20)	2,64 b A (13)	2,65 b (17)
Batata Convencional	2,14 c A (35)	2,26 c A (26)	2,20 c (31)
Cerrado	3,31 a A	3,05 a A	3,18 a

Valores seguidos de letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Valores entre parênteses referem-se à diminuição, em percentagem, do COT em relação à vegetação nativa.

Analisando os teores de COT entre as profundidades, dentro de cada manejo (Tabela 3), observa-se que não houve diferença, inclusive para o Cerrado. Tal fato, para os cultivos de batata, se deve às práticas de revolvimento do solo, e conseqüente desagregação de suas partículas (Hernández-Hernández & Lopes-Hernández, 2002) e uniformização dos teores de C na camada de aração (Hernani et al., 1999). Os teores iguais de C em profundidade no solo sob Cerrado se devem, provavelmente, à maior presença de gramíneas (p.e, grama batatais: *Paspalum notatum*;

capim gordura: *Melinis minutiflora*; braquiária: *Brachiaria* spp.; capim flexa: *Echinolaena inflexa* etc.), que são plantas com sistema radicular capaz de adicionar uma grande quantidade de C que, na rizosfera, passa facilmente da fração leve para a pesada (Alcântara et al., 2004). No entanto, a introdução de um manejo alternativo, mais conservacionista, em áreas de batata, propiciou uma recuperação de 24% e 17% nos teores de COT nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente, em relação ao manejo convencional.

O C orgânico total é um indicador da qualidade do solo capaz de evidenciar mudanças decorrentes do manejo no longo prazo (Conceição et al., 2005), refletindo, de certo modo, o histórico do manejo em relação às áreas nativas. Portanto, de maneira geral, a introdução de cultivos de café e batata acarreta perdas nos teores de COT nas áreas estudadas da Bacia do Rio das Mortes. Contudo, a adoção de práticas como adubação orgânica (café) e a diminuição do revolvimento do solo e a rotação de culturas (milho/milho/batata), identificadas nos manejos não convencionais, propiciam uma recuperação nos teores de COT dos solos.

Das frações de C associadas à MOS, a fração leve é o compartimento que se encontra em menor estágio de decomposição.

Análises de correlação (Tabela 4) indicam que, em áreas de café, este compartimento contribui em maior proporção para o COT (Tabela 5), o que não foi encontrado para as áreas de batata. Isto indica que, nas áreas de café, há uma maior contribuição do C-FL para o COT do solo. De maneira geral, isto pode ser corroborado pelos maiores valores encontrados para C-FL/COT em áreas de café do que em áreas de batata (Tabela 5). O fato de o C-FL das áreas de café contribuir mais para o COT tem conseqüências positivas para o manejo e qualidade do solo, uma vez que se trata de uma presença de C de maior biodisponibilidade no solo, capaz, portanto, de fornecer energia e nutrientes para microrganismos e plantas, garantindo a permanência de processos essenciais à qualidade do solo.

Tabela 4. Correlações entre os compartimentos da matéria orgânica e alguns parâmetros de fertilidade do solo, para as áreas de cultivo do café e batata (n=15; incluem as áreas-referência).

CAFÉ				
Atributos	COT	C-FL	C-AH	C-AF
C-FL	0,96 ^{**}			
C-AH	-0,99 ^{***}	-0,91 ^{**}		
C-AF	0,89 [*]	0,73 ^{ns}	-0,95 ^{**}	
pH	0,19 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	-0,34 ^{ns}	0,62 ^{ns}
P	0,25 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-0,40 ^{ns}	0,67 ^{ns}
P-rem	-0,04 ^{ns}	-0,32 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,42 ^{ns}
BATATA				
C-FL	0,74 ^{ns}			
C-AH	0,93 ^{**}	0,44 ^{ns}		
C-AF	1,00 ^{***}	0,74 ^{ns}	0,93 ^{**}	
pH	-0,78 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-0,95 ^{**}	-0,77 ^{ns}
P	-0,94 ^{**}	-0,46 ^{ns}	-1,00 ^{***}	-0,94 ^{**}
P-rem	-0,99 ^{***}	-0,81 [*]	-0,88 [*]	-0,99 ^{***}

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; * significativo a 10%; ^{ns} não significativo (t-student). C-FL = C na fração leve; C-AH = C ácido húmico; C-AF = C ácido fúlvico; pH = pH em água; P = P-Mehlich 1; P-rem = P remanescente.

Tabela 5. Teores de carbono na Fração Leve (C-FL) e C-FL como função do carbono orgânico total (C-FL/COT), presentes nas camadas superiores de solo sob café (0-5 cm) e batata (0-10 cm).

Área	C-FL (mg g ⁻¹)	C-FL/COT (%)
Café orgânico	2,88 b (37)	8,50 b (35)
Café convencional	1,26 c (72)	4,40 c (66)
Mata	4,54 a	12,99 a
Batata convencional	0,63 b (55)	2,87 a
Batata alternativo	0,85 b (39)	3,16 a
Cerrado	1,40 a	4,28 a

Valores seguidos de letras iguais, dentro de cada cultura, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Valores entre parênteses referem-se à diminuição percentual do C-FL em relação à vegetação nativa.

Conforme foi verificado para o COT, o cultivo diminuiu os teores de C-FL entre 37 e 72%, para as áreas de café e, em média, 47% para as áreas de batata (Tabela 5). Ashagrie et al. (2006) encontraram redução média de 56% para área cultivada com gramíneas e leguminosas, em relação ao solo não cultivado. Roscoe & Burman (2003) não encontraram diferenças entre plantios direto e convencional de grãos e cerrado nativo para C-FL (profundidade de 0-7,5 cm), mas, quando se analisou a contribuição da C-FL para o C orgânico total, verificou-se que C-FL/COT era de, aproximadamente, 20% e 6%, para as áreas de cerrado nativo e sob cultivo convencional e direto de grãos (em média), respectivamente.

O fato de os cultivos de café (independente do manejo) terem apresentado menores teores de C-FL, em relação à vegetação nativa (Tabela 5), é atribuído, em parte, à prática de arruação, comum na época da colheita (época da amostragem) e que consiste na retirada de todos os restos vegetais da área de projeção da copa (local de amostragem neste estudo) e concentração desses restos na entrelinha. Rangel (2006) encontrou valores de C-FL maiores na entrelinha que na área de projeção da copa, em diversos espaçamentos de plantio. As diferenças entre os manejos do cafeeiro (Tabela 5) podem ser atribuídas ao maior uso de

adubos orgânicos e verdes no manejo orgânico (Leite et al., 2003), além de maior presença de gramíneas (com predominância de braquiárias) nas áreas sob esse manejo. As gramíneas, por apresentarem uma alta taxa de renovação do seu sistema radicular, podem contribuir para aumentar os teores de C-FL nas lavouras orgânicas. Nesse sentido, Puget & Drinkwater (2001) citam, inclusive, a contribuição de pêlos radiculares para a FL.

Al-Sheikh et al. (2005) verificaram aumento do C-FL após o segundo ano consecutivo de rotação de cultivos de grãos com cultivo de batata, que se igualaram à referência até o quarto ano de plantio consecutivo de grãos. Neste estudo, contudo, o sistema alternativo de cultivo de batata não exerceu influência sobre o C-FL (Tabela 5). Como a fração leve é facilmente decomposta (Puget & Drinkwater, 2001), pode ser que a contribuição dos restos culturais do milho para o C-FL já não seja mais perceptível no atual cultivo de batata, pois, a incorporação dos restos culturais facilita seu consumo pelos microrganismos, uma vez que existe uma correlação direta entre o C-FL e a biomassa microbiana do solo (Leite et al., 2003).

Neste trabalho, à exceção de C-AHxC-FL para áreas de cafeeiro, não foram encontradas correlações significativas entre C-FL e C-SH's (C-AH e C-AF) (Tabela 4). Em geral, a literatura não faz referência sobre uma interdependência entre C-FL e C-SH's, porque há uma grande diferença química entre estas formas da MOS, no tocante aos seus estágios de decomposição.

Para o COT, a maior influência fica a cargo das SH's (Camargo et al., 1999). Os resultados da Tabela 4 evidenciam esse fato, tanto para as áreas de café, quanto para as de batata. Como os teores de C-FL para as áreas de batata são, de certa forma, menores que para áreas de café (Tabela 5), pode-se inferir, portanto, que há uma maior proporção de C humificado nas áreas de batata.

De modo geral, independente do manejo do cafeeiro e mata nativa, houve maiores teores de C-AH na profundidade de 0-5 cm que nas demais (5-10 e 10-20 cm) (Tabela 6). Para os teores de C-AF ocorreu o contrário, ou seja, seus teores foram maiores nas duas camadas inferiores. Assim, os valores das relações C-AH/C-AF acompanharam as tendências acima, sendo maiores na profundidade de 0-5 cm. Isso, segundo Souza & Melo (2003), pode ser fruto de uma maior mobilidade do C-AF em

direção às camadas mais profundas do perfil do solo, favorecendo aumento da relação C-AH/C-AF superficialmente.

Tabela 6. Teores de carbono (mg g^{-1}) nas de frações ácidos húmico (C-AH) e fúlvico (C-AF) e relação entre estas frações (C-AH/C-AF) nas três profundidades estudadas para a cultura do café.

Profundidade	Uso/Manejo	C-AH	C-AF	C-AH/C-AF
0-5 cm	Orgânico	2,40 b A	0,98 a B	2,45 b A
	Convencional	3,35 a A	0,34 b B	9,85 a A
	Mata	2,29 b A	0,83 a B	2,75 b A
5-10 cm	Orgânico	0,49 b B	2,50 a A	0,20 b B
	Convencional	2,03 a A	2,02 a A	1,00 a B
	Mata	0,83 b B	2,75 a A	0,30 b B
10-20 cm	Orgânico	1,06 b B	2,27 a A	0,47 b B
	Convencional	2,60 a A	1,82 b A	1,43 a B
	Mata	1,39 b B	2,48 a A	0,56 b B

Valores seguidos de letras iguais não diferem entre si (Scott-Knott, $p \leq 0,05$); letras minúsculas comparam tipos de manejo, dentro de cada profundidade (colunas); letras maiúsculas comparam profundidades dentro de cada manejo (colunas).

A maior presença de C-AF em subsolo pode representar maior possibilidade de aumento relativo da CTC do solo, aumento da complexação de íons, maior mobilidade de nutrientes até as raízes das plantas etc. (Stevenson, 1994). Por outro lado, a maior presença de C-AH em superfície indica a possibilidade de melhoria na estrutura do solo, com possibilidade de maior resistência do solo à erosão (Machado & Gerzabek, 1993).

Os AF, por englobarem moléculas de menor massa molar e apresentarem maior quantidade de grupos carboxílicos, são mais reativos e, conseqüentemente, mais propensos a perdas por lixiviação que os AH (Marschner & Wilczynsky, 1991). O manejo convencional de cafeeiro apresentou os maiores teores de C-AH, independente da profundidade de amostragem. Nesse sistema de cultivo, as profundidades de 0-5 e 10-20 cm apresentaram os menores teores de C-AF. Na Tabela 2, pode-se observar que as profundidades de 0-5 e 10-20 cm do café convencional apresentaram os menores valores para COT, sugerindo, portanto, uma perda de C na forma de AF. Isto pode ser corroborado pela correlação negativa e significativa entre C-AFxC-AH (Tabela 4), ou seja, pode estar havendo uma transformação da forma AH para a forma AF, levando a perda desta última.

Leite et al. (2003) relatam a importância da manutenção de uma relação C-AH/C-AF mais alta, conservando, assim, o C do solo em forma mais condensada e menos propensa a perdas. Pela análise da Tabela 6 poder-se-ia inferir algo similar, mas há que se ter cuidado ao se interpretar os valores para os manejos de café e mata nativa. Os altos valores de C-AH/C-AF para o manejo convencional, neste caso, não são

um indicativo da superioridade deste e sim um reflexo dos baixos teores de C-AF, provavelmente devido a uma maior mineralização dos compostos orgânicos de massa molar mais baixa (Machado & Gerzabek, 1993). Tudo indica que o manejo orgânico do cafeeiro se destaca pela manutenção dos atributos de C-SH's significativamente sem diferença em relação à área-referência (Tabela 6). Marchiori Júnior & Melo (2000) observaram valores de C-AH/C-AF iguais a 1,70 e 1,15, para cultivos de cafeeiro e mata nativa, respectivamente, para a profundidade de 0-10 cm. Para a profundidade de 10-20 cm os valores foram, respectivamente, 1,94 e 1,23.

Para os cultivos de batata, há uma maior presença de C-AH em 0-10 cm de profundidade, mas o inverso não ocorreu para o C-AF, ou seja, os teores de C-AF foram iguais tanto em sub-superfície, quanto em superfície (Tabela 7).

Kudeyarova (2003) cita que, quando há no solo altos teores disponíveis de P, a atividade da fosfatase é diminuída, reduzindo, assim, a decomposição da MOS e, conseqüentemente, a passagem de formas mais condensadas de compostos orgânicos para moléculas menos complexas. Isto parece ter acontecido neste estudo, pois foram encontradas

correlações negativas entre P e C-AH e C-AF (Tabela 4) nos cultivos de batata, ou seja, quanto mais P disponível (Tabela 1), menores os teores C-AH e C-AF.

Tabela 7. Teores de carbono (mg g^{-1}) nas frações ácido húmico (C-AH) e ácido fúlvico (C-AF) e relação entre estas frações (C-AH/C-AF) nas duas profundidades estudadas para a cultura da batata.

Profundidade	Uso/Manejo	C-AH	C-AF	C-AH/C-AF
0-10 cm	Alternativo	1,88 b A	0,85 b A	2,21 a A
	Convencional	0,47 c A	0,53 c A	0,89 b A
	Cerrado	2,28 a A	1,26 a A	1,82 a A
10-20 cm	Alternativo	0,29 b B	0,91 a A	0,32 b B
	Convencional	0,00 c B	0,59 b A	0,00 c B
	Cerrado	0,73 a B	0,93 a B	0,79 a B

Valores seguidos de letras iguais não diferem entre si (Scott-Knott, $p \leq 0,05$): letras minúsculas comparam tipos de manejo, dentro de cada profundidade (colunas); letras maiúsculas comparam profundidades dentro de cada tipo de manejo (colunas).

Kudeyarova (2003) afirma que, em condições de altos teores de P, o papel dos fatores biológicos de transformações de compostos húmicos é menos importante que o papel dos fatores físico-químicos. Nesse sentido, foi encontrado um valor significativo e positivo para C-AFxC-AH (Tabela 4), indicando a possibilidade de um processo de condensação abiótica de SH's menos complexas (AF) para moléculas de maior massa molar (AH) (Canellas et al., 2000).

Conforme relatado anteriormente, nas áreas de batata, as SH's parecem contribuir mais, proporcionalmente, para o COT. Portanto, essa é a razão da correlação negativa COTxP (Tabela 4), pois, como há correlações nesse sentido entre C-AFxP e C-AHxP, seria esperado também para COTxP.

De maneira geral, independente da profundidade, a adoção do manejo alternativo para batata melhorou os parâmetros analisados para SH's, favorecendo a manutenção de uma relação C-AH/C-AF maior e, portanto, mais próxima da área sob vegetação nativa.

CONCLUSÕES

Há uma relativa escassez de dados a respeito da influência do cultivo sobre as propriedades da matéria orgânica em solos da Bacia do Rio das Mortes, os quais podem ser de grande valia na elaboração de índices sobre qualidade do solo, dada a importância desses atributos para essa qualidade. Dessa forma, apresentam-se os dados abaixo como uma primeira aproximação desses índices, não se descartando a possibilidade destes serem melhorados e elaborados outros, mais precisos, no futuro.

1. Em relação às áreas de vegetação nativa, os cultivos de café e batata diminuíram os teores de COT, C-FL, C-AH e C-AF.
2. Em áreas de café, independente do manejo, os maiores teores de COT foram observados na profundidade de 0-5 cm. O manejo orgânico propiciou relação C-AH/C-AF igual à referência e teores de C-FL e COT maiores em 128% e 12%, respectivamente, em relação ao manejo convencional.
3. Em áreas de batata não houve diferença para os teores de COT entre as profundidades, mas o manejo alternativo proporcionou aumento médio de 20% de COT. Os teores de C-FL foram até 2,2 vezes menores que na área de cerrado. O manejo convencional mostrou menor relação C-AH/C-AF em todas as profundidades.
4. Em áreas de café, os teores de C-AH foram maiores na superfície (0-5 cm), enquanto os teores de C-AF foram maiores em sub-superfície (5-10 e 10-20 cm). Em áreas de batata tanto os teores de C-AH quanto de C-AF são maiores em superfície (0-10 cm).
5. De maneira geral, o COT nas áreas de batata é mais humificado (recalcitrante), enquanto que nas áreas de café a contribuição de C-FL para o COT é maior (mais biodisponível).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCANTARA, F. A.; BUURMAN, P.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; ROSCOE, R. Conversion of grassy cerrado into forest and its impact on soil organic matter dynamics in a Oxisol from Southern of Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 123, n. 3/4, p. 305-317, Dec. 2004.

AL-SHEIK, A.; DELGADO, J. A.; BARBARICK, K.; SPARKS, R.; DILLON, M.; QIAN, Y.; CARDON, G. Effects of potato-grain rotations on soil erosion, carbon dynamics, and properties of rangeland sandy soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 81, n. 2, p. 227-238, Apr. 2005.

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 27-32, jan./mar. 2000.

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility**: a handbook of methods. 2. ed. Wallingford: CAB International, 1993. 221 p.

ASHAGRIE, Y.; ZECH, W.; GUGGENBER, G.; MAMO, T. Soil aggregation, and total and particulate organic matter following conversion of native forests to continuous cultivation in Ethiopia, **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, n. 1, p. 101-108, May 2007.

BAYER, C.; DICK, D. P.; RIBEIRO, M.; SCHEUERMANN, K. K. Carbon stocks in organic matter fractions as affected by land use and soil management, with emphasis on no-tillage effect. **Ciência Rural**, v. 32, n. 3, p. 401-406, maio/jun. 2002.

BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo**: um procedimento simplificado de baixo custo. Embrapa Solos, 2003. 7 p. (Comunicado Técnico, 16).

CAMARGO, F. A. O.; SANTOS, G. A.; GUERRA, J. G. M.
Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G. A.;
CAMARGO, F. A. O. (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo**.
Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 27-39.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.;
RAMALHO, J. F. G. P., RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.;
SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com
cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por
longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2,
p. 935-944, abr./jun. 2003.

CANELLAS, L. P.; BERNER, P. G.; SILVA, S. G.; SILVA, M. B.;
SANTOS, G. A. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma
topossequência no estado do Rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária
Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 133-143, jan. 2000.

CANELLAS, L. P.; ESPINDOLA, J. A. A.; REZENDE, C. E.;
CAMARGO, P. B.; ZANDONADI, D. B.; RUMJANEK, V. M.;
GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G.; BRAZ-FILHO, R. Organic
matter quality in a soil cultivated with perennial herbaceous legumes.
Scientia Agricola, Piracicaba, v. 61, n. 1, p. 53-61, jan./fev. 2004.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.;
SPANGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada
pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista
Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 777-778, set./out.
2005.

CURI, N.; CHAGAS, C. S.; GIAROLA, N. F. B. Distinção de ambientes
agrícolas e relação solo-pastagens nos campos da Mantiqueira. In:
CARVALHO, M. M.; EVANGELISTA, A. R.; CURI, N.
**Desenvolvimento de pastagens na zona fisiográfica Campos das
Vertentes-MG**. Coronel Pacheco: Embrapa Gado de Leite, 1994. 127p.

DALAL, R. C.; MAYER, R. J. Long-term trends in fertility of soils under
continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. IV.
Loss of organic carbon from different density fractions. **Australian**

Journal of Soil Research, Collingwood, v. 24, n. 2, p. 301-309, 1986.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Ed.) **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 25-37. (SSSA Special Publication, 49)

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212 p.

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. de A.; SANTOS, H. P. dos; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. de S. Soil organic carbon and fractions of a Rhodic Ferralsol under the influence of tillage and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 64, n. 3/4, p. 221-230, Mar. 2002.

HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, R. M.; LOPES-HERNÁNDEZ, D. Microbial biomass, mineral nitrogen and carbon content in savanna soil aggregates under conventional and no tillage. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 34, n. 11, p. 1563-1570, Nov. 2002.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, C. H. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 145-154, abr./jun. 1999.

JANZEN, H. H.; CAMPBELL, C. A.; BRADT, S. A.; LAFOND, G. P.; TOWNLEY-SMITH, L. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 6, p. 1799-1806, Nov./Dec. 1992.

KUDEYAROVA, A. Y. Changes in the structure and properties of alkali-soluble humic substances in phosphorus-enriched gray forest soil. **Biology Bulletin**, New York, v. 30, n. 6, p. 633-643, Nov./Dec. 2003.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus

compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação orgânica e mineral. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 821-832, set./out. 2003.

MACHADO, P. L. O. **Fracionamento físico do solo por densidade e granulometria para a quantificação de compartimentos da matéria orgânica do solo** – um procedimento para estimativa pormenorizada do seqüestro de carbono pelo solo. Embrapa Solos, 2002. 6 p. (Comunicado Técnico, 09)

MACHADO, P. L. O. A.; GERZABECK, M. H. Tillage and crop rotation interactions on humic substances of a Typic Haplorthox from southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 26, n. 3, p. 227-236, July 1993.

MARCHIORI JUNIOR, M.; MELO, W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1177-1182, jun. 2000.

MARSCHNER, B.; WILCZYNSKI, W. The effect of liming on quality and chemical composition of soil organic matter in a pine forest in Berlin, Germany. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 137, n. 2, p. 229-236, Nov. 1991.

MELERO, S.; PORRAS, J. C. R.; HERENCIA, E. M.; Chemical and biochemical properties in a silty loam soil under conventional and organic management. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 90, n. 1/2, p. 162-170, Nov. 2006.

MIELNICZUCK, J. Matéria orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F. A. O (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 1-8.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F. F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: **Tópicos em**

ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3, p. 209-248.

PUGET, P.; DRINKWATER, L. E. Short-term of root- and shoot-derived carbon from a leguminous green manure. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 65, n. 3, p. 771-779, May/June 2001.

RANGEL, O. J. P. **Estoque e frações da matéria orgânica e suas relações com o histórico de uso e manejo de Latossolos.** 2006. 171 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

RIVERO, C.; CHIRENJE, T.; MA, L. Q.; MARTINEZ, G. Influence of composto n soil organic matter quality under tropical conditions. **Geoderma**, Amisterdan, v. 123, n. 3/4, p. 355-361, Dec. 2004.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 70, n. 2, p. 107-119, Apr. 2003.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M. T. & HUNGRIA, M. (Eds) **Biologia dos solos dos cerrados.** Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. p. 465-524.

SLEPETIENE, A.; SLEPETYS, J. Status of humus in soil under various long-term tillage systems. **Geoderma**, Amsterdam, v. 127, n. 3/4, p. 207-215, Aug. 2005.

SOARES, E. M. B. **Impacto de aplicações sucessivas de lodo de esgoto sobre os compartimentos de carbono orgânico em Latossolo cultivado com milho.** 2005. 83 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG

SOUZA, W. J. O.; MELO, W. J. Matéria orgânica em um latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1113-1122, nov./dez. 2003.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry**: genesis, composition, reactions. 2. ed. New York: J. Wiley, 1994. 496 p.

THEODORO, V. C. A.; ALVARENGA, M. I. N.; GUIMARÃES R. J.; SOUZA, C. A. S. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1039-1047, nov./dez. 2003.

WATANABE, A.; SARNO, J.; RUMBANRAJA, K.; TSUTSUKI, K.; KIMURA, M. Humus composition of soils under forest, coffee and arable cultivation in hilly areas of south Sumatra, Indonesia. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 52, n. 4, p. 599-606, Dec. 2001.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

CAPÍTULO 3

FORMAS E QUANTIDADES DE CARBONO EM LIXIVIADOS DE LATOSSOLOS VERMELHOS COM TEORES DIFERENCIADOS DE ÓXIDOS DE FERRO SOB INFLUÊNCIA DE CALCÁRIO E FÓSFORO

(Preparado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo)

RESUMO

As concentrações e formas de carbono solúvel em água (CSA) são reguladas pelo grau de acidez, disponibilidade de nutrientes, mineralogia e fatores ligados à comunidade microbiana do solo. Este estudo teve por objetivo avaliar as quantidades e formas de carbono (C) presentes em lixiviados de Latossolos sob influência de calagem e, ou, fósforo, em solos representativos da Bacia do Rio das Mortes-MG, (Latossolo Vermelho mesoférrico-LV1 e Latossolo Vermelho hipoférrico-LV2). Os tratamentos estudados foram: controle, fósforo, calcário e calcário+fósforo, sendo utilizadas três repetições por tratamento. Foram avaliadas as quantidades e a distribuição de massa molar do CSA em lixiviados oriundos de 10 coletas consecutivas. Além disso, foram avaliados os teores e tipos de ácidos orgânicos de baixa massa molar (AO) associados ao CSA. Em ambos os solos, as quantidades de CSA aumentaram na seguinte ordem: controle \leq calcário < fósforo < calcário+fósforo. As quantidades de CSA foram maiores no LV2, em relação ao LV1. A massa molar média das frações de CSA no efluente aumentou com o tempo, para os tratamentos com calcário e fósforo. As maiores massas molares de CSA foram observadas para o LV2, nos tratamentos com fósforo e calcário+fósforo. Em geral, o LV1 perdeu mais

C na forma de AO do que o LV2. A presença de um tipo específico de ácido orgânico não é indicativo de alta concentração da molécula no lixiviado.

Termos para indexação: ácido orgânico, ácido fúlvico, massa molar, carbono solúvel em água, solos tropicais, teor de óxidos de ferro.

SUMMARY: *Form and content of carbon in the leachates from Oxisols under influence of lime and phosphate*

The form and content of water-dissolved carbon (WDC) are influenced by soil acidity, nutrient availability, mineralogy, and factors related to the microbial community. This work aimed to evaluate the form and content of carbon in leachates from Latosols (oxisols) amended with lime and/or phosphate. Two Latosols were sampled in the region of “Rio das Mortes”, Minas Gerais state (Brazil): medium iron oxide content (mesoferric, LV1) and low iron oxide content (hipoferric, LV2). Triplicates of these samples were incubated in order to obtain four treatment conditions: control, phosphate, liming, and liming+phosphate. Water dissolved carbon and molar mass distribution were measured in ten consecutive leachates. Contents of low molar mass organic acids (LMMOA), associated with WDC, were also measured. In both soils, the quantities of WDC increased in the following order: control \leq liming < phosphorus < liming+phosphorus. WDC was higher in LV2, as compared to the LV. Liming+phosphate increased the average molecular mass of the WDC fractions in the late leachates. The highest masses were found

when the LV2 was amended with phosphate and lime+phosphate. More carbon in the LMMOA form was leached from LV1 than the LV2. The presence of LMMOA molecule in the leachate do not mean higher content of the organic acid in the leachate.

Index terms: *organic acid, fulvic acid, molar mass, water dissolved carbon, tropical soils, iron oxides content.*

INTRODUÇÃO

No sistema solo-planta, o carbono (C) pode ser perdido por volatilização, em função da liberação de CO₂ e CH₄ para a atmosfera, por erosão, em razão do arraste de C junto com o sedimento que é movimentado com a enxurrada, e por lixiviação, junto com a água que percola no solo (Karlik, 1995). As perdas de C por lixiviação são, de fato, reduzidas, uma vez que o carbono solúvel em água (CSA) contribui somente para uma pequena fração da matéria orgânica do solo, mas podem ser significativas ao longo do tempo, se forem consideradas as quantidades acumuladas de C perdidas e a velocidade em que o C da solução é repostado pela fase sólida em alguns sistemas de manejo do solo. O CSA pode ser definido como moléculas orgânicas de diferentes tamanhos e estruturas que passam em membrana de filtração de poro de 0,45 µm (Kalbitz et al., 2000). Essas substâncias englobam ácidos fúlvicos, polissacarídeos, ácidos gordurosos, ésteres (Stevenson, 1994), ácidos orgânicos e aminoácidos (Herbert & Bertsch, 1995).

Funcionalmente, o CSA se caracteriza como um dos fatores de formação do solo (Dawson et al., 1978), por atuar sobre a intemperização de minerais (Raulund-Rasmussen et al., 1998), sendo ainda fonte de nutrientes e regulador do transporte de poluentes e nutrientes, podendo atuar ainda como complexante de metais pesados, amenizando potenciais efeitos de toxidez às plantas (Stevenson, 1994). No solo, as fontes potenciais de CSA são a serrapilheira, a matéria orgânica do solo e as raízes (Kalbitz et al., 2000). O balanço estabelecido entre o carbono associado a esses compartimentos e aquele presente na solução do solo é regulado pelos processos de adsorção/dessorção, precipitação/dissolução, difusão, complexação/descomplexação, protonação/desprotonação e decomposição (Kalbitz et al., 2000). A intensidade desses processos é regulada por fatores bióticos (cobertura vegetal do solo e diversidade e atividade microbianas) e abióticos (pH, teor de matéria orgânica, força iônica, concentração de ânions, adubação nitrogenada, práticas de preparo e de drenagem, composição mineralógica etc.) (Chantigny, 2003; Kalbitz et al., 2000).

Em solos minerais não corrigidos quimicamente, as baixas concentrações de C solúvel se devem mais aos fenômenos de adsorção que à biodegradação (Miranda et al., 2006). Entretanto, em solos onde a acidez é corrigida, há maior quantidade de C na solução, o que se explica devido à maior solubilidade da matéria orgânica (Erich & Trusty, 1997), aumento da atividade microbiana e à produção de compostos mais solúveis (Guggenberger et al., 1994). Além disso, com a calagem, pode haver substituição de CSA adsorvido à fase sólida por ânions mobilizados (troca de ligantes) (Kalbitz et al., 2000). Por outro lado, o consumo de C

dissolvido em água pela microbiota (Andersson, 1999) e a flocculação ou adsorção de C em pontes de cátions formadas em razão da alta concentração de cálcio no solo podem contribuir para as perdas de C via solução em solos onde a acidez é corrigida.

Apesar de o C orgânico dissolvido em água representar somente uma pequena parte do C lábil do solo (van Hees et al., 2005), estudos desenvolvidos em vasos e lisímetros (Karlik, 1995) mostraram que a perda de C por lixiviação pode ser até 53% maior em solos tratados com carbonato de cálcio. Isso evidencia que, além de causar a diminuição dos teores de C, a correção da acidez altera os modelos de migração e de ciclagem da matéria orgânica do solo. Silva et al. (2000) observaram que a aplicação de calcário, por favorecer a decomposição da matéria orgânica, aumentou a quantidade de C-ácido fúlvico no solo. Como essas moléculas apresentam maior quantidade de grupos carboxílicos do que outros grupos de substâncias húmicas, são, portanto, mais reativas no solo, possuem maior solubilidade e menor massa molar, e podem, por conseguinte, ser solvatadas e perdidas mais facilmente por lixiviação (Stevenson, 1994). Marschner & Wilczynsky (1991) observaram que a aplicação de calcário em solos sob floresta promoveu um aumento da concentração de ácidos fúlvicos nas camadas mais profundas do solo, com diminuição da concentração de ácidos húmicos, evidenciando uma maior mobilidade das substâncias húmicas de menor massa molar.

Aumentos nos teores de C lixiviados de solos que receberam calagem são devidos ao aumento da atividade microbiana (Persson et al., 1989; Andersson et al., 1994), maior solubilidade de compostos orgânicos, uma vez que o aumento de pH resulta em maior dissociação de

grupos funcionais ácidos (Brunner & Blaser, 1989), ou em mudanças na comunidade microbiana (Andersson et al., 2000). Por outro lado, a redução dos teores de CSA pode ser causada pelo efeito estabilizador do cálcio ao formar pontes com compostos orgânicos do solo, com efeito similar aos proporcionados pelo Al e Fe (Andersson et al., 2000; Romkens et al., 1996;).

A aplicação de fosfato, segundo Kudeayrova (2003), promoveu uma alteração nas propriedades químicas do extrato alcalino (fração ácido húmico + fração ácido fúlvico) de solos incubados por três anos. Os compostos húmicos tornaram-se mais reativos, com alteração dos grupos funcionais, destacando-se ligações C=C e grupamentos contendo P (p.e., fosforil: P=O), tornando essas moléculas mais solúveis, o que acarretou uma diminuição do C na forma de ácidos fúlvicos, em relação aos ácidos húmicos (Kudeayrova, 2003).

Dentro do grupo de moléculas reativas no solo, além dos ácidos fúlvicos, destacam-se os ácidos orgânicos de baixa massa molar (AO). Apesar de estarem presentes em baixa concentração na solução do solo, aproximadamente 3% do CSA (van Hees et al., 1999), os AO desempenham inúmeras funções, sobretudo na rizosfera, tais como: complexação de metais (Fox & Comerford, 1990), aumento da disponibilidade de P (Andrade et al., 2003), maior mobilidade de cátions no perfil do solo etc. Os AO, apesar de sua baixa persistência no solo, são mantidos em níveis relativamente constantes, sugerindo uma alta reposição na solução do solo. Esse fluxo constante de C para a solução ocorre por meio da produção de exsudatos por raízes e microrganismos, além de produtos de decomposição da matéria orgânica do solo e de

resíduos orgânicos, muito embora seja difícil separar a origem dessas fontes no solo (van Hees et al., 2005) e identificar essas moléculas em solos tropicais (Miyazawa & Pavan, 1992). Em geral, os fatores que afetam a atividade microbiana exercem influência sobre as concentrações de CSA e de C-AO no solo, com destaque para as práticas de calagem (Roth & Pavan, 1991) e fosfatagem (Myers & Thien, 1991), pois estas aumentam o pH do solo. Os efeitos da aplicação de P sobre o pH são atribuídos a ligações covalentes do fosfato aos óxidos de Fe e Al do solo, formando complexos de esfera interna. Essa adsorção específica do fosfato libera radicais hidroxílicos da fase sólida para a solução, aumentando o pH do sistema (Myers & Thien, 1991). Além disso, os óxidos (termo inclusivo para óxidos, oxidróxidos e hidróxidos) de ferro do solo restringem os teores de matéria orgânica dissolvida na solução, devido à adsorção dos compostos orgânicos às superfícies desses minerais (Kalbitz et al., 2000), conferindo à matéria orgânica proteção física, por restringir o acesso dos microrganismos às moléculas orgânicas presentes no interior de agregados (Golchin et al., 1994) e adsorvidas aos colóides inorgânicos. Estudos da composição de materiais da solução do solo podem ser úteis para monitorar os efeitos das atividades antrópicas (uso e manejo) sobre o solo (Miranda et al., 2006).

A Bacia do Rio das Mortes (BRM), localizada no Estado de Minas Gerais, engloba 26 municípios, que se destacam pela produção agrícola, com significativa produção de batata, na sua porção leste. Nessa área predominam Latossolos e Cambissolos de baixa fertilidade natural, sendo a correção da acidez e a adição de fósforo práticas agrícolas frequentes (Curi et al., 1994). Essas práticas exercem forte influência sobre a

comunidade microbiana e sobre a dinâmica de diferentes compartimentos de C presentes no solo, tendo implicações importantes sobre a sustentabilidade dos agroecossistemas locais, uma vez que a matéria orgânica é o principal reservatório de cargas e nutrientes desses solos.

Na BRM, a correção da acidez do solo é realizada em praticamente todas as áreas cultivadas e as doses de fosfato variam entre as culturas. Em áreas de produção de batata, é comum a aplicação, em cada ciclo da cultura, de doses entre 2.000 e 2.500 kg ha⁻¹ da fórmula 4-16-8, o que, em menos de 10 anos, pode fazer com que se atinja metade da capacidade máxima de adsorção de P de grande parte dos solos agrícolas da região. Muitas vezes, essas quantidades de P são aplicadas sem levar em conta o requerimento nutricional da cultura e sem avaliar a capacidade do solo em suprir o nutriente. Isso pode resultar em contaminação ambiental, além de aumento no custo de produção, em razão da aplicação de doses de P que proporcionam baixo retorno econômico. Por se tratarem de solos com diversas deficiências nutricionais, tanto a prática da calagem, quanto de aplicação de fosfato, são indispensáveis para a produção das culturas. No entanto, essas práticas podem interferir na ciclagem e dinâmica de frações da matéria orgânica do solo, como por exemplo, o CSA, em suas diversas formas. Assim, a calagem, isoladamente, ou em conjunto com adubação fosfatada pode elevar a lixiviação de C, em quantidades acima do normalmente encontrado em condições naturais. Isto, provavelmente, se deve ao fato de a calagem e a adubação fosfatada diminuírem o ponto isoelétrico e favorecerem a decomposição de compostos orgânicos, a capacidade de troca de cátions líquida do solo e a dispersibilidade da argila (Lima et al.,

2000). Além disso, o fosfato desloca ânions orgânicos da superfície coloidal para a solução do solo, favorecendo sua lixiviação para as camadas mais profundas, onde a capacidade de retenção é menor.

Assim, este estudo teve por objetivo avaliar os efeitos da calagem, em combinação ou não com a adubação fosfatada, sobre as quantidades e formas de carbono presentes em lixiviados de Latossolos Vermelhos mesoférrico e hipoférrico.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em lisímetros do Laboratório de Conservação do Solo e da Água do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, em amostras de solos provenientes da Bacia do Rio das Mortes, coletadas na profundidade de 0-20 cm. Foram utilizados Latossolos Vermelhos, sendo um mesoférrico (LV1) e outro hipoférrico (LV2). Após o destorroamento, as amostras dos solos foram secas ao ar, peneiradas (malha de 4 mm), sendo, então, caracterizadas quimicamente, conforme Embrapa (1997) (Quadro 1).

Quadro 1. Atributos químicos de Latossolos Vermelhos mesoférrico (LV1) e hipoférrico (LV2) da Bacia do Rio das Mortes-MG, antes da aplicação dos tratamentos.

Solo	pH	Textura	P	P-rem	CMAP	V	COT	Fe ₂ O ₃	Ki	Kr
			-----	mg dm ⁻³	-----	-----	%	-----		
LV1	5,6	argilosa	1,2	16,4	769	52	3,0	15,1	1,1	0,8
LV2	4,8	argilosa	0,9	10,5	1000	14	2,0	7,7	0,6	0,5

P = teor de fósforo disponível (Mehlich-1); V = saturação por bases; COT = carbono orgânico total (Yeomans & Bremner, 1988); Fe₂O₃ = ferro total (ataque sulfúrico); P-rem = fósforo remanescente (Alvarez V. et al., 2000); CMAP = capacidade máxima de adsorção de fósforo. Relações moleculares: Ki=SiO₂/Al₂O₃; Kr=SiO₂/(Al₂O₃+Fe₂O₃).

As amostras foram incubadas para se obterem os seguintes tratamentos: controle, fósforo, calcário e calcário+fósforo, com três repetições, perfazendo 24 parcelas experimentais. A dose de calcário foi suficiente para se elevar a saturação por bases a 85%, utilizando-se calcário dolomítico de reação rápida (PRNT 100%). Essa saturação por bases foi adotada com o objetivo principal de alcançar um pH de solo mais alto, pois não é raro encontrarem-se agrícolas na Bacia com pH de solo acima do recomendado. Um exemplo são áreas de cultivo de batata com pH entre 6,0 e 6,4, quando um valor de 5,5 já seria suficiente. Além disso, pelo fato de se tratar de estudo em lisímetros, a grande desagregação do solo faz com que, comumente, a quantidade de calcário aplicada não eleve o pH tanto quanto aconteceria em condições de campo. Assim, as doses de calcário aplicadas no LV1 e no LV2 foram equivalentes a 3,1 e 4,6 Mg ha⁻¹, respectivamente. Os solos foram incubados em caixas de 1.000 L, durante 35 dias, tempo suficiente para os tratamentos que receberam calcário atingissem pH igual a 6,4. Após esse período, os solos foram novamente secos ao ar, misturando-se as respectivas doses de P, na forma de KH₂PO₄ p.a., as quais foram estabelecidas visando-se a atingir metade da capacidade máxima de adsorção de P (Nóbrega et al., 2005), equivalendo a 385 mg kg⁻¹ para o LV1 e 500 mg kg⁻¹ para o LV2. Vinte e oito litros e meio dessa mistura foram acondicionados em cada lisímetro, onde permaneceram por mais 45 dias para incubação com fosfato. Durante o período de incubação, o teor de água das amostras foi mantido próximo da capacidade de campo. Após esse período, os solos foram novamente submetidos a análises químicas (Quadro 2).

A bateria de lisímetros foi construída em aço inoxidável, com cada célula apresentando volume de 0,033 m³ (0,32x0,32x0,32 m).

Quadro 2. Características químicas dos Latossolos Vermelhos mesoférrico (LV1) e hipoférrico (LV2), após a calagem e fósforo.

Atributo	Controle		Calcário		Fósforo		Calc.+P	
	LV1	LV2	LV1	LV2	LV1	LV2	LV1	LV2
pH	5,3	4,3	6,0	6,0	5,4	5,4	6,2	6,4
P-Mel (mg dm ⁻³)	1,3	1,0	1,9	0,9	51,2	54,6	48,8	46,3
P-Res (mg dm ⁻³)	3,3	1,0	3,2	2,8	133,3	155,2	115	168,8
K (mg dm ⁻³)	88	20	52	31	275	136	107	287
Ca (cmol _c dm ⁻³)	2,7	0,4	4,5	3,0	3,3	0,5	4,4	2,9
Mg (cmol _c dm ⁻³)	1,3	0,1	1,9	1,4	1,2	0,2	2,3	1,5
SB (cmol _c dm ⁻³)	4,2	0,6	6,6	4,5	5,2	1,1	6,9	5,1
t (cmol _c dm ⁻³)	4,5	1,9	6,6	4,5	5,4	1,8	6,9	5,1
T (cmol _c dm ⁻³)	9,2	8,6	9,6	7,4	10,6	8,1	10,1	8,3
V (%)	45	7	69	61	49	14	68	62
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,3	1,2	0,0	0,0	0,2	0,7	0,0	0,0
m (%)	7	67	0	0	4	39	0	0
COT (%)	3,1	2,1	3,1	2,2	3,1	2,1	3,1	2,1
P-rem (mg dm ⁻³)	24,5	7,6	17,8	12,0	22,4	16,9	23,3	20,9

pH = pH em água; P-Mel=P-Mehlich-1; P-Res=P-resina; K=potássio; Ca=cálcio; Mg=magnésio; SB=soma de bases; t=CTC efetiva; T=CTC potencial; V=Saturação por bases; Al=alumínio trocável; m=saturação por Al; COT=carbono orgânico total; P-rem=P-remanescente.

Após o período de incubação com fosfato, foram iniciadas as aplicações de água, com o objetivo de promover fluxo hídrico nas colunas. A cada três dias, foi aplicado 1,7 L de água deionizada por coluna, correspondentes a uma lâmina de 17 mm por aplicação, num total de 10 aplicações. Essa lâmina de água foi baseada na média histórica de chuvas dos meses de outubro e novembro da estação climatológica de Barbacena-MG. Nos intervalos entre aplicações, a umidade do solo da

coluna foi mantida próxima da capacidade de campo, por meio de pesagens comparativas de recipiente de referência.

O volume de efluente foi medido a cada coleta, tomando-se uma alíquota filtrada (0,45 μm), para determinação dos teores de carbono orgânico solúvel em água (CSA), conforme Mendonça & Matos (2005). Os teores de CSA foram normalizados para o volume de efluente de cada coleta.

As massas molares dos compostos orgânicos presentes nos lixiviados foram determinadas por meio da cromatografia de exclusão por tamanho de alta eficiência (CETAE), detalhada em Silva et al. (2000). Devido às limitações da técnica, pela proximidade das massas de várias das moléculas presentes nos lixiviados, somente foram determinadas aquelas com massa molar maior que 300 Da.

Para a identificação e quantificação de ácidos orgânicos de baixa massa molecular (AO), empregou-se cromatografia líquida de alta eficiência. As amostras dos lixiviados foram filtradas em membrana celulósica com 0,45 μm de diâmetro, para a injeção em coluna cromatográfica modelo Supelcogel C-610H, 30 cm x 7,8 mm. Como padrões, foram utilizadas moléculas de AO pró-análise Merck[®]. Como eluente, foi utilizada solução de H_3PO_4 0,1%, a um fluxo de 0,5 mL min^{-1} , com injeção de 100 μL de amostra. O tempo de aquisição dos cromatogramas foi de 35 minutos, com intervalo de 1 minuto entre as corridas. Foi utilizado um detector de arranjo de diodos operando a 210 nm. A temperatura durante as análises cromatográficas variou entre 23 e 29°C. As moléculas foram identificadas em função dos tempos de retenção dos seguintes padrões de moléculas puras, na concentração de

100 $\mu\text{mol L}^{-1}$: ácidos oxálico, maléico, cítrico, tartático, málico, malônico, succínico, láctico, fórmico, acético, ftálico e propiônico. As concentrações, para cada ácido, foram calculadas através de áreas determinadas por curvas de calibração para a respectiva molécula identificada nos lixiviados.

Por meio da concentração de cada molécula, determinou-se a concentração de C e, na seqüência, a quantidade de C na forma de AO (C-AO) presente em cada lixiviado. Calculou-se, ainda, a relação C-AO/CSA, ou seja, quanto do C orgânico dissolvido em água era composto por C-AO. Foram ainda determinados o pH e as quantidades de P (dados não apresentados) (método do ácido ascórbico: *Standard Methods*, 1999) em cada lixiviado, a fim de se verificar a influência desses atributos sobre o CSA.

Para as variáveis médias das massas molares, os somatórios totais de CSA e C-AO e relação C-AO/CSA, foi realizada a análise de variância, com as médias testadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. Foram feitas análises de correlação entre os atributos de C medidos nos lixiviados e os atributos químicos do solo. Quando pertinente, os parâmetros medidos nos lixiviados foram correlacionados entre si, sendo o grau de significância testado pelo teste de t-student.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o experimento, os solos estudados apresentaram comportamentos significativamente diferentes, o que foi atribuído aos

seus teores contrastantes de óxidos de ferro (Quadro 1). Dentre os diversos tratamentos, a adubação fosfatada, principalmente em conjunto com a calagem, foi o fator que mais influenciou as quantidades de CSA dos lixiviados (Quadro 3). Em geral, houve maior lixiviação de C no Latossolo hipoférrico. Entretanto, comparando-se os dois solos, no tratamento controle (sem calagem e sem P), o LV1 perdeu mais CSA do que o LV2 (Quadro 3), o que está coerente com o maior teor de COT desse solo, em relação ao LV2 (Quadro 1).

Quadro 3. Quantidades acumuladas (10 épocas de coleta) de carbono (mmol) na forma de ácido orgânico de baixa massa molar (C-AO), carbono orgânico solúvel em água (CSA) e relação (%) entre estas duas formas em Latossolos Vermelhos meso e hipoférrico, sob efeito de calagem e fósforo.

Tratamento		C-AO	CSA	C-AO/CSA
		----- mmol -----	-----	----- % -----
Latossolo mesoférrico (LV1)	Controle	3,02 a A	9,32 c A	32,40 a
	Fósforo	3,72 a A	24,67 b A	15,08 b
	Calcário	3,35 a A	9,96 c B	33,62 a
	Calc. + P	3,27 a A	37,21 a B	8,79 b
Latossolo hipoférrico (LV2)	Controle	1,13 b B	5,51 d B	20,51 a
	Fósforo	1,20 b B	27,16 b A	4,42 b
	Calcário	1,51 b B	16,13 c A	9,36 b
	Calc. + P	3,61 a A	82,56 a A	4,37 b

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si (Scott-Knott, $p \leq 0,05$): letras minúsculas comparam tratamentos dentro de cada solo, enquanto maiúsculas comparam solos dentro de cada tratamento.

Em condições de campo, Patel-Sorrentino et al. (2007) observaram de 0,10 a 0,16 mM de C dissolvido em percolados de um Oxissolo amazônico não perturbado. As concentrações médias de CSA

encontradas nos controles deste estudo (dados não apresentados) foram até seis vezes maiores que as encontradas por Patel-Sorrentino et al. (2007), o que permite inferir que, basta desagregar o solo (prática necessária para aplicação dos tratamentos neste estudo) para se elevar as perdas de C do sistema solo-planta.

A aplicação de P foi o fator que mais influenciou a quantidade lixiviada de CSA, sobretudo quando em conjunto com a calagem, notadamente no LV2 que, apesar de conter 33% menos COT (Quadro 1), liberou mais do dobro de C que o LV1, no tratamento com calcário+fósforo (Quadro 3). Isto está de acordo com os dados de Filep et al. (2003), que observaram acréscimo do C orgânico dissolvido em água em função do acréscimo do pH. Em função da análise da distribuição das quantidades de C perdidas em cada lixiviado, observa-se que, em relação ao controle, isso ocorreu somente no Latossolo hipoférrico (Figuras 1 e 2), pois, no LV1, a calagem não se diferenciou do controle (Quadro 3 e Figuras 1 e 2), o que pode ser corroborado pela ausência de significância da correlação entre CSA e pH no LV1 (Quadro 4). Para esse solo, houve significância somente para correlação entre CSA e os teores de P disponível (Mehlich-1 e Resina).

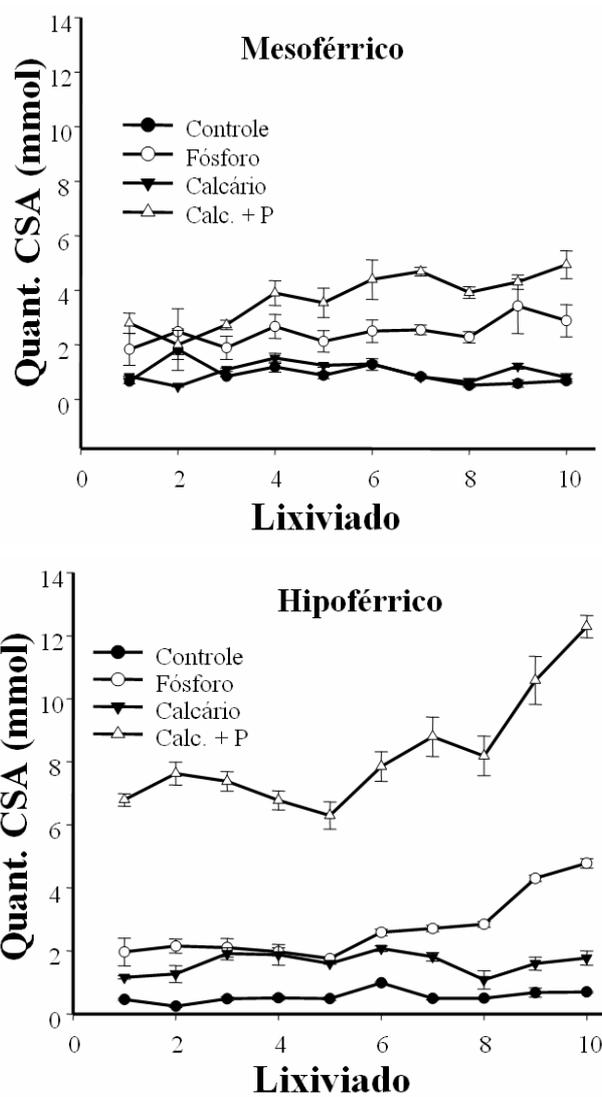


Figura 1. Distribuição das quantidades de C solúvel em água (CSA) em lixiviados de Latossolos Vermelhos mesoférico (LV1) e hipoférico (LV2), tratados com calcário e, ou, fósforo.

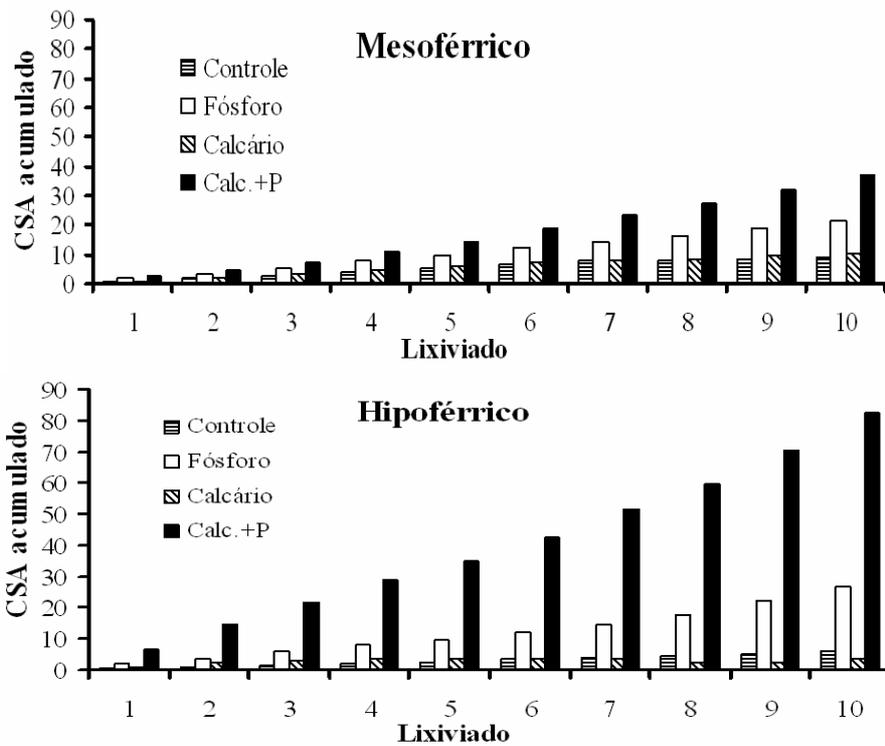


Figura 2. Quantidades (mmol) acumuladas de C solúvel em água (CSA) perdidas em lixiviados de Latossolos Vermelhos mesoférico (LV1) e hipoférico (LV2), tratados com calcário e, ou, fósforo.

Quadro 4. Coeficientes de correlação entre os atributos químicos do solo e as quantidades de carbono na forma de ácidos orgânicos de baixa massa molar (C-AO) e carbono orgânico solúvel em água (CSA) lixiviadas de Latossolo Vermelho mesoférico (LV1) e Latossolo Vermelho hipoférico (LV2).

Atributo	CSA		C-AO	
	LV1	LV2	LV1	LV2
pH	0,48ns	0,74*	-0,05ns	0,73*
P-Mel	0,91***	0,66ns	0,64ns	0,43ns
P-Res	0,88**	0,78*	0,68ns	0,58ns
Ca	0,37ns	0,54ns	0,17ns	0,66ns
Mg	0,50 ns	0,61ns	-0,23ns	0,72*
T	0,52ns	0,66ns	0,20ns	0,78*
T	0,71*	0,15ns	0,90***	0,13ns
V	0,33ns	0,59ns	0,00ns	0,70*
Al	-0,40ns	-0,61ns	-0,15ns	-0,65ns
M	-0,44ns	-0,61ns	-0,26ns	-0,65ns
CT	-0,55ns	-0,32ns	-0,74*	-0,20ns
P-rem	0,34ns	0,90***	-0,31ns	0,76*

***, **, * e ns: significativo a 1%, 5% e 10% e não significativo, respectivamente (t-student). pH = pH em água; P-Mel=P-Mehlich-1; P-Res=P-resina; K=potássio; Ca=cálcio; Mg=magnésio; SB=soma de bases; t=CTC efetiva; T=CTC potencial; V=Saturação por bases; Al=alumínio trocável; m=saturação por Al; CT=carbono orgânico total; P-rem=P-remanescente.

Provavelmente, isto se deve ao fato de o LV1 apresentar pH e saturação por bases (V) naturalmente maiores (Quadro 1), resultando em menor resposta ao corretivo aplicado (Quadro 2). O LV2, por apresentar valores de pH e de V naturais mais baixos (Quadro 1), revelou correlação significativa para CSAxpH, além de ainda ter sido verificada correlação positiva entre o CSA e os teores de P disponíveis pela resina aniônica (Quadro 4). Situação semelhante foi verificada para as quantidades de CSA lixiviadas e os valores de pH dos lixiviados para o LV2 (CSAxpH, $r = 0,68^{p<0,15}$) e quantidade de P lixiviada para o LV1 (CSAxP, $r =$

0,95^{p<0,05}). Em geral, dentre os extratores de P, o método da resina se mostrou mais sensível quanto a possíveis inferências dos efeitos da aplicação desse nutriente sobre as lixiviações de CSA, uma vez que foram observadas correlações significativas para ambos os solos (Quadro 4).

Segundo Kalbitz et al. (2000), em estudos de laboratório, além do aumento do pH, a aplicação de fosfato é um dos fatores que exerce forte influência sobre os teores de matéria orgânica dissolvida em água. A adsorção de P, por diminuir as cargas positivas do solo, faz com que o ponto isoelétrico do mesmo se torne menor que o pH (Lima et al., 2000). Além disso, a adsorção de P desloca radicais hidroxílicos da fase sólida para a solução do solo, aumentando o pH do solo (Myers & Thien, 1991), fenômeno conhecido como autocalagem. Tudo isso, aliado à aplicação de calcário, garante o predomínio de cargas líquidas negativas ao solo. O predomínio de cargas de mesmo sinal contribui, em razão do fenômeno de repulsão, para a exposição/liberação da matéria orgânica protegida nos agregados. O LV2, por apresentar um menor teor de COT (Quadro 1), pode ter agregados menos estáveis e, conseqüentemente, uma maior proporção de matéria orgânica protegida fisicamente a ser liberada. Nóbrega et al. (2005) relatam o forte efeito da aplicação conjunta de calcário e fosfato sobre a dispersão da argila. Neste estudo, o LV2 apresentou uma maior CMAP (Quadro 1) e uma maior resposta ao calcário que o LV1, ou seja, um maior efeito de troca de ligantes (Afif, 1995) no LV2 pode também ter contribuído para maior perda do CSA.

Karlik (1995) verificou que, ao longo de quatro anos, a perda de C por lixiviação foi de 14,8 e 11,1 kg ha⁻¹ para solos corrigidos ou não com calcário, respectivamente, e que as maiores perdas de C foram para solos

mantidos em pousio. As quantidades de CSA tiveram tendência a aumentar das primeiras lixiviações para as últimas, sobretudo para o LV2, nos tratamentos com P (Figura 1), sugerindo um efeito prolongado. Nesses tratamentos, em aproximadamente 30 dias, as perdas de C por lixiviação para o LV2 e para o LV1 seriam de 1,98 e 0,89 kg ha⁻¹, respectivamente. Estes números, quando se compara com os apresentados por Karlik (1995) (aproximadamente, 194 kg ha⁻¹ de C-CO₂ perdidos no solo com correção, durante 30 dias), podem parecer sem importância, mas demonstram a relevância do manejo conservacionista do solo, com aplicação racional de insumos, reduzido revolvimento do solo, manutenção dos restos vegetais na superfície e constante aporte de C ao solo.

A presença e a quantidade/concentração de ácidos orgânicos de baixa massa molar nos lixiviados mostraram diferença ao longo do tempo (Figura 3 e Quadro 5), comprovando sua alta labilidade em solos.

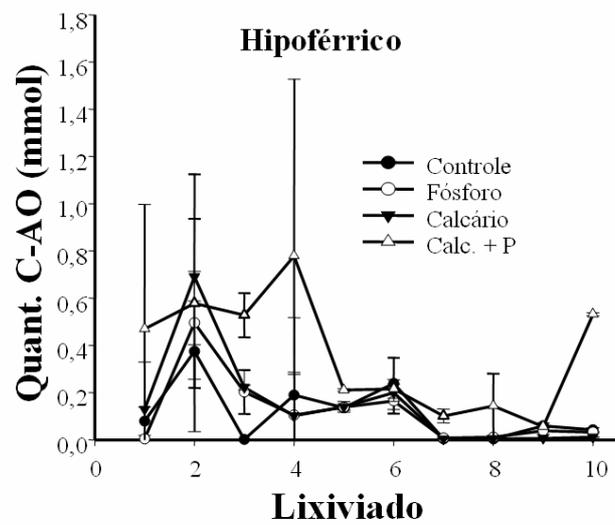
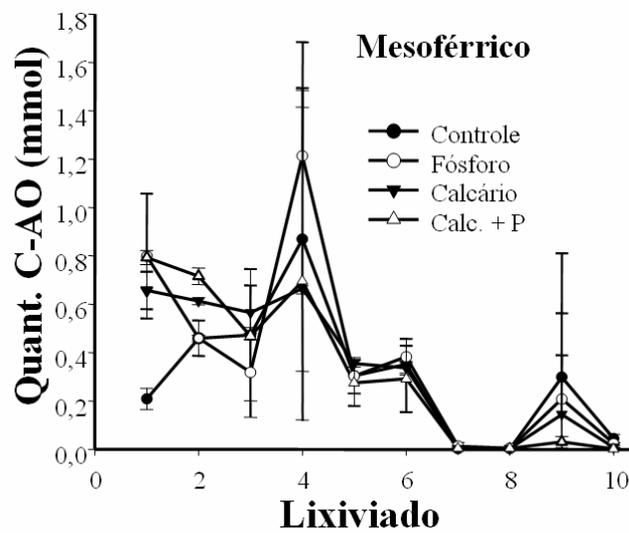


Figura 3. Quantidades de C na forma de ácidos orgânicos de baixa massa molar (C-AO) em lixiviados de Latossolos Vermelhos mesoférico (LV1) e hipoférico (LV2), tratados com calcário e, ou, fósforo

Quadro 5. Concentrações e tipos de ácidos orgânicos de baixa massa molar em lixiviados de dois Latossolos Vermelhos (mesoférico, LV1 e hipoférico, LV2) tratados com calcário e, ou, fósforo.

Tratamento	Lixiviado										
	1		2		3		4		5		
	Ácido	μM	Ácido	μM	Ácido	μM	Ácido	μM	Ácido	μM	
Mesoférico (LV1)	Controle	Mal.	279,4	Mal.	581,6	--	--	--	--	Mal.	478,8
		Fum.	1,9	Fum.	2,3	--	--	--	--	Fum.	2,0
		Lát.	83,2	--	--	Cít.	321,2	--	--	--	--
		Tart.	92,9	--	--	--	--	Tart.	574,6	--	--
	Fósforo	Mal.	809,8	Mal.	557,4	--	--	--	--	Mal.	454,0
		Fum.	9,9	Fum.	5,9	--	--	--	--	Fum.	2,2
		Lát.	84,3	--	--	--	--	Tart.	806,0	--	--
		Prop.	652,7	Cít.	292,8	Cít.	214,3	--	--	Cít.	235,2
	Calcário	Mal.	875,8	Mal.	779,1	Cít.	161,4	--	--	Mal.	541,4
		Fum.	2,2	Fum.	2,7	Fum.	1,2	--	--	Fum.	2,2
		--	--	--	--	Tart.	692,4	Tart.	643,8	--	--
	Calc. + P	Mal.	1068,2	Mal.	939,3	--	--	--	--	Mal.	403,2
Fum.		2,2	Fum.	2,5	Tart.	466,9	Tart.	706,3	Fum.	2,2	
--		--	--	--	Cít.	275,5	--	--	Cít.	224,8	
Hipoférico (LV2)	Controle	Mal.	158,3	Mal.	198,9	--	--	--	--	Mal.	216,2
		Fum.	4,4	Fum.	1,9	Fum.	1,2	--	--	Fum.	2,7
		--	--	Malôn.	1157,7	--	--	Tart.	383,9	--	--
	Fósforo	--	--	Mal.	573,8	--	--	--	--	Mal.	179,1
		Fum.	2,6	Fum.	1,7	Fum.	1,2	--	--	Fum.	2,2
		--	--	--	--	Cít.	172,4	Tart.	214,9	Cít.	134,7
	Calcário	Mal.	194,8	Mal.	469,7	--	--	--	--	Mal.	184,8
		Fum.	71,9	Fum.	1,7	--	--	--	--	Fum.	2,4
		Lát.	85,7	--	--	--	--	--	--	--	--
		Cít.	40,9	Prop.	1848,6	Cít.	126,9	Tart.	224,3	Cít.	130,8
	Calc. + P	Mal.	795,5	Mal.	490,6	--	--	--	--	Mal.	264,1
		Fum.	2,9	Fum.	1,7	--	--	--	--	Fum.	2,3
Malôn.		160,4	Cít.	287,6	Cít.	333,6	--	--	Cít.	245,2	
Prop.		580,6	Prop.	1559,2	--	--	--	--	--	--	
Lát.		96,3	Lát.	129,9	--	--	Tart.	793,0	--	--	

Mal.=maléico; Fum.=fumárico; Lát.=lático; Cít.=cítrico; Prop.=propiónico; Tart.=tartárico; Malôn.=malônico

Continua...

Quadro 5. Concentrações e tipos de ácidos orgânicos de baixa massa molar em lixiviados de Latossolos Vermelhos (mesoférico, LV1 e hipoférico, LV2) tratados com calcário e, ou fósforo (... continuação).

Tratamento	Lixiviado										
	6		7		8		9		10		
	Ácido	μM	Ácido	μM	Ácido	μM	Ácido	μM	Ácido	μM	
Mesoférico (LV1)	Controle	Mal.	477,3	--	--	--	--	Mal.	618,2	Mal.	29,0
		Fum.	2,4	Fum.	2,3	Fum.	2,4	Fum.	1,6	Fum.	1,5
		--	--	--	--	--	--	--	--	Cít.	51,8
	Fósforo	Mal.	514,2	--	--	--	--	--	--	Mal.	29,2
		Fum.	2,3	Fum.	8,4	Fum.	2,6	Fum.	1,8	Fum.	2,5
		--	--	--	--	--	--	Prop.	833,4	--	--
	Calcário	Mal.	455,1	--	--	--	--	--	--	Mal.	8,5
		Fum.	2,2	Fum.	2,3	Fum.	2,6	Fum.	145,5	Fum.	2,5
	Calc. + P	Mal.	355,6	--	--	--	--	Mal.	57,7	--	--
		Fum.	2,2	Fum.	2,3	Fum.	2,4	Fum.	2,1	Fum.	1,6
		Cít.	212,8	--	--	--	--	--	--	--	--
	Hipoférico (LV2)	Controle	Mal.	192,2	--	--	--	--	Mal.	66,2	Mal.
Fum.			2,4	Fum.	2,6	Fum.	2,5	Fum.	3,0	Fum.	2,3
--			--	--	--	--	--	Cít.	38,9	Cít.	35,7
Fósforo		Mal.	207,1	Mal.	16,2	Mal.	19,1	Mal.	32,1	Mal.	40,7
		Fum.	2,4	Fum.	2,6	Fum.	2,0	Fum.	2,2	Fum.	2,7
		Cít.	114,6	--	--	--	--	--	--	Cít.	18,2
Calcário		Mal.	264,0	--	--	--	--	Mal.	9,9	Mal.	11,8
		Fum.	2,1	Fum.	2,4	Fum.	2,8	Fum.	2,4	Fum.	2,7
Calc. + P		Mal.	223,7	Mal.	137,8	Mal.	133,6	Mal.	67,2	Mal.	347,1
		Fum.	14,5	Fum.	2,2	Fum.	2,3	Fum.	1,8	--	--
		Cít.	215,7	--	--	--	--	--	--	--	--
		Prop.	172,0	--	--	--	--	--	--	--	--

Mal.=maléico; Fum.=fumárico; Lát.=lático; Cít.=cítrico; Prop.=propiónico; Tart.=tartárico.

As quantidades de C-AO não diferiram estatisticamente entre os tratamentos, à exceção do tratamento de calcário+fósforo no LV2 que, apesar de ser maior (Quadro 3), praticamente não apresentou diferença entre as lixiviações (Figura 3). Apesar das maiores quantidades de C-AO lixiviadas, esse tratamento apresentou as maiores quantidades de CSA lixiviadas, propiciando uma das menores relações C-AO/CSA (Quadro 3). Nesse caso, pode-se inferir que a maior contribuição para o C lixiviado

foi de moléculas orgânicas maiores que os AO, como, por exemplo, ácidos fúlvicos, muito embora van Hees et al. (2005) afirmem que, potencialmente, as moléculas de baixa massa são mais suscetíveis à lixiviação do que as de alta massa molar. Além disso, como tanto a correção do pH (Karlik, 1995), quanto o acréscimo dos teores de P disponível (Myers & Thien, 1991) aumentam a atividade microbiana e, como os AO são moléculas mais facilmente oxidáveis (van Hees et al., 2005), seu uso como substrato para microrganismos provavelmente foi preferencial, diminuindo suas quantidades nos lixiviados oriundos de solo com maiores valores de pH e teores de P (Quadro 3).

Segundo van Hees et al. (2005), a solução do solo pode conter uma grande diversidade de moléculas orgânicas de baixa massa molar, tais como ácidos orgânicos alifáticos, cujas concentrações podem variar de 0,1-50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (μM) para AO di/trivalentes (p.e., ácidos cítrico e málico) e de <1-1.000 $\mu\text{mol L}^{-1}$ para ácidos monovalentes (p.e., fórmico, acético e láctico). As concentrações médias gerais, contudo, não seguiram a mesma ordem que a observada para a frequência (Quadro 5). Desse modo, as concentrações médias decresceram na seguinte ordem: propiônico (941,1 μM) > malônico (659,1 μM) > tartárico (559,9 μM) > maléico (327,4 μM) > cítrico (176,6 μM) > láctico (95,6 μM) > fumárico (5,9 μM). Já a frequência de moléculas de AO decresceu na seguinte ordem: fumárico > maléico > cítrico > tartárico > propiônico > láctico > malônico, com destaque para os dois primeiros ácidos que, à exceção dos lixiviados três e quatro, foram detectados nos demais lixiviados (Quadro 5). Tal fato mostra que a presença da molécula na solução do solo nem

sempre significa alta concentração no lixiviado, podendo, em alguns casos, ocorrer o contrário.

De modo similar ao ocorrido com o CSA, os tratamentos com aplicação simultânea de calcário e P causaram o aparecimento nos lixiviados de moléculas com maiores massas molares (Quadro 6). Nesses tratamentos, ao longo do tempo, o aumento nas perdas de CSA foi acompanhado por um acréscimo nas massas molares dos compostos orgânicos presentes nos lixiviados (Figura 4).

Quadro 6. Médias e amplitudes das massas molares (Daltons) dos compostos orgânicos presentes em dez lixiviados de Latossolos Vermelhos (mesoférico-LV1 e hipoférico-LV2), tratados com calcário e, ou, fósforo.

Tratamento	Massa molar		Amplitude
	----- Daltons -----		
Latossolo mesoférico (LV1)	Controle	313 b A	302-317
	Fósforo	313 b B	303-326
	Calcário	314 b A	304-318
	Calc. + P	466 a B	303-1082
Latossolo hipoférico (LV2)	Controle	313 c A	231-317
	Fósforo	375 b A	282-906
	Calcário	313 c B	294-317
	Calc. + P	538 a A	302-1028

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si (Scott-Knott, $p < 0,05$): letras minúsculas comparam tratamentos dentro de cada solo, enquanto maiúsculas comparam solos dentro de cada tratamento.

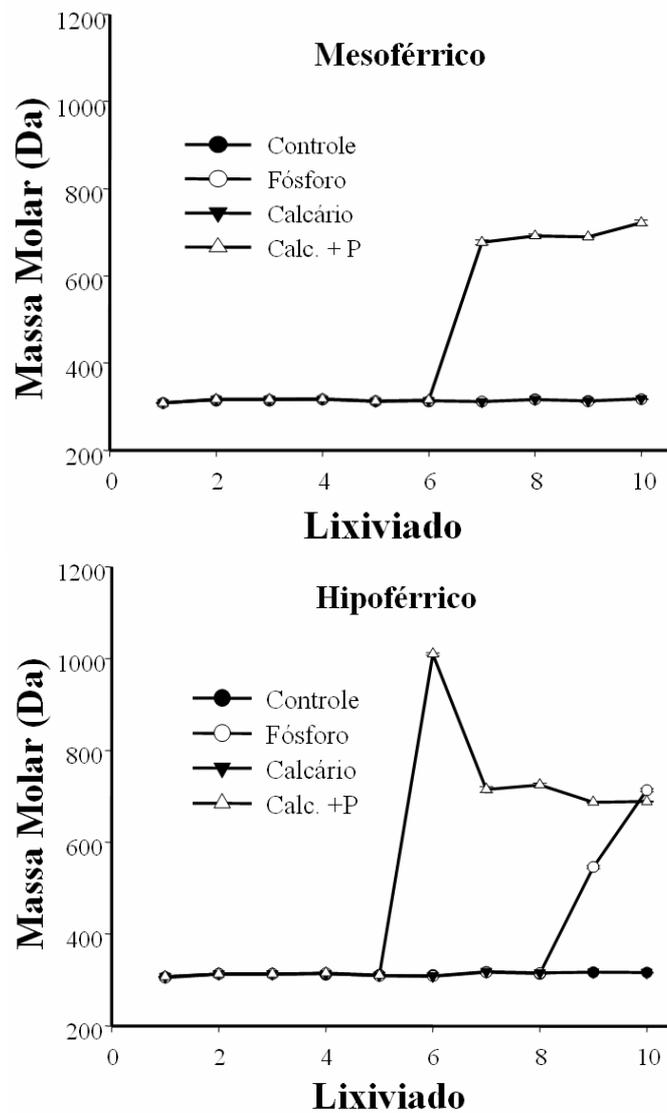


Figura 4. Distribuição de massas molares médias (daltons) de compostos orgânicos em lixiviados de dois Latossolos Vermelhos (mesoférico, LV1 e hipoférico, LV2), tratados com calcário e, ou, fósforo.

Segundo Kalbitz et al. (2000), a presença de ânions na solução do solo, como o fosfato, diminui a adsorção de moléculas solúveis de C, deslocando-as de sítios de adsorção para a solução do solo, facilitando as perdas por lixiviação.

Apesar de compostos com maiores valores de massa molar terem sido observados nos tratamentos com calcário+fósforo (Quadro 6), somente após a quinta (LV2) e sétima (LV1) lixiviações é que foram detectados compostos orgânicos com massa molar acima de 300 Da, cujos valores praticamente se estabilizaram até a última lixiviação (Figura 3), sendo inclusive verificadas moléculas com massa molar acima de 1000 Da (Quadro 6), ou seja, de mesma massa que os ácidos fúlvicos (Chin & Gschwend, 1991), indicando que parte do C presente nos lixiviados pode pertencer a esse grupo de moléculas.

Marschner & Wilczynsky (1991) observaram que a aplicação de calcário em solos sob floresta resultou na conversão de ácidos húmicos a ácidos fúlvicos, que podem ser perdidos com facilidade do sistema solo-planta, devido à sua maior mobilidade, que é atribuída ao menor tamanho das moléculas (em relação aos ácidos húmicos), maior quantidade de radicais carboxílicos e maior solubilidade em pH elevado. Karlik (1995) observou aumento de 45,4% em compostos ricos em grupamentos carboxílicos em solos tratados com carbonato de cálcio. Neste estudo, a produção de ácidos fúlvicos (moléculas com massa molar acima de 1000 Da) só foi notada com a aplicação conjunta de calcário e fósforo; portanto, este tratamento se caracterizou pela capacidade de promover a liberação de moléculas de maior massa molar.

CONCLUSÕES

1. As quantidades de carbono perdidas em lixiviados dos Latossolos aumentaram na seguinte ordem: controle \leq calcário < fósforo < calcário+fósforo; à exceção do tratamento controle, as maiores perdas de C foram verificadas no Latossolo hipoférrico.
2. Em geral, o Latossolo mesoférrico perdeu mais C na forma de ácidos orgânicos de baixa massa molar.
3. A presença de um tipo de ácido orgânico não é indicativa de alta concentração dessa molécula no lixiviado; a frequência de ácidos orgânicos nos lixiviados decresceu na seguinte ordem: fumárico > maléico > cítrico > tartárico > propiônico > lático > malônico, ao passo que suas concentrações médias gerais decresceram nesta ordem: propiônico > malônico > tartárico > maléico > cítrico > lático > fumárico.
4. A adição de fósforo no Latossolo hipoférrico e o uso de calcário+fósforo nos dois solos estudados resultaram em aumento da massa molar média das moléculas de C presentes nos lixiviados coletados no final do estudo.

LITERATURA CITADA

AFIF, E.; BARRON, V.; TORRENT J. Organic matter delays but does not prevent phosphate sorption by Cerrado soils from Brazil. **Soil Science**, Baltimore, v. 159, p. 207–211, 1995.

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 27-32, jan./mar. 2000.

ANDERSSON, S. Influence of liming substances and temperature on microbial activity and leaching of soil organic matter in coniferous forest ecosystems. **Acta University Agriculture Suecia**, Silvestria, v. 116, p. 1-68, 1999.

ANDERSSON, S.; VALEUR, I.; NILSSON, S. I. Influence of lime on soil respiration, leaching of DOC, and C/S relationships in the mor humus of a haplic podzol. **Environment International**, Oxford, v. 20, n. 1, p. 81-88, 1994.

ANDERSSON, S.; NILSSON, S. I.; SAETRE, P. Leaching of dissolved organic carbon (DOC) and dissolved organic nitrogen (DON) in mor humus as affected by temperature and pH. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 32, n. 1, p. 1-10, jan. 2000.

ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1003-1011, nov./dez. 2003.

BRUNNER, W.; BLASER, P. Mineralization of soil organic matter and added carbon substrates in two acidic soils with high non-exchangeable aluminium. **Zeitschrift fuer Pflanzenernährung und Bodenkunde**, Deerfield Beach, v. 152, n. 5, p. 367-372, Oct. 1989.

CHANTIGNY, M. H. Dissolved and water-extractable organic matter in soils: a review on the influence of land use and management practices. **Geoderma**, Amsterdam, v. 113, n. 3/4, p. 357-380, May 2003.

CHIN, YU-PING; GSCHWEND, P. M. The abundance, distribution, and configuration of porewater organic colloids in recent sediments. **Geochimica Cosmochimica Acta**, Oxford, v. 55, n. 5, p. 1309-1317, May 1991.

CURI, N.; CHAGAS, C. S.; GIAROLA, N. F. B. Distinção de ambientes agrícolas e relação solo-pastagens nos campos da Mantiqueira. In: CARVALHO, M. M.; EVANGELISTA, A. R.; CURI, N.

Desenvolvimento de pastagens na zona fisiográfica Campos das Vertentes-MG. Coronel Pacheco: Embrapa Gado de Leite, 1994. 127 p.

DAWSON, H. J.; UGOLINI, F. C.; HRUTFIORD, B. F.; ZACHARA, J. Role of soluble organic in the soil process of a Podzol. , Central Cascades. Washington. **Soil Science**, Baltimore, v. 126, n. 5, p. 290-296, 1978.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo.** 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p.

ERICH, M. S.; TRUSTY, G. M. Chemical characterization of dissolved organic matter released by limed and unlimed forest soil horizons. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 77, n. 3, p. 405-413, May 1997.

FILEP, T.; KINCSES, I.; NAGY, P. T. Dissolved organic carbon (DOC) and dissolved organic nitrogen (DON) content of a arenosol as affected by liming in a pot experiment. **Archives of Agronomy in Soil Science**, Ottawa, v. 49, p. 111-117, 2003.

FOX, T. R.; COMERFORD, N. B. Low-molecular-weight organic acids in selected forest soils of Southeastern USA. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 54, n. 4, p. 1139-1144, July/Aug. 1990.

GOLCHIN, A.; OADES, J. M.; SKJEMSTAD, J. O.; CLARKE, P. Soil-structure and carbon cycling. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 32, n. 5, p. 1043-1068, 1994.

GUGGENBERGER, G.; ZECH, W.; SCHULTEN, H. R. Formation and mobilization pathways of dissolved organic matter: evidence from chemical structural studies of organic matter fractions in acid forest floor

solutions. **Organic Geochemistry**, Oxford, v. 21, n. 1, p. 51-56, Jan. 1994.

HERBERT, B. E.; BERTSCH, P. M. Characterization of dissolved and colloidal organic matter in soil solution. In: KELLY, J. M.; McFEE, W. W. **Carbon forms and functions in forest soils**. Madison: SSSA, 1995. p. 63-88.

KALBITZ, K.; SOLINGER, S.; PARK, J. H.; MICHALZIK, B.; MATZNER, E. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: a review. **Soil Science**, Baltimore, v. 165, n. 4, p. 277-304, Apr. 2000.

KARLIK, B. Liming effect on dissolved organic matter leaching. **Water, Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 85, n. 2, p. 949-954, Dec. 1995.

KUDEYAROVA, A. Y. Changes in the structure and properties of alkali-soluble humic substances in phosphorus-enriched gray forest soil. **Biology Bulletin**, New York, v. 30, n. 6, p. 633-643, Nov./Dec. 2003.

LIMA, J. M.; ANDERSON, S. J.; CURI, N. Phosphate-induced clay dispersion as related to aggregate size and composition in Hapludoxs. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, n. 3, p. 892-897, May/June 2000.

MARSCHNER, B.; WILCZYNSKI, W. The effect of liming on quality and chemical composition of soil organic matter in a pine forest in Berlin, Germany. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 137, n. 2, p. 229-236, Nov. 1991.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. Carbono solúvel em água. In: MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica: métodos de análises**. Viçosa: UFV, 2005. p. 24-27.

MIRANDA, J.; LIOVANDO, M. C.; RUIZ, H. A.; EINLOFT R. Composição química da solução de solo sob diferentes coberturas vegetais e análise de carbono orgânico solúvel no deflúvio de pequenos cursos de água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 633-647, jul./ago. 2006.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Determinação de alumínio em soluções puras contendo ácidos orgânicos e em solo com eletrodo seletivo de fluoreto. **Química Nova**, São Paulo, v. 15, n. 4, p. 286-290, jul./ago. 1992.

MYERS, R.; THIEN, S. J. Soil permeability in an ammonium and phosphorus application zone. **Soil Science Society of America Journal**, Madson, v. 55, n. 3, p. 866-871, May/June 1991.

NÓBREGA, J. C. A.; LIMA, J. M.; GUERREIRO, M. C.; RIGITANO, R. L. O.; MORENO, S. A. C. Retenção do fungicida triadimenol em latossolos em razão da calagem e da fosfatagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 503-511, maio 2005.

PATEL-SORRENTINO, N.; LUCAS, Y.; EYROLLE, F.; MELFI, A. J. Fe, Al and Si species and organic matter leached off a ferrallitic and podzolic soil system from Central Amazonia. **Geoderma**, Amsterdam, v. 137, n. 3/4, p. 444-454, Jan. 2007.

PERSSON, T.; LUNDKVIST, H.; WIRÉN, A.; HYVÖNEN, R.; WESSÉN, B. Effects of acidification and liming on carbon and nitrogen mineralization and soil organisms in mor humus. **Water, Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 45, n. 1/2, p. 77-96, May 1989.

RAULUND-RASMUSSEN, K.; BORRGAARD, O. K.; HANSEN, H. C. B.; OLSSON, M. Effect of natural soil solutes on weathering rates of soil minerals. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 49, n. 3, p. 397-406, Sept. 1998.

RÖMKENS, P. F.; BRIL, J.; SALOMONS, W. Interaction between Ca^{2+} and dissolved organic carbon: implications for metal mobilization. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 11, n. 1/2, p. 109-115, Jan./Mar. 1996.

ROTH, C. M.; PAVAN, M. A. Effects of lime and gypsum on clay dispersion and infiltration in samples of a Brazilian Oxisol. **Geoderma**, Amsterdam, v. 48, n. 3/4, p. 351-361, may 1991.

SILVA, C. A.; ANDERSON, S. J.; GUILHERME, L. R. G. Uso da cromatografia de exclusão por tamanho na caracterização de substâncias húmicas de Latossolo Vermelho-Escuro sob efeito de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 495-503, jul./set. 2000.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. 4500-P E. Ascorbic Acid Methods. Am. Pub. Health Ass., American Water Works Association, Water Envir. Feder. Disponível em: <<http://www.umass.edu/tei/mwwp/acrobat/sm4500P-E.PDF>>. Acesso em: 15 nov. 2005.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York: John Wiley & Sons, 1994. 496 p.

VAN HEES, P. A. W.; DAHLÉN, J.; LUNDSTRÖM, U. S.; BORÉN, H.; ALLARD, B. Determination of low molecular weight organic acids in soil solution by HPLC. **Talanta**, Amsterdam, v. 48, n. 1, p. 173-179, Jan. 1999.

VAN HESS, P. A. W.; JONES D. L.; FINLAY, R.; GODBOLD, D. L.; LUNDSTRÖM, U. S. The carbon we do not see – the impact of low molecular weight compounds on carbon dynamics and respiration in forest soils: a review. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 37, n. 1, p. 1-13, Jan. 2005.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os solos da Bacia do Rio das Mortes, por serem, em sua maioria, de baixa fertilidade natural, têm sua capacidade produtiva atrelada à matéria orgânica do solo (MOS). Nesses solos, está assentada grande parte das áreas de produção de café e hortaliças do Estado de Minas Gerais. Na região do Rio das Mortes, vários manejos podem ser encontrados, cada um com suas características, sendo alguns menos propensos à degradação que outros. Diante da importância dessa região para Minas Gerais e da importância da agricultura para a economia da região, verificou-se a necessidade de estudar os aspectos ligados aos teores e tipos de frações orgânicas do solo, em diferentes agroecossistemas de café e batata, sobretudo no que diz respeito à influência de manejos que propiciem menores perdas e, ou, maiores recuperações dos teores de MOS.

Neste trabalho, além dos tradicionais sistemas de cultivo, foram estudados manejos mais conservacionistas, tendo sempre como referencial uma condição natural, não perturbada. Como parâmetros indicativos da influência do manejo do solo, em condições de campo, utilizaram-se o C orgânico total e C na forma de substâncias húmicas como indicadores, por serem atributos capazes de detectar mudanças de longo prazo. Como atributo de curto prazo, foi escolhida a fração do C orgânico separada do solo por densidade, ou seja, C na forma de fração leve. Adicionalmente, foi avaliada a influência de duas práticas de correção da fertilidade mais comuns nesses solos, calagem e adubação fosfatada, sobre a lixiviação e os tipos de compostos orgânicos prevalentes na solução do solo.

A introdução de cultivos de café e batata, em relação às áreas de vegetação nativa, resulta em uma diminuição nos teores de MOS, ocasionando degradação química e física do solo. Com isto, há uma redução da capacidade

desses solos permanecerem no processo agrícola de forma sustentável, levando ao abandono dessas áreas para atividades agrícolas, com o passar do tempo. Os cultivos de café, de modo geral, tendem a ser mais sustentáveis que os cultivos de batata, pelo menor revolvimento do solo e menor aplicação de fertilizantes fosfatados, expondo menos a MOS a condições de oxidação. Embora a introdução de manejos mais conservacionistas leve a significativo aumento nos teores de C do solo, independente da cultura, o restabelecimento dos níveis originais de COT da profundidade de 0-20 cm não foi observado nas condições deste estudo. Para as áreas de café, o cultivo orgânico propiciou um aumento dos teores de C-FL próximo a 130%, em relação ao manejo convencional e a manutenção de uma relação C-AH/C-AF igual às condições naturais, em todas as profundidades de solo analisadas. Quanto às áreas de batata, o C-FL só mostrou diferenças entre a área-referência e as áreas de cultivo, ou seja, não foi um indicador capaz de detectar diferenças entre os manejos convencional e alternativo, no prazo considerado neste estudo. Porém, a análise das relações entre as substâncias húmicas, mostrou recuperação da relação C-AH/C-AF no manejo alternativo, nas duas profundidades analisadas, chegando-se, inclusive a se igualar à referência na camada de solo superficial. Devido à escassez de estudos sobre os parâmetros relacionados ao C orgânico do solo para as culturas agrícolas da Bacia, podem-se propor os valores encontrados neste trabalho como um referencial inicial para condições de campo.

Além da importância de um manejo conservacionista dos solos, há a necessidade de uso racional dos insumos (p.e. calcário e fosfato) aplicados nos cultivos da Bacia do Rio das Mortes. Além das tradicionais vias de perda de C, por exemplo, oxidação, erosão etc., este estudo verificou a influência da aplicação de fosfato, com ou sem o uso de calcário, sobre a perda de C por lixiviação. Sem a utilização dessas práticas, a perda de C solúvel em água é função de teor de C orgânico, mas é também influenciada pelas características do

solo, como, por exemplo, o teor de ferro. Todavia, a adoção das práticas de calagem e, ou, adubação fosfatada, por alterar a dinâmica da MOS, aumenta a liberação de CSA, favorecendo seu movimento vertical em direção às camadas mais profundas, podendo inclusive alcançar os corpos d'água. A perda de CSA chegou a ser 15 vezes maior no Latossolo hipoférrico, tratado com calcário e fósforo, em relação ao seu tratamento controle, durante o período de estudo. Nesse mesmo período, a aplicação de fósforo, em combinação com a calagem, resultou em perdas acumuladas de aproximadamente 1,8% e 0,5% de todo o C orgânico (0-20 cm), para os Latossolos hipo e mesoférrico, respectivamente. Apesar de serem valores baixos, esses resultados chamam a atenção para o potencial de perda de C por lixiviação ao longo do tempo, notadamente em condições de irrigação, alto revolvimento do solo e baixo retorno de C ao solo. Destaca-se, ainda, a necessidade de aplicação racional de calcário e fósforo nos cultivos da Bacia, primeiro pela sua influência sobre a solubilidade de C e, segundo, pelo potencial de contaminação ambiental com este e outros elementos, que são lixiviados como íons acompanhantes dos compostos orgânicos solúveis.

Este trabalho evidencia, de forma geral, que a reversão das perdas de C, independente do indicador analisado, propicia maior sustentabilidade dos agroecossistemas de café e batata. Contudo, a capacidade produtiva dos solos da Bacia está ancorada também na qualidade da MOS e não somente nos teores de C. Nesse sentido, abre-se espaço para estudos de avaliação da natureza química da matéria orgânica dos tipos de solo predominantes nas áreas de cultivo, por meio de técnicas oferecidas pela química moderna, como, por exemplo, pirólise acoplada a cromatografia gasosa-espectrometria de massas, ressonância magnética nuclear, cromatografia de alta eficiência, espectroscopia na região do infravermelho etc.

Quanto ao C solúvel em água, há evidências suficientes para se propor estudos de definição de doses ideais de fósforo, capazes de restringir ou tornar as

perdas de CSA aceitáveis, em diversos tipos de solo. Em áreas de campo, apesar das dificuldades, pode-se propor o monitoramento dos teores de CSA no deflúvio em torno das áreas de cultivo, à semelhança do que já é feito para monitoramento dos níveis de poluentes em regiões industrializadas.

Como as práticas de calagem e adubação fosfatada exercem influência sobre a dinâmica da MOS e, considerando a importância dos compostos orgânicos nos processos químicos e físicos do solo, pode-se inferir que há uma forte influência dessas práticas sobre o movimento de nutrientes, metais pesados, e moléculas orgânicas adicionadas ao solo, como, por exemplo, herbicidas, inseticidas e fungicidas, tão freqüentemente utilizados no manejo das culturas da Bacia do Rio das Mortes. Nesse sentido, estudos adicionais que visem à avaliação da interdependência das práticas de calagem e adubação fosfatada nos processos acima também são pertinentes, levando-se em consideração diferentes classes de solos, representativos da ordem mais encontrada nas áreas agrícolas Bacia (Latosolos).

O desenvolvimento de uma região está, inicialmente, fortemente atrelado à qualidade do seu solo. Assim, para um desenvolvimento sustentável, inevitavelmente, há que se levar em consideração a manutenção da qualidade desse recurso natural. Portanto, é necessário manter um aprimoramento constante de tecnologias que visem ao desenvolvimento sustentável da Bacia do Rio das Mortes. Contudo, o solo é somente um dos componentes da paisagem e essa sustentabilidade não poderá ser alcançada se não forem levados em consideração outros componentes do ambiente, como, por exemplo, os recursos hídricos e vegetais, uma vez que, em uma escala maior, não há como distinguir qual desses fatores é mais importante.